

**Česká zemědělská univerzita v Praze  
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů  
Katedra agroekologie a rostlinné produkce**



**Česká zemědělská  
univerzita v Praze**

**Voda jako faktor určující teplotně vlhkostní mikroklima  
zahrad a parků**

**Bakalářská práce**

**Autor: Ladislav Krč**

**Obor: Zahradní a krajinářské úpravy**

**Vedoucí práce: Ing. Luboš Tůrkott, Ph.D.**

© 2021 ČZU v Praze



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "**Voda jako faktor určující teplotně vlhkostní mikroklima zahrad a parků**" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího 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 autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne

2.5.2021

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'M' followed by a flourish, positioned above a horizontal line.

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Luboši Tůrkottovi, Ph. D. za cenné rady a připomínky, za pomoc při hledání zdrojů a za odborné vedení práce.

# Voda jako faktor určující teplotně vlhkostní mikroklima zahrad a parků

## Souhrn

Tato bakalářská práce přinesla přehled vodních prvků a závlah, které jsou využívány zejména v zahradách a parcích. Nejdůležitějším prvkem byla voda jako taková, její formy, využití a vliv na mikroklimatické poměry lokality. Cílem práce bylo přiblížit využití vodních prvků a závlah v zahradní architektuře, zmínit zdroje vody u jednotlivých prvků a uvést do souvislosti využití vodních prvků a vegetace při ovlivňování mikroklimatu.

V první části literární rešerše bylo popsáno využití vody v zahradní a krajinné architektuře a její vliv z pohledu historie. Dále byl popsán význam využívání vody pro její funkce a zmíněn výskyt, zásoba a koloběh vody. Uvedené jsou vodní prvky a závlahy, které v zahradní a krajinné tvorbě nejčastěji využíváme. U každého zmíněného prvku či závlahy byl uveden vhodný a nejčastěji využívaný zdroj vody.

Druhá část literární rešerše byla věnována vodě a vegetaci při ovlivňování mikroklimatu. Byly zde definovány pojmy jako mikroklima a městský tepelný ostrov. Prostředí měst a jejich zvýšená míra urbanizace výrazně ovlivňuje mikroklima, proto na základě studia odborné literatury byly vzájemně porovnány jednotlivé výzkumy a studie, zhodnoceny jejich jednotlivé metody a techniky. Díky těmto studiím bylo možné určit nejvhodnější vodní prvky pro snížení vlivů městského tepelného ostrova a vysokých teplot. Do souvislosti zde byly uvedeny parametry, které ovlivňují městské mikroklima a jev městského tepelného ostrova. Dále byly zhodnoceny přínosy studií a metod při zkoumání vlivu vody na mikroklima.

V samém závěru této práce byla uvedena vzájemná souvislost mezi rostlinami a živočichy ve vodě a jejím okolí.

**Klíčová slova:** vodní plocha, vlhkomilné rostliny, závlahy, mikroklima, zdroje vody

# **Water as a factor determining the temperature-humidity microclimate of gardens and parks**

## **Summary**

This bachelor's thesis brought summary of water elements and irrigations, which are used particularly in gardens and parks. The most important element was the water as such, its forms, the use and impact on microclimatic conditions of the locality. The aim of the thesis was to approach the use of water elements and irrigations in garden architecture, to mention water resources in individual elements and to relate the use of water elements and vegetation in influencing the microclimate.

In the first part of literature search there was described the use of water in garden and landscape architecture and its impact from the history perspective. There was also described the importance of water use for its functions and mentioned the occurrence, reserve and circulation of water. There are listed water elements and irrigations, which we most often use in garden and landscape creation. For each mentioned element or irrigation there was given a suitable and most often used water resource.

The second part of literature search dealt with water and vegetation in influencing the microclimate. There were defined terms such as microclimate and urban heat island. The environment of cities and their increased rate of urbanization substantially affects the microclimate, so on the basis of reference literature, individual researches and studies were compared. Because of these studies, it was possible to determine the most suitable water elements for reducing the effects of urban heat island and high temperatures. There were presented the parameters that affect urban microclimate and the phenomenon of urban heat island. Furthermore there were evaluated the benefits of studies and methods in exploring the effect of water in the microclimate.

At the very end of this thesis, there was presented the interaction between plants and animals in water and its surroundings.

**Keywords:** waterbody, hygrophilous plants, irrigation, microclimate, water resources

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Literární rešerše</b>	<b>11</b>
<b>3.1</b>	<b>Voda v zahradní a krajinné architektuře</b>	<b>11</b>
<b>3.2</b>	<b>Historie vody v zahradní a krajinné architektuře</b>	<b>11</b>
<b>3.3</b>	<b>Význam vody v zahradní a krajinné architektuře</b>	<b>12</b>
<b>3.4</b>	<b>Zdroje vody</b>	<b>13</b>
3.4.1	Výskyt vody a její koloběh	13
3.4.2	Studniční voda z kopané nebo vrtané studny	14
3.4.3	Voda z vodovodu	15
3.4.4	Srážková voda	15
3.4.5	Voda z vodotečí a přírodních nádrží	15
<b>3.5</b>	<b>Vodní prvky a závlahy v zahradní architektuře</b>	<b>16</b>
3.5.1	Malé vodní nádrže	16
3.5.1.1	Rozdělení malých vodních nádrží	17
3.5.1.2	Využití nádrží v zahradní architektuře	17
3.5.1.3	Rozdělení a zhodnocení nádrží dle použitého materiálu	17
3.5.1.4	Zdroje vody u malých vodních nádrží	18
3.5.2	Tůně a mokřady	18
3.5.2.1	Rozdělení tůní	19
3.5.2.2	Zdroje vody tůní a mokřadů	19
3.5.3	Potoky a prameniště	20
3.5.3.1	Rozdělení potoků	20
3.5.3.2	Zdroje vody potoků	20
3.5.4	Kaskády a vodopády	20
3.5.4.1	Zdroje vody kaskád a vodopádů	21
3.5.5	Formální vodní prvky	21
3.5.5.1	Dělení formálních vodních prvků, jejich typy a zdroje vody	21
3.5.6	Bazény a spa	22
3.5.6.1	Zdroje vody bazénů a spa	22
3.5.7	Zavlažovací systémy	22
3.5.8	Jednotlivé prvky zavlažovacích systémů	23
3.5.8.1	Zdroje vody zavlažovacích systémů	23
<b>3.6</b>	<b>Voda, vegetace a mikroklima</b>	<b>23</b>
3.6.1	Definice mikroklimatu	24

3.6.2	Klima měst.....	24
3.6.3	Definice tepelného ostrova .....	25
3.6.4	Prostředí měst mění mikroklima.....	25
3.6.5	Význam a vliv vody pro mikroklima.....	26
3.6.6	Metody hodnocení .....	28
3.6.7	Vliv vodních prvků a faktory ovlivňující mikroklima.....	30
3.6.8	Možnosti, jak efektivně ochlazovat prostředí měst .....	31
3.6.9	Hodnocení technik a studií mikroklimatu.....	34
<b>3.7</b>	<b>Rostliny a živočichové ve vodě a jejím okolí.....</b>	<b>35</b>
3.7.1	Rostliny.....	35
3.7.2	Nejvhodnější vodní prvky pro vodní rostliny.....	35
3.7.3	Přezimování vodních rostlin .....	35
3.7.4	Příklady vhodných vodních rostlin.....	36
3.7.5	Živočichové .....	38
<b>4</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>Literatura .....</b>	<b>40</b>
<b>5.1</b>	<b>Literární zdroje .....</b>	<b>40</b>
<b>5.2</b>	<b>Webové zdroje .....</b>	<b>43</b>



# 1 Úvod

Voda je nedílnou součástí našich životů. Bez tohoto prvku by nemohl fungovat život tak, jak jej známe. Voda je pro životní prostředí nepostradatelná a nenahraditelná, protože je nezbytná k růstu rostlin, fotosyntéze, evapotranspiraci a mnoha dalším fyzikálním a chemickým procesům. Z těchto důvodů je nutné zdroje vody i nadále udržovat, rozšiřovat, čistit a chránit. V lidských sídlech se voda a vodní prvky již odedávna staly významnou součástí zahradních i krajinných úprav. I když byly vodní prvky v zahradách vnímány jako okázalost a projev bohatství, postupem času si našly cestu a využití i v malých zahrádkách. V dnešní době již není na vodní prvky hleděno jako na projev okázalosti, ale jako na prvky, které v zahradní a krajinné architektuře široce napomáhají měnit celkový ráz prostoru od nenápadného doplnění kompozice až po dominantu. Architekti se nechávají inspirovat samotnou přírodou a snaží se umělé prvky implementovat do center měst tak, aby vše působilo nenásilným dojmem. V dnešní době voda nemá v zahradách a parcích jen čistě praktické využití. Lidé oceňují její estetickou a rekreační stránku. Neznamená to však, že zároveň nemohou prvky plnit i ostatní funkce, které od nich člověk očekává. Samotné vodní plochy a jejich vhodné využití dokáží ovlivnit mikroklimatické podmínky a tepelný komfort člověka, což je prokázáno v mnoha výzkumech. O využití vodních prvků se v současnosti zajímá mnoho odborníků i přesto, že zkoumání jejich vlivu je značně náročné. Nejčastěji se skloňuje vliv na mikroklima měst a jejich velká spojitost s okolní vegetací.

## 2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce bylo na základě studia odborné literatury přiblížit využití vody v zahradní architektuře a zhodnotit její vliv na místní mikroklimatické podmínky. Tato literární rešerše uvedla jednotlivé vodní prvky a závlahy, pro které vymezila vhodné zdroje vody. Na základě souhrnných dat, které poskytují odborné články byl zhodnocen samotný vliv vody, tak i vody a vegetace při snižování teplot a účinku městského tepelného ostrova. Dále byl určen nejvíce a nejméně účinný vodní prvek z hlediska snižování vysokých teplot v městském prostředí. V závěru byl přiblížen vzájemný vztah mezi vodou, vegetací a živočichy.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Voda v zahradní a krajinné architektuře

Voda jako taková je dle Marečka et al. (1975) významným přírodním prvkem ovlivňujícím výtvarnou působnost zahradního prostředí. Nejde jen o estetičnost, ale o mnoho dalších funkcí, které voda v zahradě, či parku plní. Lidé velmi rádi pozorují život ve vodě. Pohled do vody na ně působí uklidňujícím dojmem, kdy samotný pohled zajímavě oživí odlesk od vodní hladiny. Atraktivnost zvýší využití vodních rostlin, seskupení balvanů, plastika, či odpočívadla. Nemusí se však jen jednat o velké vodní plochy okrasných jezírek, ale postačí i prosté ptačí pítko.

Ať budeme tento živel, který dokáže rozjasnit a oživit i ty nejtemnější prostory stylizovat jakkoliv, vždy by se voda měla stát nedílnou součástí úpravy celé zahrady. Rozměry vodní plochy by vždy měly být v poměru s výškou okolních prvků, zdí a staveb (Brookes 2006). Zároveň by dané vodní plochy neměly na člověka působit umělým dojmem.

### 3.2 Historie vody v zahradní a krajinné architektuře

Již odedávna byla okrasná a ochlazující funkce vody využívána ve starověkých zahradách. Ve starověkém Egyptě byly vodní prvky používány pro tvorbu mikroklimatu, případný chov ryb a jiných vodních živočichů. Dle novodobých archeologických vykopávek bylo prokázáno, že před více než 3000 lety v Babyloně byly použity stupňovité systémy nádrží, kam byla voda z blízké řeky Eufkrat čerpána (Hříbal 1999).

Voda nechyběla ani v prostorech atrii domů antického Řecka nebo Říma. Vodu pojila symbolika a náboženská tematika. Vodními prvky, fontánami nebo vodotrysky dávaly některé kultury najevo své bohatství a moc (Hříbal 1999).

Do krajinného obrazu se výrazně začlenily římské akvadukty, terasová zaplavovaná políčka k pěstování rýže, která mění ráz rozsáhlých oblastí v Asii, vodní města indiánských kultur na Jukatánu, zavlažovací kanály v povodí Nilu, Eufratu a Tigridu, přehradní hráze a jezera ve staré Asýrii, ale i dekorativní jezera, jezírka a vodopády asijských zahrad. Stejně tak staré urbánní útvary indické a cejlonské, kde voda vytváří základní parter, z níž vyrůstají objekty chrámů (Otruba 2002).

V 17. a 18. století vznikala v šlechtických a královských zahradách za pomoci náročných terénních úprav monumentální vodní díla. Ta můžeme znát z francouzských a anglických parků. Odklon říčních ramen nebyl pro tehdejší stavitele a projektanty nemožným úkolem. Tvorba kanálů je vidět takřka po celé Evropě.

Dále nesmíme zapomenout zejména na Japonskou kulturu, pro kterou je voda jedním z nejvýznamnějších prvků spolu s kamenem a rostlinami. Pro Japonsko jsou typické členité vodní nádrže, kaskády, čeřící, proudící voda v podobě potoků, vodopádů. To vše oživují barevné ryby (KOI kapři), které jsou zde po generace přešlechtovány do mnohých tvarových a barevných forem (Otruba 2008).

### 3.3 Význam vody v zahradní a krajinné architektuře

Voda má v zahradní a krajinné architektuře význam pro její estetickou, hygienickou, ekologickou, hospodářskou, rekreační, kompoziční a mikroklimatickou funkci.

Voda se často svou výraznou lesknoucí hladinou stává dominantou zahradního prostoru. Vodě přidává na **estetičnosti**, pokud je čistá a harmonizuje zde propojení břehů vody s rostlinami. Začleněním okolní výsadby a vodních rostlin lze umocnit na vodní hladině dojem zrcadlení nejen samotného prostředí, ale i paprsků Slunce během slunečných dnů. Je třeba dodat, že není cílem nechat vodní plochu zarůst rostlinami. Z estetického hlediska toto řešení není vhodné, protože by se stala krása vodní plochy neviditelnou.

Z **hygienického** hlediska voda zvyšuje vlhkost okolního vzduchu čehož následkem je snížení rozptylu prachu v okolí.

**Rekreační** význam má v letních měsících, kdy lidé vyhledávají vodní plochy a koupaliště k ochlazení. V případě vyhřívaných bazénů, můžeme využívat vodu ke koupání celoročně.

Z hlediska **hospodářské** funkce je cílem zajištění potřeb člověka, jde o zásobování pitnou vodou nebo vodou užitkovou případně průmyslu a zemědělství a tvorba hydromeliiorací. Dále nesmíme u hospodářské funkce zapomenout na chov ryb, ty následně slouží jako zdroj potravy (Horký 1984).

**Mikroklimatické** funkce vodních prvků v zahradní a krajinné architektuře mají velký význam. Zejména pak v hustě zastavěných oblastech, kde je omezený prostor volných ploch. Tím máme na mysli nezastavěné, nezadlážděné nebo nezabetonované plochy, ze kterých se vypařuje voda a tím zchlazuje okolí.

V letních horkých dnech může být rozdíl vlhkosti vzduchu v zastavěné oblasti bez vodního prvku nebo vegetace o více než 20 % (Santamouris 2016).

Důležitým výtvarným posláním vody je její pohyb, ten přispívá k oživení zahradní kompozice. **Kompoziční** funkce vody v zahradě či krajině záleží na pojetí architekta, který daný prvek tvoří. Vodní prvky jsou velmi vděčným kompozičním námětem. Padající a stékající vodu lze uvést jako ústřední motiv neboli dominantu (Mareček et al. 1975).

Dle Otruby (2002) může být vodní dílo jako kompoziční tvar v krajině:

- a. **liniové** – řeky, potoky, kanály, průplavy, ale i prameny a studánky;
- b. **plošné** – umělá i přírodní jezera, rybníky, tůně, vodní oka a mokřady;
- c. **architektonické** – přehrady, rybníční a jiné hráze, přístaviště, koupaliště, lázně.

Jednotlivé prvky mají různý význam a charakter, proto při jejich zahradně-architektonickém řešení respektujeme technické parametry, estetická hlediska celku a detailů, a také začlenění do krajiny, technického rámce, kde ctíme ráz a jeho význačné prvky.

V dnešní době si již nelze představit zahradu bez vodního prvku, ať už se jedná o bazén, okrasnou nádrž, fontánu nebo potůček. Originálně byly využívány vodní prvky v Japonské architektuře, kde symbolizovaly klid, relaxaci a pocit harmonie s přírodou (Brookes 2006).

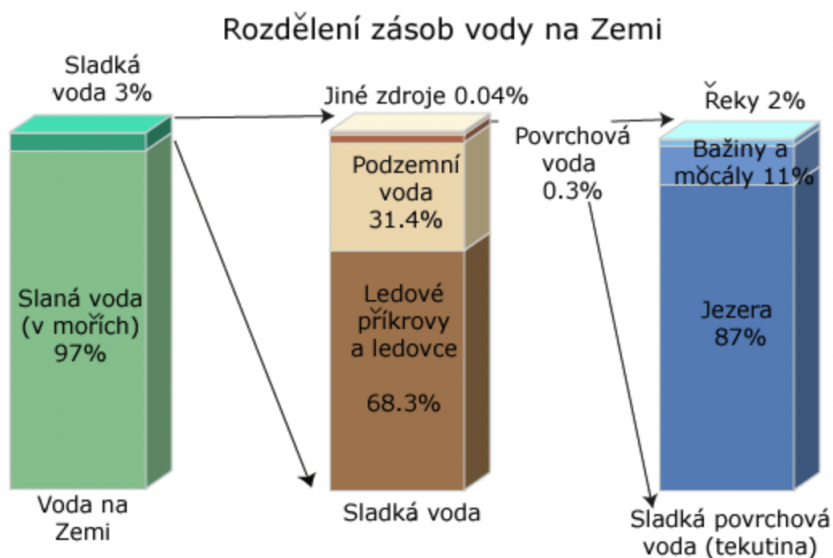
I v zahradní architektuře má voda vliv na mnoho rostlinných a živočišných společenstev, která se navzájem dokáží synergicky prolínat a tvořit jednotně autentický prvek, ze kterého mohou vystupovat rysy přírody.

### 3.4 Zdroje vody

#### 3.4.1 Výskyt vody a její koloběh

Voda patří mezi nejrozšířenější látky na zemském povrchu, je součástí hydrosféry, atmosféry, litosféry i biosféry a neustále dochází k jejím transportům mezi těmito systémy. Její množství je na naší planetě téměř konstantní, ale její dostupnost ne.

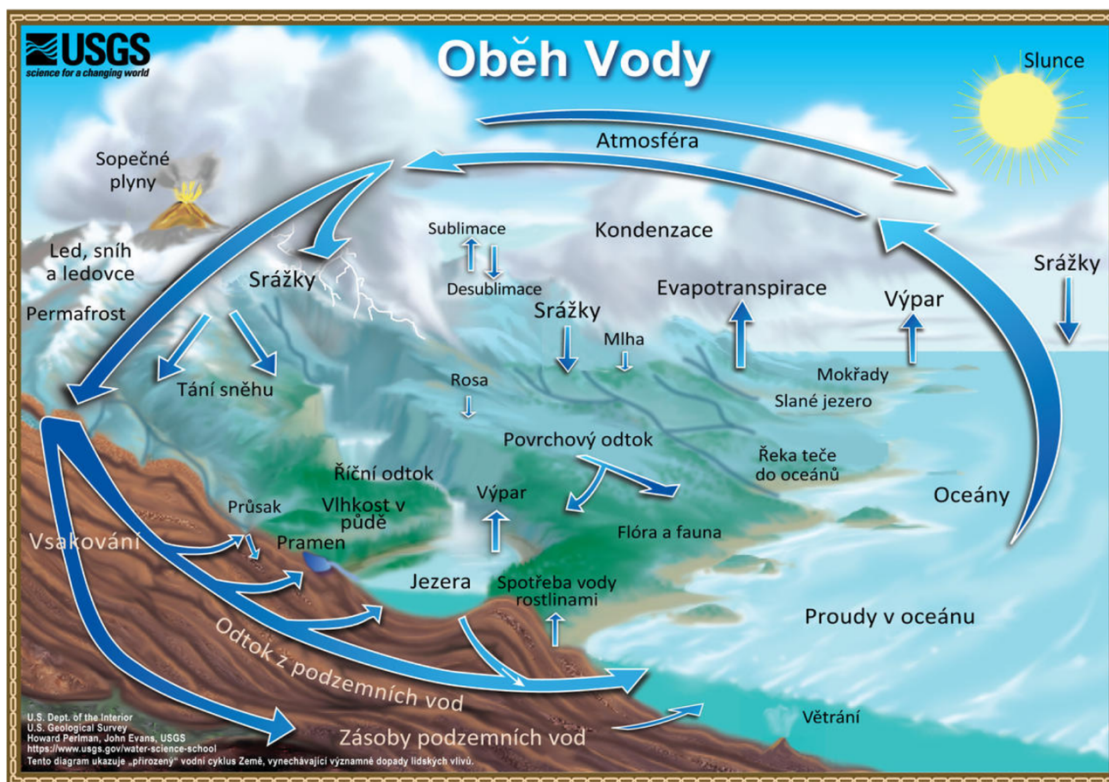
Největší zastoupení vody na zemi má slaná voda v mořích a oceánech. Pro námi využívanou sladkou vodu zbývají v celosvětovém měřítku pouze 3 % z celkové zásoby vody. Z těchto celkových zásob sladké vody je 68 % v ledovcích. Povrchové zdroje sladké vody jako jsou jezera a řeky obsahují přibližně 93 000 km<sup>3</sup>, což je jen zlomek celkového objemu vody na Zemi (Šercl 2017).



Obr. 1: Rozdělení zásob vody na Zemi (zdroj: <https://www.usgs.gov/media/images/rozdelen-z-sob-vody-ve-sv-t-earths-water-distribution-czech>)

K oběhu vody dochází účinkem sluneční energie, zemské gravitace a rotace Země. Vlivem slunečního záření se voda vypařuje z oceánů, nádrží a vodních toků, ze zemského povrchu evaporací a z rostlin transpirací. Tento děj souhrnně označujeme jako evapotranspirace. Vzniklé páry v ovzduší se vlivem vzduchových mas způsobených rozdílným zahříváním vzduchu nad pevninou a oceány i zemskou rotací neustále přemísťují, jedná se o cirkulaci atmosféry. Při styku s chladnějším prostředím dochází ke kondenzaci nebo desublimaci vodní páry v atmosféře, tím se tvoří oblačnost, ze které mohou vypadávat na

zemský povrch srážky zejména ve formě deště a sněhu. Část vody se na povrchu hromadí, zbylá dále odtéká ve formě povrchové vody. Tato voda se opět vypařuje zpět do ovzduší nebo dochází k infiltraci, tedy vsakování pod zemský povrch a doplnění zásob podzemní vody. Podzemní voda po určité době znovu vystupuje na povrch ve formě pramenů. Koloběh vody mapuje hydrologická bilance (Schneider et al. 2011).



Obr. 2: Schéma oběhu vody (zdroj: <https://www.usgs.gov/media/images/ob-h-vody-water-cycle-diagram-czech>)

Hydrologická bilance se skládá z bilance množství vody a bilance jakosti vody. Vstupy zahrnují zejména srážky ( $P$ ), výstupy evapotranspirací ( $ET$ ) a celkový odtok ( $Q_c$ ). Vyjádření změn v zásobách značíme  $\Delta S$  (Domenico 1997).

Základní rovnice hydrologické bilance pevniny:

$$P - ET - Q_c = \Delta S$$

### 3.4.2 Studniční voda z kopané nebo vrtané studny

Podzemní vody bývají čisté bez organického znečištění, její složení může být různé, ale kvalita se v průběhu roku podstatně nemění. Zejména se jedná o vodu tvrdou s vyšší obsahem vápníku, který se při změně  $pH^1$  na vzduchu vylučuje na stékaném povrchu. Tato voda často

<sup>1</sup>  $pH$  – Chemická míra acidity či alkality vodného roztoku

obsahuje vyšší množství iontů železa a manganu. Díky obsahu těchto prvků může voda zbarvovat povrch objektů, po kterých dlouhodobě a pravidelně stéká (Janál et al. 2016).

Studniční voda nemusí být vždy vhodná například pro napouštění jezírka, i když pro zalévání je nezávadná, některá rezidua nám v případě rybí obsádky mohou způsobit problémy (Helberg 1995).

U vrtaných studní často nastává problém s jejich vydatností a čistotou. Čerpadlo z vrtu díky svému umístění nasaje nečistoty, úlomky ze stěn vrtu ve svém okolí. Nejhorší je situace u nových vrtů, kde voda ještě obsahuje velké množství jemných nečistot uvolněných a vzniklých při vrtání studny (Herzán 2002).

### **3.4.3 Voda z vodovodu**

Zdrojem pitné vody, kterou dodávají vodárenské společnosti, jsou přibližně z poloviny podzemní a z poloviny povrchové zdroje. Povrchovou vodu v naprosté většině případů odebíráme z chráněných vodárenských nádrží nebo horních toků řek, které nejsou znečištěné odpadními vodami (Herzán 2002). Voda z vodovodního řádu bývá velmi častým zdrojem vody i přes vysokou cenu vodného dle lokality 40-80 Kč/m<sup>3</sup>. A to jak v případě rozvodu pitné vody, tak i vody užitkové (Irimon 2020). Tato voda obsahuje jisté příměsi jako chlór, fluór a vápník (Papworth 2003).

Výhodou jsou nižší vstupní náklady pro investora, ovšem následný provoz je již nákladnější oproti jiným zdrojům vody pro vodní prvky a závlahy v zahradní architektuře. Nesmíme však opomenout, že některé vodní prvky, či mlžítka musí být připojeny kvůli hygienickým požadavkům na přívod nezávadné pitné vody (Irimon 2020).

### **3.4.4 Srážková voda**

Srážková voda je ideální pro zalévání zahrady i pokojových rostlin, protože neobsahuje chlor a soli, proto je pro zalévání vhodnější než voda pitná. Při sběru dešťové vody pro přívod do zahradního jezírka je nutné věnovat pozornost, aby přiváděná voda prošla skrze přírodní, kořenovou čističku, zejména pak z vyschlých ploch příjezdových komunikací a drenáží ze zahrady. Tato voda může obsahovat vysoké procento škodlivin. Díky tomu, že elektrárny splňují přísné emisní normy, tak již nejsou největším ohrožujícím prvkem oxidy síry. Pokud předcházelo dešti význačné sucho, je doporučeno nejprve znečištěnou vodu ze svodů odvést do kanalizace (Helberg 1996).

### **3.4.5 Voda z vodotečí a přírodních nádrží**

Vody ve vodních tocích, nádržích a rybnících mají velmi proměnlivou kvalitu a kolísavý průtok. Ve vodě často kolísá obsah rozpuštěných i nerozpuštěných látek. Zejména po přivalových deštích se objevuje zvýšený obsah organických i minerálních nerozpuštěných

látek. Tento stav může ovlivnit hodnoty BSK<sub>5</sub><sup>2</sup>, CHSK<sup>3</sup> a ostatních znečišťujících látek ve vodě. Toto ovlivnění závisí i na hustotě osídlení a způsobu využití území v povodí toku. V mělkých částech toků dochází k intenzivnějšímu prohřívání vody, to ovlivňuje obsah kyslíku ve vodě a zrychluje tvorbu nežádoucích řas a sinic. Takto může dojít k znehodnocení vody, a to jak esteticky, tak i biologicky. Okolní zeleň je zdrojem znečištění vody pylem, okvětními lístky, opadávajícími plody, listím a jehličím. Současné deště, jejichž hodnota pH je nižší než 7, (kyselé) narušují kvalitu vody. Nízké pH může ovlivňovat kvalitu zejména kovových materiálů omývaných vodou nebo umístěných ve vodě (Janál et al. 2016).

### 3.5 Vodní prvky a závlahy v zahradní architektuře

Již v předchozích definicích vody v zahradní architektuře bylo uvedeno, že se může jednat o prosté pítko, které doplňuje kompozici zahrady nebo o dominantu, která ovlivní klima celé zahrady. Pokud na zahradě máme omezený prostor, můžeme využít vertikální vodní prvek. Může se jednat o vodopád, vodní stěnu nebo protékající kohoutek (Mareček et al. 1975).

V následujících bodech uvedeme jednotlivé vodní prvky a závlahy v zahradní architektuře, které posléze zhodnotíme pro jejich mikroklimatický vliv v zahradách a parcích.

#### 3.5.1 Malé vodní nádrže

Nádrže nejsou jen architektonicko-estetickým prvkem v zahradách a parcích, ale také životním prostředím mnoha různých druhů živočichů a rostlin. Vodní nádrže mají kouzelnou sílu, která přitahuje pozornost všech návštěvníků i náhodných kolemjdoucích. Tento druh vodního prvku je častým středobodem při architektonickém navrhování. Při návrhu musíme dbát, aby velikost nádrže odpovídala vlastnostem terénu pozemku a jeho uspořádání. Důležité je také dodržování platných norem a městských vyhlášek. Další významnou předností malých nádrží je to, že mohou sloužit jako zásobárna vody na zalévání. Cílem při tvorbě malých vodních nádrží je dokonalá harmonie vegetace, která příjemně doplňuje kompozici a zejména v případě bahenních rostlin dochází k efektivnímu čištění vody v dané nádrži (Wirth 2015; Helberg 1995; Brookes 1991).

Dle normy ČSN 75 2410 musí malá vodní nádrž splňovat dvě základní podmínky. Celkový objem (počítaný po hladinu ovladatelného prostoru) nepřesahuje 2 mil. m<sup>3</sup>. Maximální hloubka nepřesahuje 9 m (počítáno od nejnižšího místa po maximální hladinu) (AOPK 2017).

---

<sup>2</sup> **BSK<sub>5</sub>** - Biochemická spotřeba kyslíku – slouží k nepřímému stanovení organických látek, které podléhají biochemickému rozkladu při aerobních podmínkách. (nejčastější je standardizovaná zředovací metoda pro stanovení pětidenní BSK (BSK<sub>5</sub>))

<sup>3</sup> **CHSK** – Chemická spotřeba kyslíku, definovaná jako množství kyslíku spotřebovaného k oxidaci organických látek ve vodě se silným oxidačním činidlem. Tato hodnota je míra celkového obsahu organických látek ve vodě.



### 3.5.1.1 Rozdělení malých vodních nádrží

Malé vodní nádrže dělíme podle účelu na **rybníky**, které slouží jako rybochovné nádrže, **závlahové**, určené k zavlažování zahrady, parku nebo pole. **Rekreační, ochranné a hospodářské** nádrže, které mají funkce čistící, zásobní, požární nebo okrasné. **Krajinotvorné** vodní nádrže mohou splňovat téměř všechny výše zmíněné funkce.

Nádrže můžeme rozlišovat i podle jejich zdroje vody, nádrže dešťové neboli nebeské, pramenné, potoční nebo říční. Říční dále dělíme na průtokové, obtokové a boční. Dalšími druhy nádrží jsou nádrže zahloubené, hrázové a údolní (Hříbal 1999).

### 3.5.1.2 Využití nádrží v zahradní architektuře

V zahradní a krajině architektuře jsou využívány zejména krajinotvorné, rekreační nebo nádrže v obytné zástavbě. Tyto nádrže jsou navrhovány ke zlepšení ekologických funkcí a estetického účinku krajiny či dané zástavby například parků, sídlišť a zahrad.

V malých zahradách rodinných domů jsou využívána okrasná nebo koupací jezírka a biotopy (Papworth 2002).

Při samotné realizaci okrasných jezírek a vodních nádrží je nutné dbát na řadu technických parametrů. Jak a kde bude samotné jezírko umístěno. Jakým způsobem bude řešen volený zdroj vody. Jaké bude technické vybavení jezírka. Nejdůležitějším parametrem pro realizaci okrasných jezírek a vodních nádrží je volba vhodného stavebního/hydroizolačního materiálu.

### 3.5.1.3 Rozdělení a zhodnocení nádrží dle použitého materiálu

**Průmyslově vyrobená nádrž z polyetylenu (PE), případně sklených vláken.**

- **Výhodou** je velká odolnost, dostupnost v mnoha velikostech, tvarech a snadná realizace.
- **Nevýhodou** je výroba pouze malých nádrží, ovšem s velkými nádržemi by bylo velmi těžké manipulovat.

**Foliové nádrže**, v současné době nejvíce využívaný materiál pro stavbu malých zahradních nádrží, ale i větších rybníků a zásobních nádrží. Nejčastějším materiálem je gumo-kaučuk (EPDM) a polyvinylchlorid (PVC).

- **Výhodou** je snadná zpracovatelnost a nízká cena, možnost vaření a lepení folií pro náročnější realizace.
- **Nevýhodou** je u PVC její zátěž na životní prostředí v případě její likvidace. Další nevýhodou je rušivý element v případě, kdy se na dně nevytvoří vrstva usazenin nebo není folie pokryta vrstvou kamínků či substrátu.

**Jílové nádrže**, jejichž dno je tvořeno ryze přírodní materiálem a jedná se o neekologičtější variantu výstavby malé vodní nádrže.

- **Výhodou** je, že se jedná o nepropustný materiál, který nemění svou konzistenci a je zároveň dobře tvarovatelný.
- **Nevýhodou** je váha jednotlivých jílových cihel a jejich dražší a náročnější přeprava a manipulace. Na 1 m<sup>2</sup> dna je potřeba 180-210 kg jílu.

**Betonové nádrže** jsou po foliových a prefabrikovaných nádržích dalším nejrozšířenějším druhem.

- **Výhodou** je schopnost betonu odolávat zvýšené mechanické zátěži a jinému poškození.
- **Nevýhodou** je její budoucí obtížné odstranění. Strohé tvary, které se hodí pouze do modernějších zahrad. V případě silného mrazu může dojít k popraskání povrchu nádrže.

**Hydrosilové nádrže**, jsou tvořeny z usušeného a jemně nadrceného montmorillonitu (jílového materiálu), který má vysokou schopnost bobtnat.

- **Výhodou** je malá spotřeba materiálu.
- **Nevýhodou** je velmi složitá výstavba, kvůli technologické a mechanizační náročnosti (Helberg 1995).

#### 3.5.1.4 Zdroje vody u malých vodních nádrží

Jako zdroj vody u malých vodních nádrží je možné využít veškeré, v bodě 3.3 vypsané zdroje, ovšem je nutné brát zřetel na možný obsah nežádoucích, znečišťujících látek nebo škodlivin. Proto je nutné dbát i na případnou úpravu vody ze zdroje například skrze kořenové čističky u přímého zdroje dešťové vody anebo filtry pro oddělení větších nežádoucích nečistot u zdroje dešťové vody, kterou zadržujeme v retenční nádrži (Helberg 1995).

#### 3.5.2 Tůň a mokřady

**Tůň** je definována jako terénní deprese nebo prohlubeň v terénu, která je trvale nebo periodicky naplněná vodou. Tůň vzniká přirozeně ze starých říčních ramen nebo uměle zásahem člověka. Tůň je zcela zahloubená pod úroveň terénu, nemá hráz. Maximální výška hladiny vody v tůni je dána výškou okolního terénu (AOPK, 2014).

Jako **mokřad** označujeme území, kde hladina vody vystupuje k a nad terén bez toho, aby vytvářela větší volnou vodní plochu. V České republice najdeme tyto typy mokřadů; rákosiny, rašeliniště, prameniště, podmáčené louky a lesy, nivy a okraje vodních ploch.

Tůně jsou budovány pro podporu ochrany přírody za cílem zvyšování biodiverzity. Nejsou určeny k chovu ryb ani vodní drůbeže. Přípustná je pouze obsádka specifických druhů

ryb, které napomáhají k udržení příznivých ekologických poměrů a k potlačování invazivních druhů (Hříbal 1999).

### 3.5.2.1 Rozdělení tůní

Dělení tůní dle způsobu jejich hloubení:

- a) **Tůně ručně hloubené** – vyžití v případě, kdy je nutné připravit podmínky pro určité druhy rostlin a živočichů nebo nelze použít techniku z důvodu hrozícího poškození cenného okolí nebo neúnosnosti terénu.
- b) **Tůně strojně hloubené** – standardní tvorba za pomoci těžké techniky, možnost dokonalé modelace.
- c) **Tůně jinak hloubené** – dalším způsobem tvorby tůní je odstřelem zeminy. Metodu nelze využít v silně zamokřených oblastech. Legislativně a personálně náročný proces. Výhodou je nízké poškození okolí pojezdem, zemina je rozptýlena do okolí. Takto vzniklé tůně se rychleji zazemňují a okraje splaví.
- d) **Tůně nehlobené** – jedná se o prohlubně, propadliny, strže, vytěžené pískovny a lomy, které se remodelují a zaplaví (AOPK 2014).

Dělení dle průtoku vody:

- a) **Neprůtočné tůně** – jsou závislé na místních srážkách nebo infiltraci. Hladina vody v tůni je závislá na hladině podzemní vody v jejím okolí. V období suchá může dojít až k vyschnutí tůně.
- b) **Obtočné tůně** – jde o neprůtočné tůně, které jsou umístěné v prostoru, kde by nebyly zavodněny. Obtok tůně zásobuje tůni vodu za pomoci průsaku. Dno by mělo být pod úrovní hladiny vodoteče.
- c) **Občasně průtočné tůně** – jsou pravidelně nebo v určitých obdobích roku průtočné například po náhlých srážkách, tání sněhu nebo vybřežení vody z toku do údolní nivy. Tyto tůně musí mít fixovanou hladinu a stabilní odtok.
- d) **Průtočné tůně** – jsou trvale napájeny vodou. Může se jednat o povrchový přítok, soustředěný odtok z prameniště nebo drenáže. Přítok z toku přirozeně nebo uměle. Umělý odběr vody z toku vyžaduje vybudování vzdouvacího objektu, který tvoří překážku na napájecím toku. Další způsob je přívod podpovrchově drenážemi nebo prameny. U průtočných tůní dochází k trvalému odtoku vody, tudíž hladina musí být stabilizována vhodným přírodě blízkým způsobem (AOPK 2014).

### 3.5.2.2 Zdroje vody tůní a mokřadů

Zdrojem vody pro tůně jsou převážně atmosférické srážky, povrchový a podpovrchový odtok vody, a to buď plošný nebo soustředěný, podzemní voda, povrchové vodní toky nebo odtok z drenážních systémů.

### 3.5.3 Potoky a prameniště

Potokem je myšlen přirozený vodní tok, který oproti řekám a říčkám mívá menší rozlohu povodí, délku a průtok. Obvykle se jedná o plynule tekoucí potoky, které mohou v letních měsících vysychat. Místo, kde potok vyvěrá na povrch nazýváme pramen (Blažek et al. 2006).

Uměle vytvořené potoky jsou proti potoku jako vodnímu toku zmenšeným prvkem využívaným v zahradní architektuře k obohacení kompozice. Ctíme zde přírodní prvky přirozených toků. Tvoříme prameniště s využitím kamenů, kdy daný potok můžeme obohatit kaskádou a doplněním okolní vegetace (Hříbal 1999).

#### 3.5.3.1 Rozdělení potoků

Potoky dělíme na potoky umělé, odtrubněné, zatrubněné, přírodní. V zahradní, či krajinné architektuře se věnujeme zejména umělým potokům. V tomto případě nám slouží přírodní potok jako vzor pro výtvořiny umělé. I umělý potok lze předstírat vytvořením suchého koryta, které je utvořeno uhrabaným pískem s oblázky, valouny a balvany, tak jak je patrné vidět v japonských nebo čínských zahradách. Okrasné potoky často využíváme v zahradách a parcích. V dnešní době má velký význam z urbanistického a biodiverzitního hlediska odtrubňování potoků. Odtrubněné potoky často protékají vesnicí nebo městem, kde je z důvodu hrozící eroze koryto upraveno a například vydlážděno (Hříbal 1999).

Dalším typem jsou přečerpávací potoky, které se kvůli velké finanční náročnosti nevyplácí provozovat ve velkém měřítku, a proto jsou používány hlavně jako zajímavý prvek v zahradní architektuře. U přečerpávacích potůčků je omezení dáno velikostí daného prostoru. Není nutné tvořit dlouhý tok, ale postačí i samotné prameniště, které lze snadněji v daném omezeném prostoru navrhnout (Helberg 1995).

#### 3.5.3.2 Zdroje vody potoků

Potoky se dají dělit i podle zdroje vody. Potoky dělíme podle toho, zda-li je využitý otevřený nebo uzavřený cirkulační systém, což ovlivňuje zdroje vody potoků.

U **otevřených cirkulačních systémů** využívají přírodní zdroje vody. Těmito zdroji jsou přirozené prameny nebo potoky protékající přes daný pozemek anebo napojení na vodoteče.

U **uzavřených cirkulačních systémech** je nejčastěji využíváno studniční vody a vodovodní řad. Zde je doplňována voda do akumulární jímky nebo tůně, které slouží k umístění čerpací techniky, která dá vodě požadovaný pohyb (Janál et al. 2016).

### 3.5.4 Kaskády a vodopády

**Kaskády** neboli soustava kaskádovitě uspořádaných nádrží, skrze které protéká voda přes jednotlivé stupně dolů do větší nádrže nebo tůně. Kaskády bývají obvykle součástí umělých potoků, kdy kaskáda zvýší atraktivitu daného prvku v zahradě. Voda čerí koryto

potoka, která následně protéká přes jednotlivé, vytvořené kaskády. Nejde však jen o vizuální, ale i o sluchový vjem. Stejně vjemy přináší do zahrad a parků **vodopády** (Helberg 1995).

Při tvorbě lze použít různé materiály. Například kamenné bloky, čedičové nebo žulové dlažební kostky, dřevo, beton, laminát i další plasty. Často se můžeme setkat se sklolamináty různých tvarů, což bývá jednou z nejjednodušších prvků pro realizaci spolu s vylisovanými prefabrikovanými kaskádami z umělých hmot (Sedlák 2005).

**Vodopády** bývají často nejpozoruhodnějším prvkem v zahradě, začlenění vůči ostatním vodním prvkům a napojení na koryto potoku. Délka padající vody je větší než u kaskád. Někdy je ovšem těžké hranici rozlišit, neboť u kaskád je rozdíl hladin již několik centimetrů, zatímco u vodopádů tato vzdálenost může převýšit i několik metrů. Vodopád by měl směřovat ze zúžených částí zahrady do jejích širších a otevřených partií. I tady platí pravidlo: čím menší zahrada, tím menší a nižší vodopád. V průměrně velké zahradě je minimální velikost 0,2 m a maximální 1,5 m. V případě, kdy je možné umístit vodopád do úrovně pohledu očí. Předem si tedy zvolíme, odkud jej budeme nejčastěji pozorovat. V terénu potom provádíme takové úpravy, abychom vodopád natočili k posedovému místu, například k výhledu z oken domu.

Jestliže máme k dispozici svažité pozemek a potůček prochází kolem domu, umístíme vodopád do horní části pozemku. Vodopád ve spodní části v blízkosti jezírka tolik nevynikne jako v horní části. Vzhledem k umístění domu je lepší hledět na vodopád směrem nahoru či rovnoběžně než jej pozorovat shora (Šonský & Pospíšilová 2015).

#### **3.5.4.1 Zdroje vody kaskád a vodopádů**

U kaskád a vodopádů jsou vodní zdroje taktéž děleny dle otevřeného a uzavřeného cirkulačního systému jako u potoků. Zdroje vody jsou tedy naprosto stejné.

#### **3.5.5 Formální vodní prvky**

Formální vodní prvky řadíme mezi umělé prvky, památky zahradního umění, přesněji jako stavební strukturální prvky. Tyto prvky jsou utvářeny lidskou činností při využití nejčastěji upraveného materiálu přírodního původu.

Využití formálních vodních prvků nacházíme zejména na veřejných prostranstvích, jako jsou náměstí a parky. Často se jedná o kašny, fontány, bazénky s různými skulpturami, vodotrysky a mlžítka.

##### **3.5.5.1 Dělení formálních vodních prvků, jejich typy a zdroje vody**

Dle Janála et al. (2016) lze formální vodní prvky rozdělit do dvou hlavních skupin. Jedním z typů jsou **průtočné vodní soustavy**, kde obvykle bývá zdrojem vody výše položená studna nebo vodní toky. Ve starověku byla pitná voda přiváděna akvadukty z horských oblastí, aby napájela veřejné i soukromé vodní soustavy. V současné době je čistá pitná voda velmi

drahá, proto v současné době není provoz průtočných vodních soustav ekonomicky výhodný. Některé vodní nádrže byly vytvořeny přímo na vodoteči, kde pohyb vody bývá řešen jezem.

Druhým typem jsou vodní prvky s **uzavřenou cirkulací vody**. Zde je většinou zdroj vody pro vodní prvky řešen z veřejných nebo soukromých vodovodů pro napouštění vodních prvků a pro dopouštění ztrát vody odparem a při praní filtrů. Tuto skupinu následně můžeme dále rozčlenit dle využití technologie a úpravy vody.

### 3.5.6 Bazény a spa

Velice populárním vodním prvkem v zahradách zůstávají bazény, případně malé celoročně využívané vířivé vany. Ty slouží k relaxaci, ochlazovací koupeli nebo plavání. Na úkor bazénů se v současnosti stávají populárnější moderní biotopy a koupací jezírka. Dle Brookese (2006) postačí k pohodlnému plavání 7 m délky a 3 m šířky. Malý bazén dokážeme umístit i do malé zahrady, ovšem je nutné počítat s tím, že již nezbude místo na nic jiného. Z pohledu kompozice se často stává, že bazén je neúměrně veliký k prostředí, kde je usazen.

Tvar hraje také velkou roli. Často oblíbené protáhlé a oválné tvary usazené do hranatého půdorysu vypadají zvláště a pro někoho až neesteticky vzhledem k zbytku pozemku. Menší alternativou jsou hlubší relaxační bazénky, ve kterých můžeme ponořit celé tělo a relaxovat. Pokud přidáme protiproud, vířící zařízení, můžeme v nich i plavat.

Nejmenším způsobem, jak relaxovat jsou vířivé vany neboli spa a horké bazénky. Výhodou je možný provoz celoročně za nízkých nákladů na provoz. Často bývá horká voda využívána s kombinací studeného vzduchu v zimních měsících, kdy se jedná až o stimulující a příjemný zážitek. V případě těchto celoročně užívaných a vyhřívaných bazének je nutné minimalizovat tepelné ztráty a zamezit spadu nečistot z okolí termo krytem (USSPA 2021).

#### 3.5.6.1 Zdroje vody bazénů a spa

Vzhledem k technologiím a jednotlivým funkčním prvkům v bazénech a spa je důležité, aby se jednalo o čistý vodní zdroj. Samozřejmostí je vodovodní řad nebo studniční voda, ovšem zde je potřeba nejprve zajistit samotný průzkum o nezávadnosti vody, tak aby například voda neobsahovala vysoký obsah některých minerálů, což by mohlo vést až k poškození daných technologií a různých kovových prvků. Využívanou vodu je nutné pravidelně chemicky udržovat a desinfikovat, tak abychom zamezili růstu nežádoucích řas nebo zakalení vody (USSPA, 2021).

### 3.5.7 Zavlažovací systémy

V dnešní době se stávají zejména automatické zavlažovací systémy samozřejmostí při realizaci většiny zahrad. Tento dynamicky rozvíjející se obor v dnešní době vsází na implementaci chytrých funkcí pro efektivní hospodaření s vodou nejen díky automatickému využívání dat z meteorologických stanic si jednotka určí závlahovou dávku na základě evapotranspirace.

Zavlažovací systémy nejsou jen o dodávce vody k samotné vegetaci, ale dokáží nám usnadnit jednotlivé úkony jako je například doplnění vody do pítek, malých vodních nádrží, tůní, potoků a dalších vodních prvků. Nesmíme zapomenout, že zavlažovací systémy lze prolnout i s formálními vodními prvky a to například díky mlžítům, které nevyužíváme jen ve sklenících pro jemnou závlahu shora, ale jsou v horkých letních měsících oblíbeným vodním prvkem v městské zástavbě, protože je lze používat k ochlazení mikroklimatu a zvyšování vlhkosti vzduchu.

### **3.5.8 Jednotlivé prvky zavlažovacích systémů**

Srdcem automatického zavlažovacího systému je ovládací jednotka, která ovládá jednotlivé sekční elektromagnetické ventily. Tyto ventily pouští vodu do jednotlivých sekcí, které jsou tvořeny postřikovači v nichž jsou nainstalované trysky. Ty nám určují dostřik, srážkovou výšku a průtok daným postřikovačem. Dalším prvkem jsou mikropostřikovače a mlžítko, které jsou využívány ve sklenících nebo pro ochlazení a zvýšení vlhkosti v prostoru. Samostatným typem trysky jsou tzv. bubbler, které umožňují řízenou lokální distribuci vody v okolí postřikovače zejména při umístění v blízkosti keřů a stromů nebo vegetace náročné na vodu. Posledním prvkem je kapkový potrubí, které se v případě nadzemní instalace využívá k zavlažování liniových výsadeb keřů, stromů a živého plotu. Při instalaci pod zem, kdy je kapkový chráněn proti zarůstání kořinek vegetace je určen i k plošné závlaze členité, úzké trávníkové plochy, střešních zahrad či závlaze zelených tramvajových pásů (Rožnovský & Litschmann 2015).

#### **3.5.8.1 Zdroje vody zavlažovacích systémů**

U zavlažovacích systémů lze využít všechny již uvedené zdroje vody. Ovšem čistota a vydatnost samotného zdroje vody je tím nejzásadnějším. V případě nedostatečného vodního zdroje využíváme zdroj vody skrze akumulární jímku do které můžeme sbírat dešťovou vodu a v případě jejího nedostatku dopouštět danou jímku z vodovodního řadu nebo ze studny, která nemá pro přímý provoz systému dostatečnou vydatnost.

U znečištěné vody volíme jednotlivé druhy filtrů a jemnost jejich vložky proto, abychom zamezili ucpaní samotných trysek postřikovačů či mlžítek. Nutnou jemnost vložky filtru máme stanovenou dle technologického předpisu jednotlivých výrobců. Pro postřikovače a elektromagnetické ventily by měla být jemnost filtru minimální 75 MESH, pro mikrotrysky a kapkový hadice je doporučená jemnost vložky 120 MESH (Irimon 2020).

## **3.6 Voda, vegetace a mikroklima**

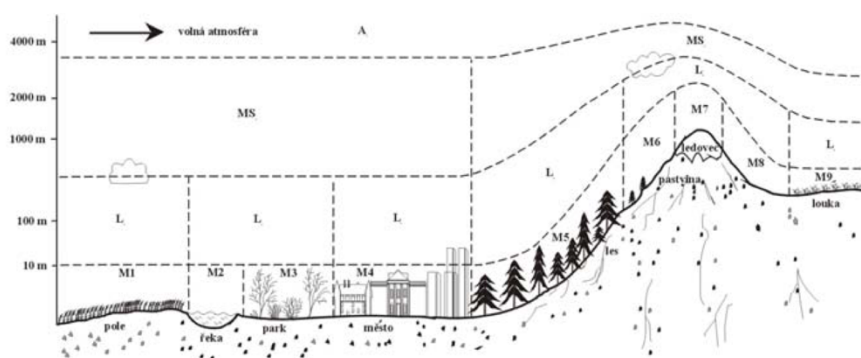
Voda tvoří největší objemovou složku organismů, rostlin a živočichů. Samotné lidské tělo tvoří z 55-60 % voda a u rostoucích pletiv rostlin jde dokonce o 80-95 %. Proto je voda jedním z nejdůležitějších prvků. Vodní prvky ve městech ovlivňují celou řadu aspektů a to

například teplotu, vlhkost a rychlost větru. Tepelný účinek vody je složitý proces kombinující fyzikální vlastnosti, distribuci a okolní prostředí.

Účinky vody na životní prostředí úzce souvisí s okolním prostředím, velikostí vodního prvku a břehové vegetace. Stejně jako voda má vegetace také klimatický účinek, který hraje synergickou roli při vlivu vody na životní prostředí (Zeng et al. 2017).

### 3.6.1 Definice mikroklimatu

**Mikroklima** je definováno jako podnebí velmi malých oblastí o rozměrech do 1 kilometru v horizontálním směru, kde se uplatňují vlivy s jakoukoli polohou osy rotace víru. Vertikální rozsah je omezen výškou vrstvy přiléhající k zemskému povrchu, v níž se projevují odlišnosti od podnebí širšího okolí. Mikroklima je nejčastěji formováno homogenním aktivním povrchem, nad nímž se podmínky utváření mikroklimatu liší od okolí. Jde například o holou půdu, vodní plochu, les, ulici a další. Právě aktivní povrch, na němž probíhá přeměna zářivé energie na tepelnou, je hlavním mikroklimatotvorným činitelem. Za horní hranici bereme asi 2 m nad aktivním povrchem. Hodnoty přepočtených vertikálních gradientů představují řádově  $10^1$ – $10^3$  hodnot gradientů ve volné atmosféře. Výměna a přenos tepelné energie probíhá molekulárním vedením, konvekcí a turbulencí. Existence mikroklimatu úzce závisí na rázu vyšších kategorií klimatu a makropočasi, takže za silného proudění se mikroklima nemusí vůbec vyvíjet (Středová et al. 2011; ČMeS 2020; Vysoudil 2013).



Obr. 3: Příklad klimatických kategorií - (M1-M9 – mikroklima, L1-L6– místní klima, MS1-MS2- mezoklima, A1– makroklima) (zdroj: Vysoudil 2013)

### 3.6.2 Klima měst

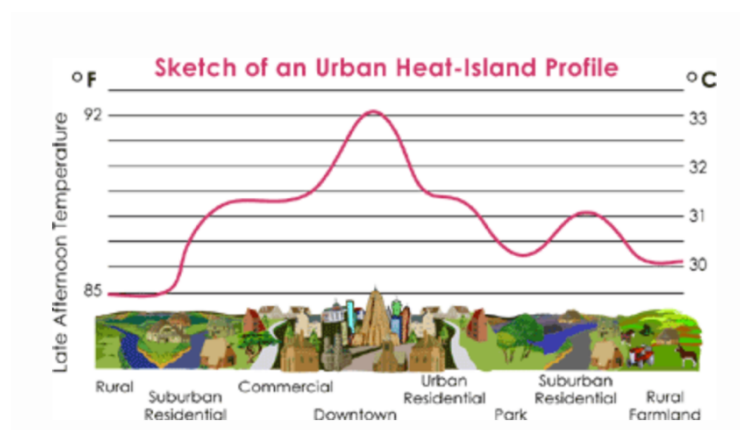
Mikroklimatologie se podílí na zkoumání městských částí, jako jsou ulice náměstí, parky, a dokonce i klima uzavřených prostor. Odráží se zde i zkoumání vlivu na člověka a jeho komfort. Městské klima na rozdíl od sídel s nižší hustotou zástavby nebo volné krajiny přináší vyšší počet kondenzačních jader, pevných částic, srážek, kratší trvání slunečního svitu, vyšší průměrnou teplotu, nižší relativní vlhkost a průměrnou roční rychlost větru. Složení vzduchu nad městy často bývá ovlivněno mírou znečištění, tím je nižší schopnost propouštět záření a teplo až o 50 %. Zároveň je tepelné záření vyzařované povrchem do atmosféry zpomalováno,



což má za následek, že se tepelná energie hromadí v blízkosti povrchu. Celkově je tedy prostor nad městy teplejší v porovnání s místy, kde je tzv. volná atmosféra. Vyšší teploty vzduchu ve městech v porovnání s chladnějším okolím umožňují vznik **tepelného ostrova** (Parker 2020; Středová et al. 2011; Vysoudil 2013).

### 3.6.3 Definice tepelného ostrova

**Tepelný ostrov** definujeme jako oblast zvýšené teploty vzduchu v mezní a přízemní vrstvě atmosféry nad městem nebo průmyslovou oblastí ve srovnání s venkovským okolím což můžeme vidět na obr. 4. Hlavní příčinou tepelného ostrova jsou povrchy, které nahrazují vegetaci a vodu. Ty zvyšují akumulaci tepla, jde o betony, dlažby, asfalty a další (Parker 2020). Další příčinou jsou charakteristické vodní a vláhové bilance a tepelné znečištění ovzduší v topné sezóně (ČMeS 2021).



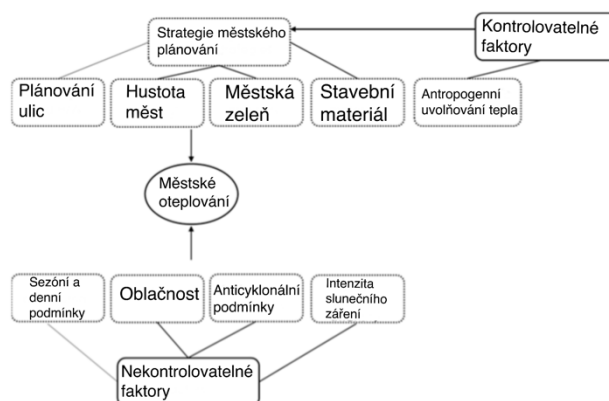
Obr. 4: Znázornění profilu městského tepelného ostrova -  
(zdroj: <http://www.terry.ubc.ca/2006/02/08/climate-change-in-urban-areas-faq-moccia-mix/>)

### 3.6.4 Prostředí měst mění mikroklima

Městské prostředí určitým způsobem mění mikroklima. Zvýšená míra urbanizace a industrializace 20. a 21. století dramaticky změnila životní prostředí, využívání půdy a pokrytí moderních měst, ovlivnila kvalitu života a životní styl občanů pozitivním i negativním způsobem (Weng & Yang 2004).

Přes řadu zařízení, která města nabízí svým občanům (týkající se zdraví, vzdělání, technických znalostí a pohodlí) vyvstaly zásadní problémy kvůli úpravám a přeměnám půdy. Budovy, dlážděné plochy a silnice výrazně oteplují prostředí měst, proto se v značné míře prosazují návrhy, kdy dochází k tvorbě a rozšiřování ploch vegetace a vody.

Jedním z nejdůležitějších negativních výsledků urbanizace je oteplování měst a vysoké teploty okolního vzduchu ve městech, které se připisují různým nekontrolovatelným a kontrolovatelným parametrům. Na jedné straně se nekontrolovatelné faktory vztahují k environmentálním a přírodním parametrům, zatímco ty kontrolovatelné zahrnují urbanistické a návrhové parametry (Tsoka et al. 2020).



Obr. 5: Parametry ovlivňující městské mikroklima a přispívající k vytváření jevu městského tepelného ostrova (UHI) (Zdroj: Tsoka et al. 2020)

Dalším parametrem ovlivňujícím prostředí je zeměpisná poloha a struktura města. Toto zahrnuje regionální meteorologii, morfologii, geometrickou konfiguraci, stavební materiály, vegetaci, vodu a lidské činnosti. Ty mají významný vliv na městské klima. Obecně je povrch drsnější, méně větrný a ve městech často suchší než v okolních venkovských zónách kvůli nahrazení vegetace méně propustnými povrchy, jako jsou budovy a dlážděné ulice. V důsledku toho je vzduch v městské oblasti teplejší, což vede k rozvoji městského tepelného ostrova. Intenzita tepelného ostrova může mít za následek teplotní rozdíl až 10 °C mezi hustou městskou oblastí a okolními venkovskými zónami (Robitu et al. 2006).

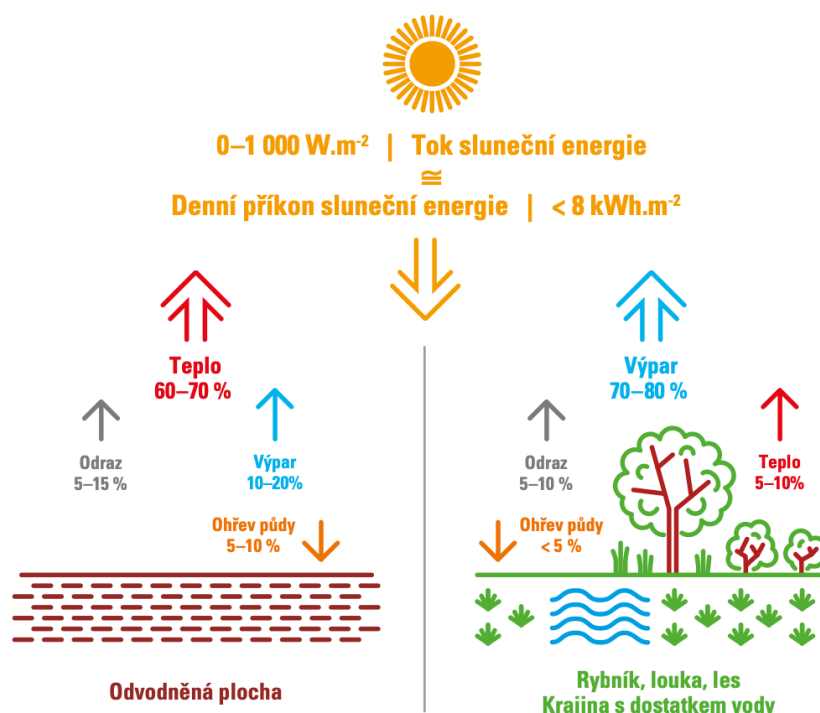
### 3.6.5 Význam a vliv vody pro mikroklima

Použití vody při snižování teploty okolí je známé po mnoho staletí. Latentní teplo použité k odpařování vody v atmosféře snižuje teplotu okolí a může zlepšit podmínky tepelné pohody (Santamouris & Kolokotsa 2016).

Voda při distribuci slunečního záření a koloběhu vody přináší ochlazovací efekt. Za pomoci fyzikálních principů, kdy dochází k přenosu tepelné energie související se změnami skupenství vody z kapalného na plynné a naopak. K výparu 1 kg vody je při běžné teplotě 20 °C potřeba 2,45 MJ/kg, což je přibližně 0,68 kWh sluneční energie. Při poklesu teploty dochází ke kondenzaci vodní páry zpět na vodu. Energie, která se váže ve vodní páře se opět uvolňuje a ohřívá povrchy na nichž se vodní pára sráží. Nejde však jen o samotný výpar a kondenzaci, ale i o tepelnou výměnu, která určuje tepelnou vodivost. Ta představuje rychlost, s jakou se teplo šíří z jedné zahřáté části látky do jiných chladnějších částí. Pokud se dostanou do vzájemného kontaktu dvě látky s různou teplotou, předá teplejší látka část své energie chladnější látce a tím se ochladí. Chladnější látka tuto energii přijme a tím se ohřeje. Množství energie, kterou teplejší látka odevzdá látce ve svém okolí je stejné, jako množství energie, které okolní látky přijmou. energii předanou mezi látkami tímto způsobem nazýváme teplo, značíme ji písmenem velké Q a určujeme v joulech (J). Předávání energie mezi látkami s různou teplotou

bez toho, aby některé z látek konala mechanickou práci, nazýváme tepelná výměna. Teplo předané nebo přijaté látkou při tepelné výměně samozřejmě souvisí s teplotou.

Pokud sluneční energie dopadá na povrch, který je bez vodní plochy a vegetace, přeměňuje se převážně na zjevné teplo. Od ohřátého povrchu se pak ohřívá vzduch. Lehký teplý vzduch stoupá vzhůru a tím se zrychluje i proudění vzduchu. V krajině, která je zásobená vodou a pokrytá vegetací se však podstatná část slunečního záření (např. až 80 %) spotřebovává při výparu vody. Tyto rozdíly jsou níže vyobrazeny na obr. č. 6. Rozdíl v distribuci sluneční energie na odvodněné ploše a ploše, která je dobře zásobená vodou s pokryvem vegetací se za slunného dne pohybuje v rozsahu několika set  $W \cdot m^{-2}$  (4). Při evapotranspiraci se spotřebovává přibližně  $400 W \cdot m^{-2}$  v závislosti na velikosti vodní plochy a vlastnostech vegetace (Ryplová et al. 2021).



Obr. 6: Rozdíl v distribuci sluneční energie v krajině s vegetací a suché krajině bez vegetačního krytu a vodních nádrží. (Zdroj: Ryplová et al. 2021)

Povrchová teplota vody může být souběžně o několik stupňů nižší než v okolním zastavěném prostředí a přispívat k ochlazení okolního vzduchu za pomoci obvyklých procesů. Zmírňující potenciál vodních prvků byl důkladně prozkoumán studiiemi Xu et al. (2010) analyzujícími teplotní vzorce ve městech obklopených jezery, řekami a jinými vodními nádržemi.

Rozšíření vodní plochy zvýší odpařovací plochu vodní hladiny a poté zvýší latentní výměnu tepla mezi vodou a atmosférickým prostředím. Podle průzkumu Li Shuyana (2008) o mikroklimatickém účinku městské vody, který pomocí automatického sběrače dat CAWS a simulace parametrizace modelu regionální hraniční vrstvy v daném případě ukázal, že vodní plocha o rozloze  $2 km^2$  může ochladit prostředí v dosahu  $1 km$  o  $0,6 ^\circ C$ . Zatímco plocha vody,

<sup>4</sup>  $W \cdot m^{-2}$  - watt na metr čtverečný (základní jednotka intenzity záření)

kteřá má méně než 0,25 km<sup>2</sup> má velmi malý vliv na okolní prostředí Santamouris et al. (2017). ve svém souhrnu uvádí, že i malá plocha dokáže výrazně snížit teplotu, což je podmíněno typem vodního prvku. Více o souhrnu uvedeno v bodě 3.6.7.

Samozřejmě čím větší je daná vodní plocha, tím větší má dopad na místní prostředí. Zvětšování vodní plochy ovlivňuje rychlost větru, ta se může zvýšit až o 0,1-0,2 m/s nad vodní hladinou (Zhiwei 2017).

Pobřežní a břehové zóny vodních prvků a ploch jsou prostory spojující suchozemské a vodní oblasti. Okolí břehů jsou důležitou oblastí, kde se lidé zdržují při příležitostných procházkách, během cyklistiky a další podobných každodenních rekreačních aktivit. Zejména pak v letních horkých dnech, kdy vodní plochy zlepšují tepelný komfort člověka. Komfort člověka je biometeorologický parametr pro hodnocení úrovně komfortu za různých klimatických podmínek. Je založen na principu výměny tepla mezi lidským tělem a atmosférou blízkou zemi. Metoda efektivního teplotního indexu, kterou navrhli Houghten a Yaglou v roce 1947, byla první komplexní metodou analýzy pro hodnocení lidského pohodlí (Gregorczyk & Cena 1967).

### 3.6.6 Metody hodnocení

V dnešní době je možné k ověření pozorovaných výsledků experimentálních projektů použít numerických řešení daných podrobnými softwarovými nástroji založených na CFD<sup>5</sup> simulacích, a dokonce i využitím satelitních snímků, které shrnuje například Santamouris et al. (2017). Díky použití satelitních snímků je třeba možné analyzovat vliv mokřadů na okolní tepelné prostředí. Tato technika představuje zajímavý potenciál pro studium velkých oblastí a poskytuje praktická data pro vedení rozhodnutí při návrhu městské krajiny zaměřené na zmírnění účinků UHI<sup>6</sup>. Důležitost přítomnosti vody pro účinek UHI a poté její role jako techniky přirozeného chlazení, závisí na podnebí. Tato závislost byla identifikována jako relevantní pro některé využití vody ke snížení vnitřní i venkovní teploty vzduchu.

Jedna z těchto technik je založena na použití postřikovačů nebo mikronizátorů. Chladicí potenciál těchto prvků lze vyjádřit pomocí map použitelnosti, které následně obsahují zajímavé a užitečné výsledky pro městské designéry, stavitele a architekty.

Oke (2002) navrhl výpočtové metody směřující k analýze městského mikroklimatu, které zahrnovaly původně zjednodušený přístup modelu bilance povrchové energie (SEBM), který byl založen na zákonu zachování energie pro konkrétní regulační objem a dodržoval principy bilance povrchové energie. SEBM, jehož podrobný popis poskytuje Bozonnet et al. (2013), byl v posledních desetiletích široce používán, zatímco relevantní přístupy k modelování byly porovnány externě, aby bylo možné určit požadovanou úroveň složitosti modelu směrem k přesným výsledkům simulace. SEBM poskytly základ pro numerickou analýzu mikroklimatu. Jeho zásadní omezení však spočívá v absenci informací o rychlostních polích větru a ve skutečnosti, že u tohoto typu modelu nelze vhodně modelovat proudění, které ovlivňuje citelný tok tepla (Topolar et al. 2017).

V posledních letech se ostatní modely (SOLWEIG, SOLENE) mikroklimatu zaměřují hlavně na krátkovlnné a dlouhovlnné výměny záření mezi městskými prvky, zatímco tepelná

---

<sup>5</sup> **CFD** – zkratka, výpočet dynamiky tekutin (Computational Fluid Dynamics)

<sup>6</sup> **UHI** – zkratka, městský tepelný ostrov (Urban Heat Island)

pohoda chodců je hodnocena hlavně výpočtem hodnoty střední radiační teploty. Přesto však nelze zohlednit proudění větru a odpovídající složité charakteristiky turbulence uvnitř městské čtvrti (Tsoka et al. 2020).

Další hodnoty lze získat z předchozích zkušeností a případových studií nebo použitím zjednodušených nebo podrobných modelů.

Nakonec byly zváženy interakce mezi vodními útvary a jinými technikami městského chlazení, zejména v kombinaci s evapotranspirací vegetace. Bylo také posouzeno srovnání chladičoho potenciálu různých technik z hlediska využití vody, protože tento aspekt by mohl být klíčový v horkém a suchém podnebí (Santamouris & Kolokotsa 2016).

### **Porovnání základních rysů experimentálních a numerických metod pro analýzu městského mikroklimatu dle Tsoka et al. (2020);**

	<b>Experimentální metody pro analýzu mikroklimatu</b>	<b>Numerické metody pro analýzu mikroklimatu</b>
<b>Požadovaný čas</b>	Časově náročné, obecně dlouhodobé trvání měření	Trvání simulací od několika hodin do několika dnů, v závislosti na simulované oblasti a požadované úrovni přesnosti
<b>Složitost / obtížnost</b>	Jednoduchá metoda a analýza získaných dat	Složitější metoda, vyžaduje znalosti a seznámení uživatele
<b>Prostorové rozlišení</b>	Omezené prostorové rozlišení, v záznamech o lokalitách na konkrétních místech studované oblasti (omezené vybavení)	Výsledky simulace mikroklimatu jsou k dispozici pro všechny body zkoumané studijní oblasti
<b>Časová analýza</b>	Klimatické záznamy pro jednotlivé kalendářní měsíce nebo kalendářní roky	Simulace na denní nebo týdenní úrovni kvůli vysokým výpočetním nákladům
<b>Zkoumané parametry</b>	Obecně se provádí pro omezené mikroklimatické parametry	Obecně dostupné výsledky simulace pro více mikroklimatických parametrů (v závislosti na modelu)
<b>Přesnost</b>	Spíše náchylný k chybám, pokud není dodržen vhodný protokol měření (radiační štíty, kalibrace zařízení atd.)	Zvýšená přesnost simulace (pro ověření se důrazně doporučují záznamy na místě)
<b>Parametrická analýza strategií zmírňování UHI</b>	Obtíž kvůli různým okrajovým podmínkám (před a po aplikaci navrhovaného řešení)	Možnost parametrické analýzy různých strategií zmírňování (klimatické okrajové podmínky definované uživatelem)

### 3.6.7 Vliv vodních prvků a faktory ovlivňující mikroklima

Vliv vodních prvků na městské klima je dobře znám a byl podrobně studován různými autory. Na jedné straně byla absence vody a evapotranspirace z vegetace identifikována jako jeden z důvodů pro takzvaný „efekt městského tepelného ostrova“. Na druhé straně je použití vody v městském prostředí jedním z neúčinnějších způsobů, jak redukovat městské teplo v teplých letních dnech. Současně byla studována voda z hlediska jejího vlivu na venkovní pohodlí, tak i z hlediska jejího vlivu na spotřebu energie okolních budov.

Vodní prvky dle Santamourise et al. (2017) dokážou ochladit městské prostředí díky svým tepelným a optickým vlastnostem a ty lze seskupit do tří hlavních efektů:

- a) Vysoké měrné teplo vody je řádově asi čtyřnásobné oproti hodnotě většiny městských materiálů, a v důsledku toho je tepelná setrvačnost vody čtyřikrát vyšší. Účinek tepelné setrvačnosti je dvojnásobný: zpoždění a vyrovnání maximální teploty.
- b) Proces odpařování vody vyžaduje velké množství energie známé jako latentní teplo. Když se kapka vody odpaří, tato energie pochází z okolního vzduchu a vody, což vede k chladnějšímu vzduchu v okolí vodního prvku a vodě v něm. Minimální dosažitelná teplota pro tento proces je teplota vlhkého teploměru.
- c) Nízká odrazivost vody způsobuje slabý sluneční odraz na ostatní povrchy v okolí, čímž se zabrání jejich zahřátí.

V městském regionu mohou mít vodní prvky pozitivní vliv na mikroklima okolních oblastí, když bude v horkých slunečných dnech vyžadováno přirozené chlazení způsobené odpařováním. Čím více šancí na dostupnost vody obecně zlepšuje odpařování a související nárůst nabídek latentního tepla a další vliv na denní chlazení. Vodní prvky fungují jako chladicí zdroj mikroklimatu pro okolní oblasti. Teplota vzduchu nad a v blízkosti vodního útvaru se liší od teploty nad pevninou, protože voda má odlišný systém chlazení a vytápění. Vodní prvky jsou považovány za nejlepší absorbery záření, ale na druhé straně poskytují velmi malou tepelnou odezvu (Oke 2002; Wong et al. 2012).

Když se voda dostane do kontaktu s nenasyčeným horkým vzduchem, probíhá současně proces přenosu tepla a hmoty. Na jedné straně teplotní rozdíl mezi vzduchem a vodou vede k čistému přenosu tepla mezi nimi. Na straně druhé koncentrační gradient vodní páry mezi vodní hladinou a nesyčeným vzduchem vyvolává odpařování vody, což vyžaduje použití určité energie pro fázovou změnu. Ve vztahu k tepelné úrovni vody mají tyto dva jevy opačný účinek.

Přenos tepla má tendenci zvyšovat teplotu vody, zatímco latentní energie absorbovaná odpařenou vodou ji chladí. Výsledkem je rovnovážná teplota, která se nazývá teplota mokrého teploměru. Odpařovací chlazení lze poté použít ke dvěma účelům, k ochlazení vody nebo k ochlazení vzduchu.

Využití vodních prvků ke snižování městských teplot vzduchu závisí na jedné straně na latentním teple uvolněném během procesu odpařování a na druhé straně na nižší teplotě vodní plochy ve srovnání s běžnými městskými povrchy, což vede k nižšímu konvekčnímu přenosu tepla do vzduchu.

Kromě přírodních vodních útvarů uvnitř městských oblastí (například řek a jezer) zahrnují metody městského odpařování různé systémy, jako jsou bazény, rybníky, závlahy, postřikovače a fontány. Zatímco úroveň jejich chladicího potenciálu závisí na několika parametrech zahrnujících tvar vodního útvaru a charakteristiku okolí a také místní klimatické podmínky, včetně relativní vlhkosti, rychlosti větru, teploty vzduchu a intenzity slunečního záření.

Doposud byl zmírňující potenciál odpařovacích metod mnohem méně hodnocen ve srovnání s využitím městské zeleně a chladných materiálů, zatímco příslušné studie jsou prováděny hlavně pomocí simulačních metod a vzácněji experimentálními metodami. Přesto lze na základě výsledků stávajících studií vyvodit určité předběžné závěry. Například Wong et al. (2012) uvádí, že chlazení odpařováním z vodních prvků je stále jednou z neúčinnějších metod pasivního chlazení. Odpařování je schopné snížit teplotu vzduchu, a tím zmírňuje proces UHI a zvyšuje tepelnou pohodu obyvatel. Vznikajícího odpařování lze dosáhnout zvýšeným využitím vegetace nebo množství povrchové vody.

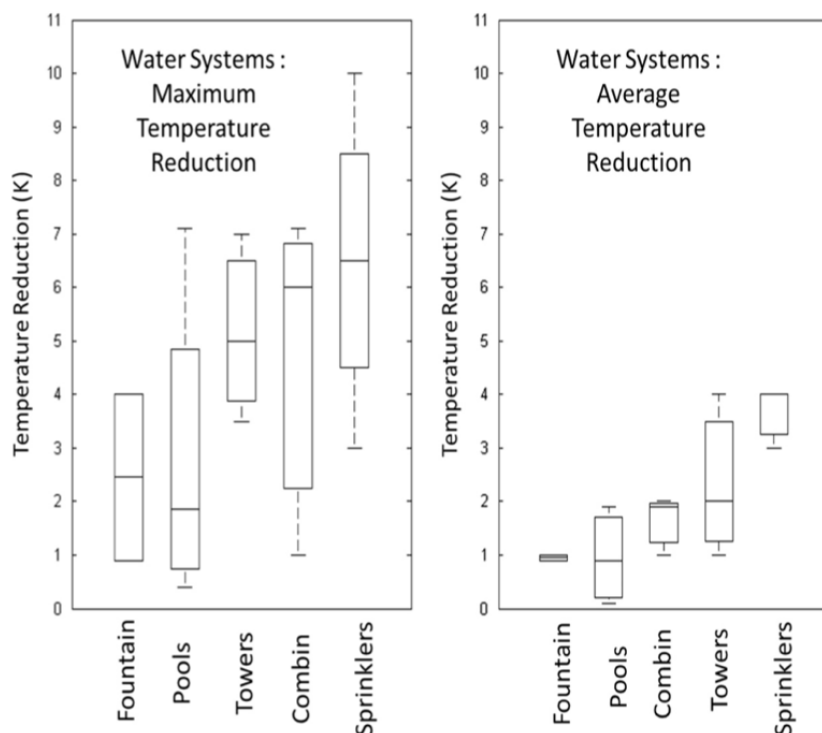
Guattari et al. (2017) porovnali klimatické záznamy z referenční meteorologické stanice umístěné v oblasti s nízkou hustotou na předměstí Říma s příslušnými klimatickými měřeními na místě v hustě zastavěné městské oblasti. Analýza se týkala měření teploty suchého teploměru, rychlosti větru a relativní vlhkosti dvouletého období. Menší rozdíly teploty vzduchu mezi těmito dvěma oblastmi byly zjištěny v zimě, zatímco v létě se maximální odchylky měsíčního průměru teploty vzduchu vyskytly v červenci a srpnu 2015, kdy dosáhly +2,0 °C. Výrazně nižší rychlost větru byla zaznamenána v hustě zastavěné oblasti, a to kvůli úkrytu proti větru sousedními stavbami. Dále je oblast charakterizována nižšími hodnotami relativní vlhkosti ve srovnání s referenční meteorologickou stanicí na předměstí. Druhá oblast byla ovlivněna vyšší mírou evapotranspirace v důsledku zvýšené přítomnosti vegetace a účinku mořského vánku.

### **3.6.8 Možnosti, jak efektivně ochlazovat prostředí měst**

Kromě přírodních vodních útvarů ve městech se k navrhování a integraci městských systémů odpařovacího chlazení schopných snižovat teplotu okolí používají různé technologie nebo techniky založené na odpařování vody. Tyto techniky patří k neúčinnějším pasivním chlazením (Robitu et al. 2006).

Ve veřejných prostorech se z dekorativních a klimatických důvodů široce používá řada pasivních systémů, jako jsou bazény, rybníky a fontány, zatímco byly vyvinuty i aktivní nebo hybridní vodní složky, jako jsou odpařovací větrné věže, postřikovače a vodní clony, které byly instalovány a testovány v městských veřejných prostorech po celém světě (Santamouris & Kolokotsa 2016).

Santamouris et al. (2017) přináší zatím nejrozsáhlejší souhrn výzkumů, kde nalezneme jednotlivé vodní prvky, jejich velikosti, umístění a samotné hodnoty naměřené během výzkumů. Díky tomuto souhrnu můžeme určit jako neúčinnější prvek postřikovače, které dokázaly dle čtyř výzkumů snížit teplotu okolí o 6-10 °C. Bazény a vodní nádrže snížily teplotu na základě čtyř projektů o 0,4-7,1 °C a fontány o 0,9-4,0 °C. Popsány jsou i kombinace těchto prvků, které zmiňuje i Tsoka et al. (2020). Kombinace jednotlivých prvků však dle grafu č.1 vykazují v průměru menší snížení teploty.



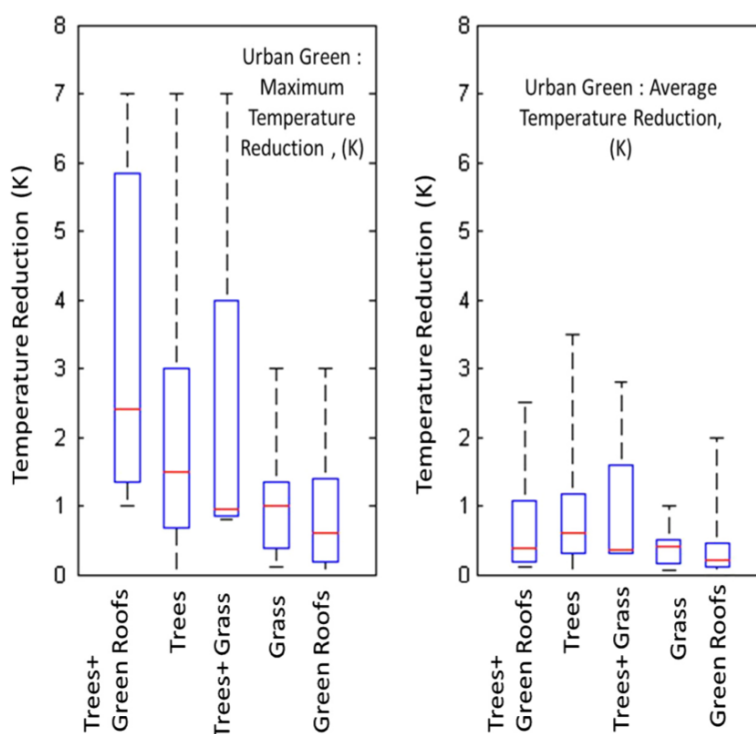
Graf č.1: Redukce teploty v závislosti na druhu vodního prvku (Zdroj: Santamouris et al. 2017)

Santamouris et al. (2017) uvádí ve svém souhrnu dokonce i přehled vegetačních prvků, na základě její možnosti snížit městskou teplotu.

- Přidání městských stromů a živých plotů ve městech může způsobit maximální snížení vrcholové teploty okolí mezi 0,1 °C a 7,0 °C.
- Zelené a osázené střechy jsou vynikající alternativou, když v městském měřítku platí důležitá prostorová omezení a není možné přidat přízemní zeleň. Vypočítaný maximální pokles teploty maximální teploty okolí se pohybuje mezi 0,6 a 3,0 °C.
- Tráva je v otevřených městských prostorech velmi běžná a pomáhá snižovat teplotu okolí. Bylo zjištěno, že tráva může přispět k maximálnímu snížení vrcholové teploty okolí mezi 0,1 a 3,0 °C.
- Městské stromy v kombinaci se zelenými střechami představují nejvyšší potenciál zmírnění ze všech zvažovaných zelených systémů.



Přehled blíže specifikuje graf č.2;



Graf č.2: Redukce teploty v závislosti na druhu vegetačního prvku (Zdroj: Santamouris et al. 2017)

Tsoka et al. (2020) přináší souhrn předchozích studií, které hodnotili chladicí účinek vodních prvků. Teploty vzduchu a střední teploty záření jsou v tomto případě brány ve výšce 1,5-2,0 m od země:

- O'Malley et al. (2015) přináší výsledky přidání bazénů a malých nádrží o nízké hustotě v Londýně, kde během léta došlo k maximálnímu snížení teploty vzduchu v poledních hodinách o 0,5 °C. Maximální snížení teploty vzduchu v noci bylo nižší než 0,2 °C. Chladicí účinek je nižší, čím větší je vzdálenost od vodního prvku.
- Martins et al. (2016) zkoumal, jaký vliv bude mít výměna betonových dlažeb za vodní plochu o nízké hustotě ve francouzském Toulouse. Zde došlo k významnému zlepšení tepelné pohody, kdy maximální denní redukce teploty vzduchu bylo 2,5-3,0 °C.
- Taleghani et al. (2014) přináší výzkum, kdy byl hodnocen vliv fontán, kanálů, bazénů a nádrží využitých v obecných typech nádvoří v Nizozemsku. Během výzkumu bylo zjištěno výrazné snížení radiační teploty a to dokonce až o 21,0 °C.
- Taleghani et al. (2014) zmiňuje přidání bazénů a nádrží na zahradách a dvorech v americkém Oregonu. Zde bylo zjištěno, že se teplota vzduchu snížila až o 1,1°C v blízkosti vodních ploch.

Zajímavou studii vztahu mezi krajinou, variabilitou teploty a chováním člověka uvedl Egerer et al. (2019). V článku poukazují na perspektivu budoucí udržitelnosti a plánování městských zahrad. Městské zahradnictví může podporovat rozmanitost plodin za účelem zlepšení zabezpečení potravin a mohlo by mít ve městě potenciál ke zmírnění klimatických podmínek. Ovšem z velké části je vše ovlivněno člověkem, který řídí daný systém, upravuje míru využití vody u závlahy a například využití mulče tak, aby docílil stálých vhodných podmínek.

QIU et al. (2013) uvádí, že globální evapotranspirace (ET) může ročně spotřebovat  $1,483 \times 10^{23}$  J energie, což je přibližně 21,74 % z celkové dostupné sluneční energie, kdežto roční spotřeba lidské energie je  $4,935 \times 10^{20}$  J, což je přibližně 0,33 % roční spotřeby energie ET. Ta tedy vykazuje značný potenciál ke snížení teploty v městském prostředí. Tento přehled již proběhlých a vyhodnocených studií naznačuje, že ET může snížit městské teploty o 0,5-4,0 °C. Chlazení za pomoci zelených střech má na okolní teplotu a teplotu povrchu střechy významný vliv. Teploty se mohou pohybovat mezi 0,24-4,0 °C a 0,8-60,0 °C. Pokud se jedná o intenzivně řešenou zelenou střechu, která disponuje zavlažovacím systémem, dostáváme se tak k jedné z neúčinnějších variant redukce městské teploty. U samotných vodních útvarů je průměrně teplota o 2–6 °C nižší než v okolní zastavěné oblasti. Vodní útvar o ploše 16 m<sup>2</sup> může takto ochladit až 2 826 m<sup>3</sup> okolního prostoru o 1 °C.

### 3.6.9 Hodnocení technik a studií mikroklimatu

Ve většině stávajících experimentálních studií bylo dlouhodobě prováděno monitorování městského mikroklimatu na místě, které pokrývalo různé meteorologické podmínky a poskytovalo celkový přehled rozdílu teplot vzduchu mezi městskými a venkovskými lokalitami v horizontu jednoho roku. Protože má každá studie specifické parametry, je velmi těžké výsledky vzájemně porovnávat.

Vývoj a pokrok numerických metod v posledních desetiletí spolu se získanými vědeckými znalostmi v této oblasti vedly k vývoji a rozsáhlému využívání komplexnějších modelů městského mikroklimatu, což umožňuje podrobnou analýzu a celostní přístup k interakcím mezi budovami, atmosférou, rostlinami a vodní plochou.

Dosavadní studie prokazují, že je důležité dbát na pozitivní ovlivnění mikroklimatu při navrhování městské zeleně, zahrad a parků. Dosud získané poznatky nám umožňují vhodně kombinovat vegetační a vodní prvky tak, abychom docílili co nejlepší eliminace UHI a snížení zejména městských teplot v horkých letních dnech.

Rozvoj městského zemědělství, včetně komunitních zahrad, zelených střech, zahradní akvakultury, může zmírnit účinku městského tepelného ostrova. Výsledky studovaných průzkumů jasně naznačují, že zvyšující se evapotranspirace ve městech může zmírnit účinek městských tepelných ostrovů, což může poskytnout určitý odkaz pro územní plánování a design, jako je rozvržení a výsadba městské zeleně, městské zemědělství a vodních plochy, na aspekty chlazení teploty měst a zlepšování městského tepelného prostředí.

## 3.7 Rostliny a živočichové ve vodě a jejím okolí

Nedílnou součástí vodních prvků je vegetace. Vzájemně působící vlivy, kdy vegetace pomáhá utvářet komfortní prostředí a vytvářet potravu pro živočichy ve vodě a jejím okolí.

### 3.7.1 Rostliny

Vodní prvky můžeme zkrášlit rostlinami. V první řadě je nutné zamyslet se, kam chceme rostliny umístit. Zda-li chceme oživit vodní hladinu, břeh nebo nejbližší okolí nádrží či potoků. Každý vodní prvek lze zkrášlit vysazením rostlin, ať se jedná o malé jezírko, strohou tůň nebo velkou nádrž.

Při osazování je nutné dbát na vhodný výběr rostlin a cit při návrhu osazení tak, aby výsledek vypadal nenásilně a zároveň byla vidět jasná inspirace přírodou (Helberg 1995).

Rostliny využívané ve vodních prvcích lze rozdělit do několika skupin:

- **Hlubokovodní rostliny** – jsou ukotveny kořeny na dně vodního prvku, a na hladině plují jejich listy a květy.
- **Ponořené rostliny** – většina jejich vegetativní části je pod vodou.
- **Plovoucí rostliny** – nepotřebují půdy a živiny přijímají z vody.
- **Okrajové rostliny** – rostliny, které rostou při okrajích vodních toků a prvků, mohou mít kořeny ve vodě.
- **Rostliny bažin** – sem patří rostliny, které prosperují v mnohem vlhčím prostředí než většina rostlin. Vhodné je jejich využití zejména v mokřadech a tůních (Beaulieu, 2020).

### 3.7.2 Nejvhodnější vodní prvky pro vodní rostliny

Každá rostlina vyžaduje specifické podmínky. Na což je nutné brát zřetel při návrhu samotného osazovacího plánu vodních rostlin. Přesto lze určit dle Helberga (1995) vodní prvky, které jsou pro pěstování vodních rostlin nejvhodnější;

- a) malé vodní nádrže,
- b) mokřady a tůně,
- c) potoky a kaskády,
- d) některé větší formální vodní prvky.

### 3.7.3 Přezimování vodních rostlin

U velkých vodních prvků, můžeme zřídit trvalé výsadby. Problém může nastat u menších vodních prvků, kde v chladném podnebí vodní rostliny nepřezimují. V případě promrznutí je nutné počítat se ztrátami hlubinných, ponořených a plovoucích rostlin. Pokud je nelze přechovat během zimy někde v interiéru, kde nemrzne nebo je nutné pořídit v příštím roce nové. Břehové

rostliny lze přesadit na nejmokřejší místa na vašem pozemku, kde za předpokladu vlhké zimy mohou přežít. Rostliny rašeliniště však lze ponechat na místě, stejně jako jakoukoli jinou trvalku (Hříbal 1999).

### 3.7.4 Příklady vhodných vodních rostlin

Níže jsou pro inspiraci uvedeny konkrétní druhy vodních rostlin, které lze využít v kombinaci s vodními prvky. Za pomoci Helberga (1995) a jeho přehledu vodních rostlin můžeme popsat jednotlivé druhy.

#### **Hlubokovodní:**

##### **Vodní mor kanadský (*Elodea canadensis*)**

Čeleď: *Hydrocharitaceae*

- nejnáročnější rostlinou pro okysličování jezírek
- prospívá při 15-28 °C
- dlouhé stonky pokryté tmavozelenými listy
- kvete zřídka V.-VIII.

##### **Plavín leknínovitý (*Nymphoides peltata*)**

Čeleď: *Menyanthaceae*

- květy žlutozelené, nálevkovité podobné pryskyřníku
- kvete celé léto
- plovoucí listy vypadající jako drobné listy leknínu
- užitečný pro rychlé pokrytí vodní plochy ještě před lekníny, ale může se až příliš rozrůstat

#### **Ponořené rostliny:**

##### **Bublinatka obecná (*Utricularia vulgaris*)**

Čeleď: *Lentibulariaceae*

- masožravá rostlina
- dorůstá až 2,5 m
- žlutý květen, kvete VI.-IX.
- mrazuvzdorná

**Rdest kadeřavý** (*Potamogeton crisp*)

Čeleď: *Potamogetonaceae*

- lodyhy až 2 m
- kvete V.-IX.
- produkuje kyslík
- přezimuje na dně jezírka

**Plovoucí rostliny:**

**Vodňanka žabí** (*Hydrocharis morsus-ranae*)

Čeleď: *Hydrocharitaceae*

- drobné ledvinkovité listy
- květy bílé
- přezimuje ve formě drobných pupat na dně jezírka

**Leknín** (*Nymphaea*)

Čeleď: *Nymphaeaceae*

- kvete V.-X.
- poměrně zarůstající hladinu (neměl by však přerůst 1/3 vodní plochy)
- květy se vyvíjejí pod hladinou a postupně jsou vyneseny nad

**Okrajové rostliny:**

**Ďáblík bahenní** (*Calla palustris*)

Čeleď: *Araceae*

- až 30 cm dlouhý stonek
- bílé kalovité květy
- červené okrasné bobulovité plody

**Přeslička japonská** (*Equisetum japonicum*)

Čeleď: *Equisetaceae*

- až 80 cm vysoká
- robustní zelená přeslička s hnědými kolénky

## **Rostliny bažin:**

### **Tužebník jilmový (*Filipendula ulmaria*)**

Čeleď: ***Rosaceae***

- až 150 cm vysoký
- bílé krémovité květy

### **Pomněnka behanní (*Myosotis palustris*)**

Čeleď: ***Boraginaceae***

- 30-120 cm
- nachově modré květy
- kvete V.-IX.

## **3.7.5 Živočichové**

Tato práce sice nemá za cíl přinést vazby vodních prvků s živočichy, ale určitě je nutné tyto vazby alespoň zmínit.

Vodní zahrady a jejich prvky jsou oproti zahradám bez vodních prvků útočištěm rozmanitých druhů živočichů. Můžeme zde pozorovat ryby, vážky, obojživelníky a další.

Zejména tůně jsou vodní prvky, které tvoří zásadně vhodné podmínky a úkryty pro drobné živočichy. Všeobecně do drobných živočichů zařadíme obojživelníky, vodní bezobratlé a měkkýše. Tůně oproti malým vodním nádržím nejsou určeny pro chov ryb (AOPK 2014).

Každý nově vytvořený biotop nechá vzniknout životní prostor pro mnoho živočichů a usnadňuje jim přežití. Vždy se vzhledem k ochraně přírody vyplatí nechat přírodu samu osídlit biotop (Helberg 1995; Sedlák 2005).

## 4 Závěr

Tato práce přináší na základě studia odborné literatury význam a vliv vody v zahradní architektuře. Byla zde věnována pozornost historii využití vody, jejím funkcím a samotným zdrojům. U každého vodního prvku a závlah je definován vhodný a nejčastěji využívaný zdroj vody. Využití vodních ploch úzce souvisí s jejich funkcemi, jejich umístěním a kompozičním členěním.

Hlavním tématem této práce byl vliv vody na mikroklimatické poměry lokality. Na základě proběhlých studií a výzkumů lze jednoznačně určit, že voda ve značné míře ovlivňuje mikroklima. Již během úpravy ulic, zahrad, parků i krajiny jsme schopni předpovídat, jak daný zásah ovlivní místní mikroklimatické podmínky. Citlivý návrh vodních prvků a závlah ve spojení se správnou implementací vegetačních prvků nám zejména v městské zástavbě pomáhá díky evapotranspiraci redukovat vliv městského tepelného ostrova (UHI). Vegetace ve spojení s malými vodními nádržemi hraje nejen estetickou, ale i funkční roli. Vegetace nám zajišťuje vhodné podmínky pro živočichy ať už se jedná o potravu, úkryt pro živočichy nebo čištění vody.

Nejúčinnějším vodním prvkem při snižování městské teploty jsou postřikovače a závlahy. Pokud spojíme tyto prvky s intenzivně pěstovanou vegetací, získáváme tak jedinečný a z pohledu dosavadních výzkumů nejefektivnější způsob, jak snižovat vysoké teploty během horkých letních měsíců. Bohužel ve studované literatuře nebyla popsána spotřeba vody při provozu těchto prvků, která je často z nejčistších vodních zdrojů. Proto nelze jednoznačně určit udržitelnost tohoto způsobu redukce vysokých městských teplot. V případě ucelených vodních ploch, nádrží a rybníků je zásadním zjištěním to, že čím větší je velikost samotné vodní plochy, tím více dané mikroklimatické poměry ovlivňuje. Jako nejméně účinné vodní prvky při snižování vysokých teplot jsou fontány jako formální vodní prvky.

## 5 Literatura

### 5.1 Literární zdroje

Agentura ochrany přírody a krajiny ČR (AOPK). 2017. *Standardy péče o přírodu a krajinu, výstavba a rekonstrukce malých vodních nádrží přírodě blízkým způsobem*. Praha, SPPK B02 0007:2017

Agentura ochrany přírody a krajiny ČR (AOPK). 2014. *Standardy péče o přírodu a krajinu, vytváření a obnova tůní*. Praha, SPPK B02 001:2014

Blažek V, Němec J, Hladný J. 2006. *Voda v České republice*. Praha: Pro Ministerstvo zemědělství vydal Consult. ISBN 80-903482-1-1.

Bozonnet E, Musy M, Calmet I, Rodriguez F. 2013. *Modeling methods to assess urban fluxes and heat island mitigation measures from street to city scale*. Int. J. Low Carbon Technol.: 10:62–77.

Brookes J. 2006. *Small Garden*: London: DK Publishing (Dorling Kindersley). ISBN 14-05312-86-6.

Brookes, J. 1991. *The Garden Book*: London: Dorling Kindersley Publishers Ltd. ISBN 978-0863187438

Domenico P. A, Schwartz F. W. 1997. *Physical and chemical hydrogeology*. New York: John Wiley & Sons. ISBN 0-471-59762-7

Egerer M.H, Lin B.B, Threlfall C.G, Kendal D. 2019. *Temperature variability influences urban garden plant richness and gardener water use behavior, but not planting decisions*. Science of The Total Environment 646:111-120.

Gregorczyk M, Cena K. 1967. *Distribution of effective temperature over the surface of the earth*. Bioclimator. 11(2):145–9

Guattari C, Evangelisti L, Balaras C.A. 2017. *On the assessment of urban heat island phenomenon and its effects on building energy performance: A case study of Rome (Italy)*. Energy Build. 158:605–615.

Helberg T. 1995. *Wassergarten*. Stuttgart: Franckh-Kosmos. ISBN 34-40068-99-4.

Herzán M. 2002. *Hledáme zdroje podzemních vod: [rádce hledačů vody]*. Olomouc: Fontána. ISBN 80-86179-69-9.

Horký J. 1984. *Krajina, zeleň a voda v práci architekta*. Moravské tiskařské závody, n. p., Ostrava.

Hříbal V. 1999. *Vodní zahrada*. České Budějovice: Dona. ISBN 80-86136-42-6.



IRIMON, spol. s.r.o. 2020. *Volba zdroje vody, doplněk technologického předpisu pro návrh a montáž AZS Hunter*. Praha: Irimon. MID-B8-0120

Janál J, Křesadlová L, Obšivač J, Olšan J, Rozkošný M, Žabička Z. 2016. *Formální vodní prvky v památkách zahradního umění*. Praha: Národní památkový ústav. Odborné a metodické publikace (Národní památkový ústav). ISBN 9788074800733.

Manteghi G., Remaz D. 2015. *Waterbodies an urban microclimate: A review*. Modern Applied Science, 9(6):1913-1844

Mareček J. 1975. *Zahrada a její uspořádání*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. Rostlinná výroba (Státní zemědělské nakladatelství). ISBN 07-071-75

Martins T.A, Adolphe L, Bonhomme M, Bonneaud F, Faraut S, Ginestet S, Michel C, Guyard W. 2016. *Impact of Urban Cool Island measures on outdoor climate and pedestrian comfort: Simulations for a new district of Toulouse, France*. Sustain. Cities Soc., 26:9–26.

Oke T. R. 2002. *Boundary layer climates*. Abingdon: Taylor & Francis e-Library. ISBN 0-203-40721-0.

Otruba I. 2002. *Zahradní architektura: tvorba zahrad a parků*. Šlapanice: ERA. ISBN 80-86517-28-4.

O'Malley C, Piroozfar P, Farr E. R, Pomponi F. 2015. *Urban Heat Island (UHI) mitigating strategies: A case-based comparative analysis*. Sustain. Cities Soc.: 19:222–235.

Papworth, D. 2002. *Garden Ponds: An Easy-to-Follow Practical Guide to Constructing, Stocking and Maintaining a Pond in Your Garden*. Dorking: Interpet Publishing. ISBN 19-02389-54-9.

Parker J. 2020. *The Leeds urban heat island and its implications for energy use and thermal comfort*. Energy & Buildings. 235

Peng J, Chunyang Z, Hongyi W, et al. 2013. *The influence of different width River on the temperature and humidity of waterfront green space in the four seasons*. Wetland Science, 11(2):240-245.

Qiu G, Li H, Zhang Q, Chen W, Liang X, Li X. 2013. *Effects of evapotranspiration on mitigation of urban temperature by vegetation and urban agriculture*. Journal of Integrative Agriculture, 12(8):1307–1315.

Robitu M, Musy M, Inard Ch, Groleau D. 2006. *Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate*. Solar energy. 80:435-447

Rožnovský J, Litschmann T. 2015. *Závlahy a jejich perspektiva: sborník příspěvků z mezinárodní konference: Mikulov*. Praha: Český hydrometeorologický ústav. ISBN 978-80-87577-47-9.

- Ryplová R, Pokorný J, Hesslerová P, Jitka V, Vácha Z. 2021. *Sluneční energie - voda v krajině - vegetace: metodika výuky k tématu*. Třeboň: Enki. ISBN 978-80-905483-8-1.
- Santamouris M, Ding L, Fiorito E., Oldfield P, Osmond Paul, Paolini R, Prasad D, Synnefa A. 2017. *Passive and active cooling for the outdoor built environment – Analysis and assessment of the cooling potential of mitigation technologies using performance data from 220 large scale projects*. Solar energy. 154:14-33
- Santamouris M, Kolokotsa D. 2016. *Urban Climate Mitigation Techniques* (1st ed.). London: Routledge. ISBN 9781315765839
- Sedlák J, 2005. *Potůčky, kaskády a vodotrysky v zahradě*. Praha: Grada. Česká zahrada. ISBN 80-247-0528-1.
- Shuyan L, Chunyi X, Wei L, et al. 2008. *Study on the microclimate effects of urban water*. Atmospheric Science, 32(3):552-560.
- Schneider S. H, Root T. L, Michael D. Mastrandrea. 2011. *Encyclopedia of climate and weather*. 2nd ed. New York: Oxford University Press. ISBN 9780199765324.
- Středová H, Bokwa A, Dobrovolný P, et al. 2011. *Mikroklima a mezoklima měst, mikroklima porostů*. Praha: Český hydrometeorologický ústav. ISBN 978-80-86690-90-2.
- Sun R, Chen L. 2012. *How can urban water bodies be designed for climate adaptation?* Landscape and Urban Planning, 105(1–2):27-33.
- Šonský D, Pospíšilová K. 2015. *Zahradní detail: architektonické prvky v zahradě*. Brno: CPress. ISBN 978-80-264-0947-2.
- Taleghani M, Sailor D. J, Tenpierik M, van den Dobbelen A. 2014. *Thermal assessment of heat mitigation strategies: The case of Portland State University, Oregon, USA*. Build. Env. 73:138–150.
- Taleghani M, Tenpierik M, van den Dobbelen A, Sailor D. 2014. *Heat in courtyards: A validated and calibrated parametric study of heat mitigation strategies for urban courtyards in the Netherlands*. Solar Energy 103:108–124.
- Toparlar Y, Blocken B, Maiheu B, van Heijst G. 2017. *A review on the CFD analysis of urban microclimate*. Renew. Sustain. Energy Rev: 80:1613–1640.
- Tsoka S, Tsikaloudaki K, Theodosiou T, Bikes D. 2020. *Urban Warming and Cities' Microclimates: Investigation Methods and Mitigation Strategies-A Review*. Energies. 10:33-90
- Vysoudil, M. 2013. *Základy fyzické geografie 1: Meteorologie a klimatologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-3892-4.

Weng Q, Yang S. 2004. *Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city*. Journal of Environmental Management, 70(2):145-156.

Wirth P. 2015. *Der neue große Gartenplaner*. Stuttgart: Eugen Ulmer KG. ISBN 978-3-8186-0714-2.

Wong N. H, Tan, C. L, Nindyani A. D. S, Jusuf S. K, Tan E. 2012. *Influence of water bodies on outdoor air temperature in hot and humid climate*. Paper presented at the Reston, VA: ASCE copyright Proceedings of the 2011 International Conference on Sustainable Design and Construction| d 20120000.

Xu J, Wei Q, Huang X, Zhu X, Li G. 2010. *Evaluation of human thermal comfort near urban waterbody during summer*. Building and environment. 45:1072-1080.

Zeng Z, Zhou X, Li L. 2017. *The impact of water on microclimate in Lingnan Area*. Procedia Engineering 205:2034-2040.

## 5.2 Webové zdroje

ČESKÁ METEOROLOGICKÁ SPOLEČNOST (ČMeS). *Elektronický meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS)*. Available from: <http://slovník.cmes.cz> (accessed March 2021)

Otruba I. 2008. *Vznik, vývoj a současnost zahradní (krajinařské) architektury*. Available from: <https://www.archiweb.cz> (accessed January 2021)

USSPA, s.r.o. 2020. *All about spa*. Available from: <https://www.usspa.eu> (accessed January 2021)

Šercl P. 2017. *Oběh vody – The Water Cycle*. Available from: <https://www.usgs.gov> (accessed March 2021)

Beaulieu D. 2020. *Best plants for small ponds*. Available from: <https://www.thespruce.com> (accessed April 2021)