

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



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Mokřadní fasády – využití rostlin ve vertikálním
systému čištění a recyklace šedé vody**

Bakalářská práce

Anna Hrušková

Zahradnictví

Ing. Pavel Matiska, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Mokřadní fasády – využití rostlin ve vertikálním systému čištění a recyklace šedé vody" jsem vypracovala 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 autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 20. 4. 2023

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu práce, panu Ing. Pavlu Matiskovi, Ph.D., za přijetí tématu, rady a důvěru, s níž mi umožnil téma vypracovat. Dále bych ráda poděkovala všem blízkým za jejich podporu.

Mokřadní fasády – využití rostlin ve vertikálním systému čištění a recyklace šedé vody

Souhrn

Mokřadní fasády spojují dva fenomény: mokřady s jejich přirozenou schopností čistit vodu a vertikální zahrady, dostávající ve městech čím dál větší prostor a tím i možnost dostat zeleň do zastavěných prostor intravilánu. Ozelenění budov má více konstrukčních podob, v rámci kterých je důležitou otázkou zdroj vody a funkčnost automatické zálivky. Ozelenění budov přináší zejména zlepšení klimatických podmínek, tepelnou izolaci budov, estetické kvality, zvýšení biodiverzity ad.

Definice mokřadů nám umožňuje pochopit, v čem jsou tato prostředí se zaplavenou půdou a rostlinami, které se tomuto prostředí přizpůsobily, specifická. Dále je v práci dán prostor vysvětlení principu evapotranspirace a jejího klimatizačního efektu, pro nějž má mokřad ideální podmínky.

Přírodními mokřady se inspiroují kořenové čistírny odpadních vod, jejichž podoba vertikálního nebo horizontálního filtru se uplatňuje i u fasádních konstrukcí pěti následně představených projektů. Významná je přítomnost i výběr rostlin v procesu čištění vod, ačkoliv zdaleka nejde jen o přímý odběr látek. Mnohem podstatnější jsou jejich funkce nepřímé, podporující v čistících procesech jak činnost mikroorganismů, tak procesy fyzikální (např. hustotou kořenového systému) a chemické (změnami v oblasti rhizosféry).

Snížení spotřeby pitné vody její recyklací je jednou z cest naplnění principů udržitelnosti. Pro recyklaci se jako vhodné jeví vody šedé, které jsou méně znečištěné než vody splaškové, což dává předpoklad jejich snadnějšího čištění.

Parametry šedých vod přibližuje kapitola 3.5.2. Ty se u různých zdrojů šedých vod liší a vzhledem k tomu, že není možné vždy upotřebit celkový objem šedých vod, dá se pro recyklaci uvažovat o výběru jen některých jejich zdrojů. Nakládání s odpadními vodami podléhá zákonům a šedé vody v nich nejsou jasně definovány. Této problematice se věnuje kapitola 3.5.3.

Inspirativní je realizace spojení ozelenění budov s recyklací vody na budovách firmy Liko-s, popsané v kapitole 3.6.1.

V závěru rešerše je představeno pět různých pojetí využití šedých vod pro závlahu a čištění ve vertikálních konstrukcích zeleně, jejichž výsledky jsou pak porovnány a spolu s poznatky z předchozí rešeršní části diskutovány.

Klíčová slova: mokřadní fasády, mokřadní rostliny, zelené fasády, šedé vody, kořenové čistírny odpadních vod

Wetland facades - the use of plants in a vertical system of gray water purification and recycling

Summary

Wetland facade connect two phenomena: the wetlands with their natural ability to treat water and vertical gardens which are given more and more space in the cities and this way is possible to get the green vegetation among built up space of housing development. Turning buildings green means above all improving climatic conditions, heat insulation of houses, aesthetic qualities, higher biodiversity etc.

Definition of the wetlands enables us to understand what are these areas inundated with water and plants adapted to this environment specific to. Next there is in the theses space to explain the principle of evapotranspiration and its climatic effect for which wetland has ideal conditions.

Root-zone treatment plants are inspired by natural wetlands where their system of vertical or horizontal filter is used as well on facade construction of five further showcased projects. Very important is existence and choice of plants in the process of water cleaning although it doesn't mean straight substance offtake. Much more essential seem their indirect function. It supports both microorganism activity and physical processes (eg. density of root system) and chemical ones (by changes in the field of rhizosphere).

Lowering of drinking water consumption by its recylation is one of possibilities to fulfil principles of sustainability. Grey water seems to be appropriate for the recycling, due to less pollution than sewage water, which makes them easier to be treated.

The grey water specifications are showed in the chapter 3.5.2. They differ for different sources of gray water and given that it is not always possible to use the total volume of gray water, it is good to take into account selection of only some of its resources. Wastewater management is subject to laws and gray water is not clearly defined in them. This issue is addressed in the chapter 3.5.3.

An inspiring realization of the combination of building greening and water recycling are the buildings of the Liko-s company, described in the chapter...

At the end of the research, 5 different concepts of the use of gray water for irrigation and treatment in vertical constructions of greenery are presented, their results are then compared and discussed together with the findings from the previous research part.

Keywords: wetland facades, wetland plants, green walls, grey water, root-zone wastewater treatment plants

Obsah

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | Úvod..... | 8 |
| 2 | Cíl práce | 9 |
| 3 | Literární rešerše | 10 |
| 3.1 | Termín mokřadní fasáda..... | 10 |
| 3.2 | Zelená fasáda | 10 |
| 3.2.1 | Zelená fasáda, vertikální zahrada - terminologie..... | 10 |
| 3.2.2 | Způsoby instalace vertikální zahrady | 11 |
| 3.2.3 | Zavlažování vertikálních zahrad | 13 |
| 3.2.4 | Pozitivní efekt ozelenění budov..... | 13 |
| 3.3 | Mokřad..... | 15 |
| 3.3.1 | Definice mokřadů | 16 |
| 3.3.2 | Vodní a mokřadní rostliny | 17 |
| 3.3.3 | Ekosystémové služby mokřadů | 20 |
| 3.3.4 | Umělé mokřady..... | 22 |
| 3.4 | Kořenové čistírny odpadních vod..... | 23 |
| 3.4.1 | KČOV s horizontálním průtokem..... | 23 |
| 3.4.2 | Vertikální filtry | 24 |
| 3.4.3 | Principy čištění vody v KČOV | 25 |
| 3.4.4 | Rostliny v KČOV | 29 |
| 3.5 | Šedé vody | 31 |
| 3.5.1 | Definice šedých vod..... | 32 |
| 3.5.2 | Parametry šedých vod..... | 32 |
| 3.5.3 | Požadavky na vyčištění šedých vod..... | 34 |
| 3.6 | Projekty zabývající se využitím šedých vod ve vertikálním systému ozelenění fasád | 37 |
| 3.6.1 | Inspirace..... | 37 |
| 3.6.2 | Pět příkladů řešení recyklace šedých vod..... | 38 |
| 3.6.2.1 | č. 1 Designing living walls for greywater treatment (Fowdar et al. 2017)..... | 39 |
| 3.6.2.2 | č. 2 Green wall height and design optimisation for effective greywater pollution (Prodanovic et al. 2020)..... | 41 |
| 3.6.2.3 | č. 3 Assessing water retention and correlation to climate conditions of five plant species in greywater treating green walls (Prodanovic et al. 2019) | 42 |
| 3.6.2.4 | č. 4a Wetland roofs – a multifunctional green roof type -Basics and perspectives from engineering practice (Blumberg 2020)..... | 43 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3.6.2.5 | č. 4b Helophyte mats (wetland roofs) with high evapotranspiration rates as a tool for decentralised rainwater management – process stability improved by simultaneous greywater treatment (Zehnsdorf et al. 2019) | 44 |
| 3.6.2.6 | č. 5 Novel vertical ecosystem for sustainable water treatment and reuse in tourist resorts (Gattringer et al. 2016) | 45 |
| 3.6.3 | Porovnání výsledků: | 46 |
| 4 | Diskuze | 50 |
| 4.1 | Problematika legislativního neukotvení pojmu šedé vody | 52 |
| 5 | Závěr | 54 |
| 6 | Literatura..... | 56 |
| 7 | Samostatné přílohy..... | I |

1 Úvod

Předmět bakalářské práce je zvolen v kontextu současného stavu urbanizace krajiny, negativních dopadů narušování hydrologického systému zástavbou a existence tzv. tepelných ostrovů. Ekologická témata vstupují do společenského narativu spolu se vzrůstající viditelností dopadů nešetrného jednání naší civilizace. A tak do středu zájmu společenského, ekonomického i politického se mimo jiné dostávají nejrůznější ekologická řešení a opatření, spadající do termínu modrozelená infrastruktura.

I v českém prostředí je častěji slyšet pojmy jako ozelenění budov, zelená architektura, biodiverzita, tepelné ostrovy, recyklace vody, udržitelnost... Téma je vybráno s ohledem na všechny zmíněné impulzy, z nichž se spojení snížení spotřeby vody a ozelenění budov jeví jako ideální nový směr.

Vertikální způsob ozelenění budov je lákavou možností, jak zlepšit prostředí ve vysoce urbanizovaných centrech měst, kde vznikají tepelné ostrovy a kde je vysoká prašnost. Náročnost na množství spotřebovávané vody ve vertikálních zahradách – v literatuře až 20 l/m² (Francis & Rayner 2014) je však překážkou jak v místech s reálným nedostatkem pitné vody, tak v místech, kde je zapotřebí začít řešit příliš vysokou spotřebu vody jako předcházení jejího nedostatku.

Vertikální umístění zeleně je zmiňováno jako vhodné řešení uvnitř vysoce zastavěných ploch měst pro jeho nenáročnost na plochu (Prodanovic et al. 2019; Prodanovic et al. 2017; Wong et al. 2010).

Práce propojuje témata, která se dosud většinou řeší odděleně, hledá spojující prvky témat: zelené fasády – kořenové čistírny – recyklace šedých vod.

Téma je zúženo na čištění výhradně šedých vod na základě předpokladu, že čištění šedých vod je pro předpokládanou menší míru znečištění jednodušší, než čištění vod splaškových, jak potvrzují také jiní autoři (Fowdar et al. 2017; Eriksson et al. 2002).

Hlavním důvodem separace a čištění šedých vod je šetření pitnou vodou a možnost recyklovanou vodu využít například na splachování toalet nebo zalévání zeleně místo využití vody pitné.

2 Cíl práce

Cílem práce je představení problematiky v jejím širokém kontextu. Dále je cílem předložit poznatky odborné literatury, zabývající se dosavadním vývojem v této oblasti.

Základními pojmy, které chce tato práce představit a propojit jsou:

- Ozelenění fasád
- Mokřad
- Kořenové čistírny
- Úloha rostlin v čištění odpadních vod
- Šedé vody s ohledem na stávající legislativu
- Čištění šedých vod

V rámci určitých kapitol se předloží přehled terminologie jak v českém tak anglickém jazyce.

Cílem je též představit vybrané projekty s využitím zelené fasády pro čištění šedých vod ve světě a diskutovat jejich výsledky s ohledem na předchozí rešeršní část.

3 Literární rešerše

3.1 Termín mokřadní fasáda

Termín „mokřadní fasáda“ svým složením připomíná dva fenomény – mokřad, potažmo umělý mokřad, s jeho funkcí čištění vod (kapitola 3.3) a již ustálený termín označující vertikální způsob pěstování rostlin na vnější zdi: zelená fasáda. Je to princip ozelenění budovy se schopností čistit odpadní vodu.

Termín se v Čechách objevuje v souvislosti s realizací na budově Liko-noe (Nadace Partnerství 2023). V anglickém jazyce se používají spíše jiné opisy, jako např. *green walls for grey water treatment* (Masi et al. 2016).

Podobně firma Kořenovky.cz, realizující mokřadní fasády, používá termín „mokřadní střecha“, který označuje umělý mokřad na střeše budovy, sloužící k čištění odpadních vod (Kořenovky.cz n.d.). Německá firma Ingenieurbüro Blumberg se zabývá též podobou mokřadní střechy a nazývá ji v anglickém jazyce *wetland roof*. Pro její závlahu využívá dešťovou vodu. V případě využití šedé vody má ve schématu kořenovou čistírnu, ze které jde teprve předčištěná voda na střechu. (Blumberg Engineers 2023)

Termín *wetland roof* nemusí být chápán v souvislosti s čištěním vody, je používán i bez primární funkce čištění, jen jako umělý mokřad na střeše sloužící hlavně k ochlazování a zlepšování klimatu a biodiverzity (Gedge 2022).

Základní termíny, vztahující se k pojmu mokřadní fasády jsou: a) zelená fasáda, b) mokřad (umělý mokřad).

3.2 Zelená fasáda

Zatímco zelené střechy se již těší značné popularitě, zelené exteriérové fasády (když pomineme pokryv budovy popínavými rostlinami) se teprve dostávají do pozornosti.

3.2.1 Zelená fasáda, vertikální zahrada - terminologie

Zelená fasáda je podle metodiky Ozelenění fasád „vnější plášť budovy nebo samostatně stojící zeď pokrytá vegetací“ (Burian 2022). Pojem zelených fasád však zahrnuje dvě možnosti – pokrytí stěny pnoucími rostlinami kořenícími přímo v zemi, tzn. v rostlém terénu a pnoucí se buď přímo po stěně, nebo po konstrukci blízko stěny (bez speciálního pojmenování). Druhá možnost je umístění rostlin včetně jejich kořenového systému pomocí různých konstrukcí přímo na fasádu (stěnu). Tento princip je označován jako „vertikální zahrada“ nebo „vegetační stěna“ (Burian 2022). Na tento typ navazují mokřadní fasády.

I v angličtině jsou používána různá pojmenování jako *living walls* (Pradhan et al. 2019), *vertical greenery system* (Wong et al. 2010), *green walls* (Prodanovic et al. 2019), *vertical nature-based systems* (Pradhan et al. 2020).

Například Addo-Bankas et al. (2021) klasifikují pojmy pro ozelenění budov pod celkovým termínem *green walls*. Rozlišují dva typy použití popínavých rostlin kořenicích v zemi, podobně jako Burian (2022) - *green facades*: –zeleně rostoucí přímo po budově (*direct green facade*) nebo po konstrukci vedené podél stěny (*indirect green facade*). Zatímco v případě pojmu *living walls* je základní faktor brání živin a vody ne z půdy – rostlého terénu, ale z vytvořeného média umístěného na fasádě. Tento název tedy odpovídá pojmu vertikální zahrada nebo vegetační stěna u Buriana (2022).

3.2.2 Způsoby instalace vertikální zahrady

Vertikální zahrady se dají kategorizovat podle způsobu konstrukčního řešení. Stavební a designovou stránkou věci se tato práce nezaobírá, způsoby technického řešení ale mají vliv na růst a prosperitu rostlin. V později zmíněných realizacích vertikálních zahrad k čištění šedých vod je způsob pěstování rostlin důležitý faktor.

Burian (2022) v metodice ozelenění fasád rozděluje systémy na:

1) „Policový“ – uzpůsobení stavby pro umístění většího počtu nádob určených k pěstování rostlin (obrázek č. 1), může pracovat i s popínavými nebo převislými druhy rostlin.



Obrázek č. 1 *Bosco Verticale*, ukázka policového systému (Burian 2019)

2) „Systém modulární“ – sem autor metodiky zařazuje jak systém koryt – truhlíků a květináčů tak „kazet“ či substrátových desek (obrázek č. 2), jakožto předpřipravených prvků s různě řešenou konstrukcí a substrátem určených k vertikálnímu způsobu pěstování.



Obrázek č. 2 vlevo: Substrátové desky, vpravo: korytový systém, převzato a upraveno (Burian 2022)

3) „Plošný“ – souvrství materiálů v ploše (obrázek č. 3), uzpůsobitelné rozměrovým specifikám fasády s kapsami pro umístění rostlin.

Využití květináčů a truhlíků je sice lákavé z hlediska velmi snadné výměny jednotlivých rostlin, izolace a omezený prostor pro prokořenění je však základ předpokladu jejich krátké životnosti (Burian 2022). Oproti tomu plošný systém dává rostlinám příležitost volně prokořenit prostor a vytvořit lépe fungující ekosystém s určitou formou sukcese a tedy proměně stěny v horizontu let, jak o tom mluví v rozhovoru pro archSPACE Zuzana Klusová (Gerych 2022).



Obrázek č. 3 vlevo: Bezsubstrátová vertikální zahrada v rakouském Wellsu realizovaná Patrickem Blankem, vpravo: Výpadky rostlin na stejné vertikální zahradě, převzato a upraveno (Burian 2019)

Takový princip ve světě propaguje P. Blanc. Inspirován přírodou a rostlinami žijícími na vertikálním podkladu (vodopády, skály, stromové epifyty, rostliny kolonizující stávající architekturu bez lidského přičinění) začal navrhovat vertikální zahrady interiérové i exteriérové. Jeho systém sestává z kovové konstrukce s PVC panely, ke kterým je připevněna filcová textilie

(silná min. 2 cm) z recyklovaného akrylu, zesílená ze strany panelů polypropylenovou fólií. Textilie je dvouvrstvá, svrchní vrstva se prořízne horizontálně, čímž vznikne místo pro umístění rostlin. Vlákniatá porózní textilie distribuuje vodu ze zavlažovacího potrubí ke kořenům rostlin, které jí prorůstají, a tak drží rostlinu na místě ve vertikální poloze. Tento způsob vertikální zahrady je výhodný pro relativně nízkou hmotnost právě kvůli absenci substrátu. (Blanc et al. 2008)

Tento systém je v podstatě bezsubstrátový, zatímco ostatní systémy používají různé typy substrátů, ať už jde o substráty minerální či organické. Důležitým aspektem těchto řešení bývá váha, ale též to, aby se ze substrátů nevymývaly látky, které budou systémem časem ucpávat. (Burian 2022)

3.2.3 Zavlažování vertikálních zahrad

Problematika vertikálních zahrad spočívá především v nutnosti je zavlažovat, neboť díky svému svislému umístění získávají jen minimum vody z dešťových srážek (Burian 2022). Základním předpokladem pro umístění zelené fasády by měla být retence dešťových vod. Spoléhat se na pravidelný přísun dešťových srážek není vždy možné, a tak je využití odpadních nebo pouze šedých vod možným řešením pravidelného přísunu závlahy.

Automatické zavlažování je nutné jak pro rozsah a výškovou nedostupnost zeleně na fasádě, tak pro způsob pěstování rostlin, kdy některé formy plošných instalací v podstatě vycházejí z principu hydroponie. Je zásadní vyřešit dobré vláhové poměry v celé ploše vertikální zahrady (Burian 2022).

Denní spotřeba vody rostlinami na vertikální zahradě se například ve Španělsku pohybuje od 1,5 l/m² v zimě do 5,1 l/m² v létě (Urrestarazu et al. 2017).

Automatická závlaha je však problematická kvůli časté poruchovosti (Burian 2022). Nesprávné vláhové poměry jsou pak hlavní příčinou selhání systému vedoucí k odumření rostlin (Rayner et al. 2010).

Mezi možnostmi automatické závlahy patří buď vrchní kapková závlaha nebo spodní závlaha podmokem, který je méně náročný na jakost vody. Právě kapková závlaha je pro svůj systém s velmi malými průměry průtoku v kapkovačích velmi náchylná k ucpávání nebo zamrzání. Oproti tomu spodní závlaha je díky větším průměrům potrubí přivádějícímu vodu k zanášení méně náchylná. Vzhledem k tomu, že závlahou se zároveň řeší i hnojení, je zejména problematická kombinace vhodné jakosti vody ve spojení s obsahem živin v ní. (Burian 2022)

3.2.4 Pozitivní efekt ozelenění budov

Snaha zlepšit životní prostředí ve městech se často zastřešuje pojmem zelená, modrá nebo modro-zelená infrastruktura (MZI). Takový pojem má pomoci dávat do souvislosti různá opatření jak v nakládání s vodou ve městě, tak s navýšením zeleně ve městech. Vedle zvýšení počtu ploch parků nebo zahrad je realizována též v podobě zelených střech i zelených fasád. (Králová 2022)

Opatření mající pozitivní vliv na prostředí, v němž žijeme, bývají označována jako

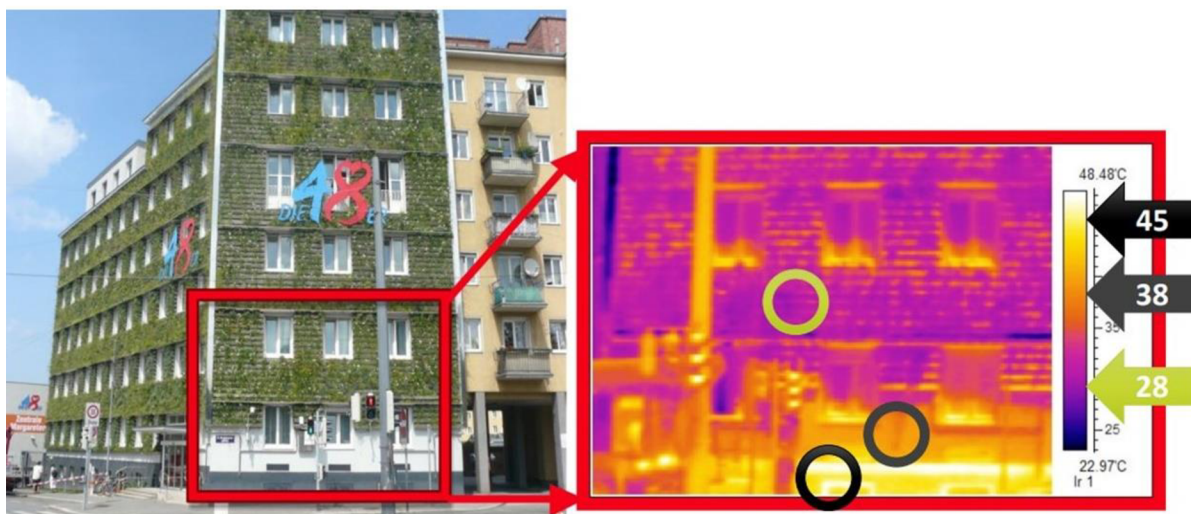
ekosystémové služby (Seják et al. 2017), v metodice Ozelenění fasád (Burian 2022) jsou shrnuty do tabulky č. 1, která je po vzoru metodiky pro ekonomické hodnocení MZI (Macháč et al. 2019) rozřazena do sekcí: regulační služby, kulturní služby, produkční služby a další přínosy včetně biodiverzity.

Tabulka č. 1 Ekosystémové služby ozelenění fasád, převzato a upraveno (Burian 2022)

| | |
|--|--|
| Regulační služby - Poskytují ochranu před negativními vlivy životního prostředí na lidskou společnost (i přesto, že tyto vlivy mohou být způsobeny změnami v přírodě původně vyvolanými lidskými aktivitami) | |
| Kvalita ovzduší | Zelené fasády díky olistění zachycují znečišťující látky z ovzduší i prachové částice. |
| Redukce hluku | Členitá struktura listů a větví na fasádě výrazně snižuje odrazivost hladkých stěn a přispívá k pohlcení hluku. |
| Regulace mikroklimatu | Zelené fasády zlepšují energetickou bilanci budov, v létě brání před přehříváním a v závislosti na typu zelené fasády mohou v zimě přispívat k izolaci. |
| Opylení | Zelené fasády vytvářejí prostor pro včely a další opylovače. |
| Kulturní služby - poskytují společnosti rekreační přínosy a estetické hodnoty (...) | |
| Estetická hodnota | Zelená fasáda ovlivňuje estetické vnímání veřejného prostoru a přítomnost rostlin příznivě ovlivňuje duševní pohodu obyvatel. Zelené fasády narušují jednotvárnost zástavby a usnadňují orientaci. |
| Produkční služby - jedná se např. o produkci potravin, dřeva, další dřevní hmoty, vody atd. | |
| Produkce plodin | Některé pňoucí rostliny mají jedlé plody, jedlé rostliny je možné vysazovat i do vertikálních zahrad. |
| Další přínosy | |
| Úspora energií na vytápění a chlazení | Tento přínos je úzce provázán s regulací mikroklimatu, které se mimo jiné může projevit i na tepelném managementu budov, kdy dochází k ochlazení budov v létě, a naopak k jejich tepelné izolaci v zimě. |
| Nárůst hodnoty nemovitostí | Tento přínos je úzce navázán na estetickou hodnotu. Nárůst estetické hodnoty se může projevit i v nárůstu cen nemovitostí v okolí budovy se zelenou fasádou, popř. samotné nemovitosti, na které je zelená fasáda. |
| Tvorba biotopu | Kvetoucí rostliny na fasádách poskytující hmyzu pyl i nektar, pňoucí dřeviny umožňují hnízdění ptáků |

Jedním z hlavních pozitivních přínosů ozelenění budov je snížení projevu tepelných ostrovů (Wong et al. 2010). Tepelné ostrovy v anglické terminologii *HIE – heat island efect* (Coma et al. 2017) nebo též *UHI – urban heat island* (Wong et al. 2010) jsou urbanizovaná místa s dlouhodobou zvýšenou teplotou oproti okolnímu prostředí (Pradhan et al. 2019). Množství stavebních materiálů (které akumulují a později sálají teplo a mají nízkou odrazivost – *albedo*) má za následek přehřívání prostředí (Wong et al. 2010). Pradhan et al. (2019) poukazují na fakt, že například v Saudské Arábii se spotřeba elektrické energie na ventilaci a klimatizaci pohybuje okolo 70% z celkové spotřeby a výroba elektrické energie tak nadále zvyšuje globální oteplování.

Vliv vertikální zeleně na teplotu fasády představuje obrázek č. 4, ukazující příklad domu z Vídně.



Obrázek č. 4 Ukázka snížení teploty o 10 °C na vertikální zahradě ve Vídni, převzato a upraveno (Zluwa 2022)

Různé typy zelených fasád byly zkoumány v experimentu v Singapuru, teploty substrátů a okolí se mohou velmi lišit a záleží jak na typu zeleně, tak na konstrukci, složení i na množství a vlhkosti substrátu (Wong et al. 2010).

Městská zeleň nabízí klimatizační efekt, který je podmíněn dostupností vody pro transpiraci. To je podrobněji vysvětleno v kapitole 3.3.3.

Například zelené střechy jsou u nás nejčastěji realizovány (cca 80 %) v podobě tzv. extenzivních střech – tedy ozelenění, které je adaptováno na nízký úhrn srážek (např. rozchodníky). V takovém případě je však jejich klimatizační funkce omezena. (Richtř & Dostal 2023)

3.3 Mokřad

Termín mokřadní fasáda odkazuje v pojmu mokřad na principy mokřadního ekosystému a je nutné je chápat vzhledem k funkci čištění vod i rostlinné skladbě.

Květ a Čížková (2017) připomínají souvislosti zavedení pojmu mokřad a to, že v češtině mají pojmy pro zaplavená území pejorativní nádech (bažina, močál...), což odkazuje na vnímání takových míst v minulosti.

Mokřad je českým ekvivalentem anglického slova *wetland*, který se začal ujímat od sedmdesátých let 20. století pro oblast biotopů s „hladinou blízko povrchu půdy“. (Květ & Čížková 2017)

To, že se termín *wetland* zavádí až v nedávné historii, odpovídá jistému nepochopení a nezájmu lidí o toto prostředí, související s ignorováním jeho funkcí a snaze tato místa na pomezí

mezi terestrickou a vodní plochou měnit. Dalšími pojmy, s nimiž se můžeme setkat v anglické literatuře jsou: *marsh, swamp, fen, slough, bog, glade, hammock, vlei, jheel* (Valk 2012).

3.3.1 Definice mokřadů

V návaznosti zejména na úbytek ptačích oblastí byl definován pojem *wetland* Mezinárodním svazem ochrany přírody (IUNC) v rámci Ramsarské konference roku 1971. Tato definice, zahrnující i vodní biotopy do hloubky 6 metrů, je však velmi široká a slouží spíše jako podklad mezinárodní ochrany biotopů vodního ptactva. (Květ & Čížková 2017).

Schweingruber et al. (2020) se při definování mokřadu odkazují na Hejného et al. (1998), podle nichž se v rámci IBP (International Biological Program 1964-1974) mokřadem rozumí oblast, v níž dominují bylinné makrofyty, které fotosyntetizují převážně ve vzdušném prostředí a zakořeňují se v půdě, jež je obecně zcela nasycena vodou po větší část vegetačního období.

Je možné uvádět mnoho dalších variant publikovaných charakteristik. V knize „Mokřady“ vyzdvihují autoři součást definice podle americké organizace U.S. Fish and Wildlife Services, a to pojmenování základních faktorů pro určení mokřadu:

- 1) hydrologické podmínky – míra zaplavení vodou a tedy stálé nebo časté anoxické podmínky, které předurčují organismy schopné tyto podmínky snášet
- 2) přítomnost vodní a mokřadní vegetace, která se na tyto podmínky adaptovala
- 3) přítomnost hydrických půd (Květ & Čížková 2017)

Hydrické půdy jsou ty, u kterých došlo z důvodu zaplavení ke změně prostředí na anaerobní. (Vymazal 1995)

Dle Květa a Čížkové (2017) to jako základ definice použil Keddy (2000): „Mokřad je ekosystém, který vzniká, když v důsledku zaplavení vodou v půdě převažují anaerobní procesy, což vyvolává vznik adaptací živých organismů (převážně rostlin) k zaplavení.“

Neexistuje tedy žádná jasná hranice, píše Schweingruber (2020), a pojem mokřad je vždy chápán trochu odlišně v návaznosti na souvislosti, ve kterých je zmiňován. Zmiňované definice jsou důležité pro uvědomění si souvislosti s ekofyziologickými změnami v rostlinách, jež se tomuto prostředí přizpůsobily.

Pro vodní prostředí je zásadní nedostatek kyslíku, jak píše Hejný (2000). Je to z důvodu nízké rozpustnosti plynů ve vodě. Udává příklad, kdy ve vodě při 20°C je obsah kyslíku až třicetkrát menší než ve vzduchu stejné teploty. Vymazal (1995) cituje Faulknera a Richardsona (1989): „Nejvýznamnější efekt zaplavení je izolace půdního systému od atmosférického kyslíku, čímž se systém mění od aerobního a oxidačního na anaerobní a redukční.“

3.3.2 Vodní a mokřadní rostliny

Rostliny mokřadů se zpravidla nazývají „makrofyty“, tento termín zahrnuje jak vodní vyšší cévnaté rostliny, tak mechy a řasy okem viditelné. (Brix 1997)

Schweingruber et al. (2020) uvádí, že pojmy jako vodní a mokřadní rostliny jsou velmi „široké, nepřesné a dvojnásobné“ a striktní hranice mezi rostlinami mokřadními a vodními také neexistuje. Zdá se logické, že mokřadní rostliny rostou v mokřadech, ale definice a koncepce mokřadu se (jak je patrné výše v kapitole 3.3.1) různí. Nicméně, zásadní je právě přizpůsobení se vodnímu prostředí, přičemž pouze 2 až 3 % krytosemenných jsou uzpůsobena mokřadnímu prostředí. (Cronk & Fennessy 2001)

U mokřadních rostlin je zvlášť typická vlastnost zvládnout jak měnící se výšku vodní hladiny, tak vystavit se občasnému nedostatku vody (Hejný 2000).

Pro klasifikaci vodních rostlin je důležitý faktor umístění v průřezu břehu. Jednotlivé zóny se nazývají podle Hejného (1960) „ekofáze“, rozlišují se 4 typy: terestrická, limózní, litorální a hydrofáze, kde „limózní“ fáze je určena minimem a maximem kolísání vodní hladiny. Časové sekvence různých ekofází se nazývají „ekoperiody“ nebo „hydroperiody“. Pravidelně se opakující sled stejné ekoperiody se nazývá „ekocyklus“. (Hejný 1960)

Schweingruber et al. (2020) zmiňuje klasifikaci Hejného (Hejný 1960) do deseti kategorií, ale jak píše, spíše se ujala jednodušší čtyřbodová klasifikace, kterou představil roku

Tabulka č. 2 Rozdělení rostlin (Schweingruber et al. 2020)

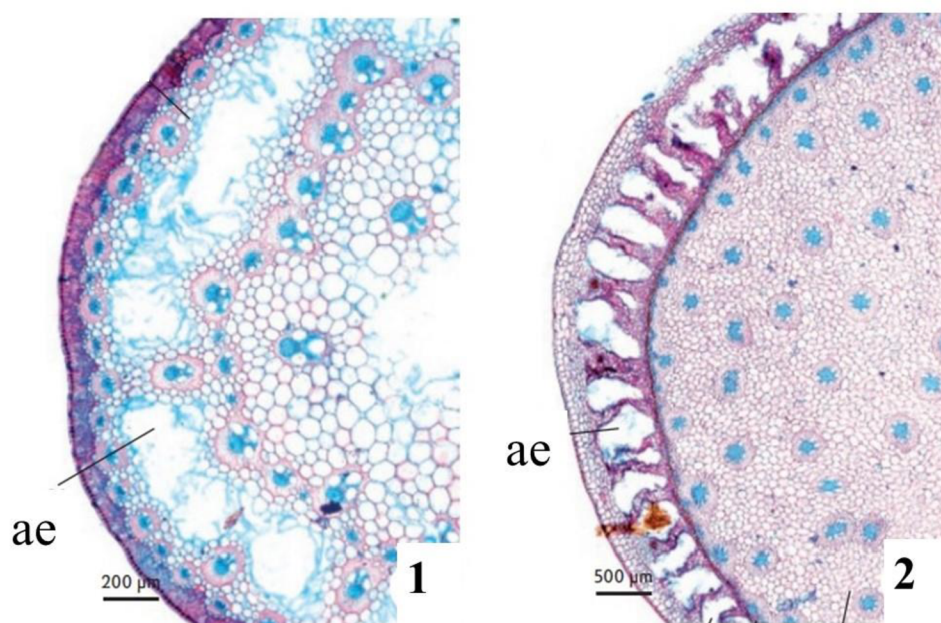
| typ | charakteristika | anglické názvosloví | podskupiny |
|------------------------------|--|--|--|
| ponořené rostliny | mají všechny fotosyntetizující části pod vodou a vnořené jsou obvykle pouze květy | <i>submerged</i> , v americké angličtině: <i>submersed</i> | kořeňující ve dně nekořeňující (volně plovoucí) |
| vzplývavé rostliny | většina listů je plovoucí, minimum ponořené, ale rostlina kořeňuje ve dně | <i>rooted floating-leaved plants</i> | |
| rostliny plovoucí na hladině | jsou rostliny plovoucí na hladině, kdy převážná většina jejich biomasy je v kontaktu se vzduchem, většinou mají kořeny, ale ty nejsou zanořené do substrátu | <i>surface floating</i> , <i>free floating</i> | |
| rostliny vnořené, helofyty | větší část fotosynteticky aktivních částí je vnořena nad vodou, v kontaktu se vzduchem, přitom kořeňují ve dně, často mají tlusté oddenky, vodní hloubka nepřesahuje 1,5-2 m | <i>emergent plants</i> , <i>helophytes</i> | |
| Hygrofyty, bažinné rostliny | rostoucí v terestrické ekofázi s pouze vlhkou půdou a jen občas plně zavodněnou | <i>terrestrial wetland plants</i> | |

Denny (1987), ke které přidává pátý typ podle Hejného – „hygrofyty“. Klasifikace je shrnuta do tabulky č. 2.

Toto rozřazení opět nelze uplatnit bez kompromisů pro všechny druhy, Schweingruber et al. (2020) to uvádějí na příkladu *Phragmites australis*. Ten typicky roste v mělkých vodách (0,1 - 0,5 m hloubky), ale může se též vyskytovat v terestrické ekofázi, stejně tak v hloubce až dvou metrů.

Pro kořenové čistírny jsou zásadní „helofyty“ (Husák & Květ 1998). K čištění vody se využívají i ostatní typy vodních rostlin, ale v mokřadech s volnou vodní hladinou (Vymazal 2004).

Rostliny suchozemské dlouhodobým zavodněním trpí. V aerobních podmínkách se díky respiraci v rostlinách z jedné molekuly glukózy vyrobí v optimálních podmínkách 36 ATP molekul, v případě anaerobních podmínek, kde probíhá proces glukóza – pyruvát – acetaldehyd – ethanol, se vyrobí jen 2 molekuly ATP. Rostliny, které nejsou těmto podmínkám přizpůsobeny, nejsou schopny pokračovat ve vývoji v důsledku nedostatku energie. (Cronk & Fennessy 2001)



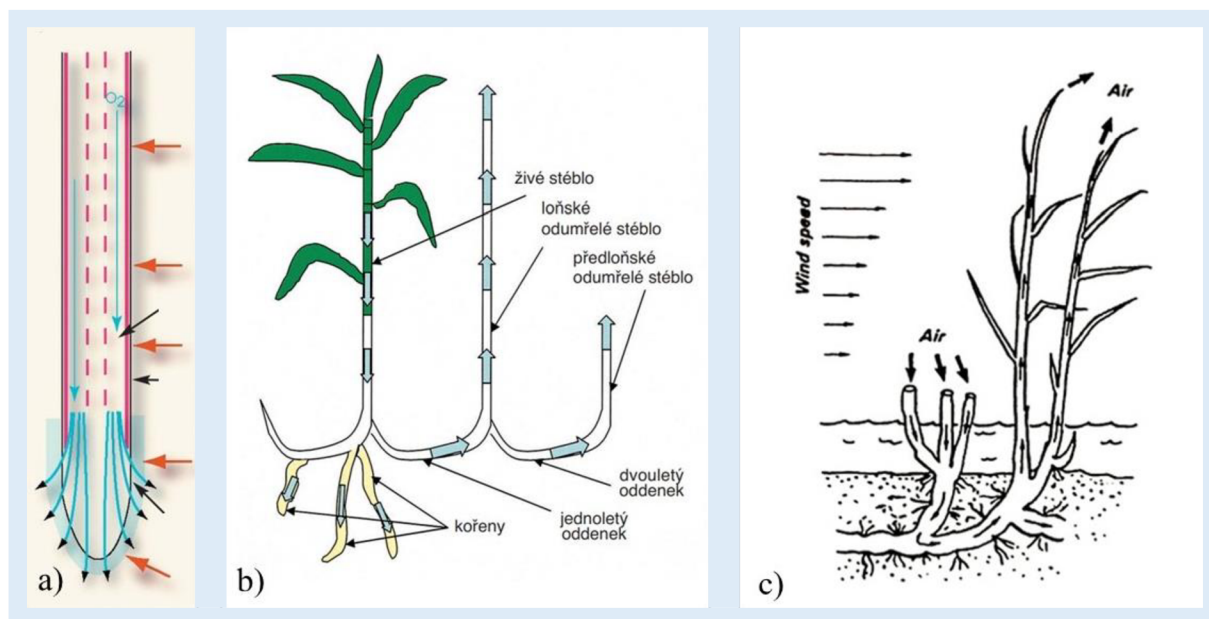
Obrázek č. 5 Aerenchym ve stonku (1) a kořenu (2) *Juncus acutiflorus*, převzato a upraveno: (Schweingruber et al. 2020)

Schopnost rostlin žít v zaplaveném území je dána jejich vnitřní stavbou. Anatomicky se helofyty přizpůsobily vytvořením vnitřního pletiva – tzv. aerenchymu (obrázek č. 5). Toto provzdušňovací pletivo pomáhá rostlině dostat kyslík ke kořenům, nejvíce ho potřebují meristémy v kořenové špičce. Skrze kořeny se kyslík dostává i do nejbližšího okolí kořenů, kde se nejbližší okolí oxiduje a zabraňuje se tam například pronikání redukované formy železa do rostlin. A protože i tak je dýchání málo produktivní a nezískává se jím dost energie, mají mokřadní rostliny často zásobu cukrů v oddencích, tu pak využijí zejména na jaře, než prorostou nad hladinu. (Hejný 2000)

To je mimochodem důležitý faktor pro čas sečení emerzních rostlin, dodává Hejný (2000), pokud by se jejich nadzemní část zkracovala příliš brzy, nestihly by vytvořit dostatečnou zásobu cukrů na jarní období.

Mnoho mokřadních rostlin si na starších kořenech v rámci exodermis vytváří tzv. ochrannou bariéru (*root wall*), aby úniku kyslíku zabránila a rostlina mohla kyslík využít pro vlastní dýchání. Tato bariéra též brání průniku toxických látek do kořenů, u apikálních částí, kde ještě není vytvořena, ochraňuje špičky kořenů před toxickými látkami z anaerobního prostředí právě oxidovaná vrstva díky difuzi kyslíku do rhizosféry. (Čížková 2017).

Aerenchym se vyskytuje i u rostlin, jež zaplavení vodou dlouhodobě nezvládají, ale tam dosahuje daleko nižších procent zastoupení, zároveň je aerenchym více zastoupen u emerzních rostlin než rostlin submerzních. Vzniká jak lyzigenním (rozpuštěním) (*Mentha aquatica*, *Glyceria maxima ad.*) tak schizogenním (rozestupným) způsobem (*Caltha palustris*), v souvislosti s produkcí ethylenu v rostlině v redukováných podmínkách, ale též je geneticky zakódováno a tvoří se i v případě růstu rostliny v aerobních podmínkách. (Cronk & Fennessy 2001)



Obrázek č. 6 Proudění vzduchu v mokřadních rostlinách, a) proudění kyslíku v kořenu, modré šipky znázorňují difuzi kyslíku, červené šipky znázorňují toxické látky, převzato a upraveno (Čížková 2006), b) konvekce, převzato a upraveno (Čížková 2006), c) Venturiho efekt, převzato a upraveno (Cronk & Fennessy 2001)

Základním principem pronikání kyslíku do okolí kořenů je difuze, ta ale funguje jen ve velmi malé vzdálenosti od kořenů a okysličuje jen malou vrstvičku kolem. Další možností, kterou mokřadní rostliny zejména traviny využívají, je princip konvekce. Proudění způsobené přetlakem v nadzemních mezibuněčných prostorech mladých rostlin vhání vzduch dále do rostliny, jak do kořenů, tak do dalších propojených stonků trsu jedné rostliny a skrze suché listy ven. Podobně hlavně v zimě funguje např. u rákosy tzv. Venturiho efekt, kdy vzduch do rostliny

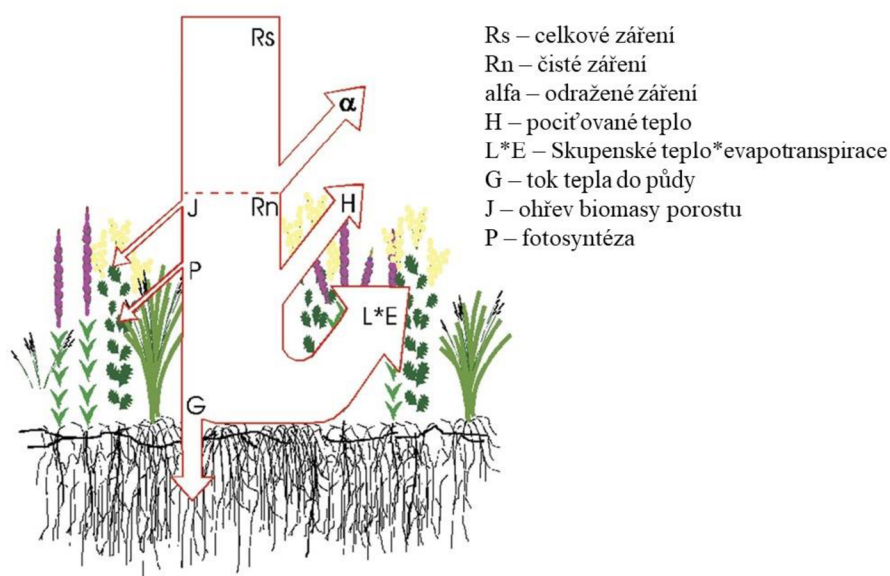
vstupuje ulomenými stonky. (Čížková 2017). Principy pronikání kyslíku z rostliny do vody je znázorněn v obrázku č 6.

Schopnost okysličit prostředí, ve kterém mokřadní rostliny žijí, bylo dříve chápáno jako zásadní faktor přispívající k čištění vody v mokřadech, zejména pro odstraňování dusíku a předpokládalo se dostatečné i u KČOV s horizontálním tokem. Ale oxidované prostředí je jen v malé oblasti rhizosféry a proces nitrifikace je tak značně omezen. (Vymazal 2004)

3.3.3 Ekosystémové služby mokřadů

Jak bylo napsáno v kapitole 3.2.4, přínos přírody pro člověka se v literatuře shrnuje jako tzv. ekosystémové služby. Z ekosystémových služeb mokřadů, které jmenují Seják et al. (2017), se mnohé dají přenést i pro mokřadní fasády a protínají se tak s ekosystémovými službami přisuzované zeleným fasádám, jako jsou čištění vody, zmírňování klimatu v okolí a zvyšování biodiverzity, mimo jiné plní i funkci estetickou a vzdělávací. Procesy čištění vody jsou popsány v kapitole č. 3.4.3.

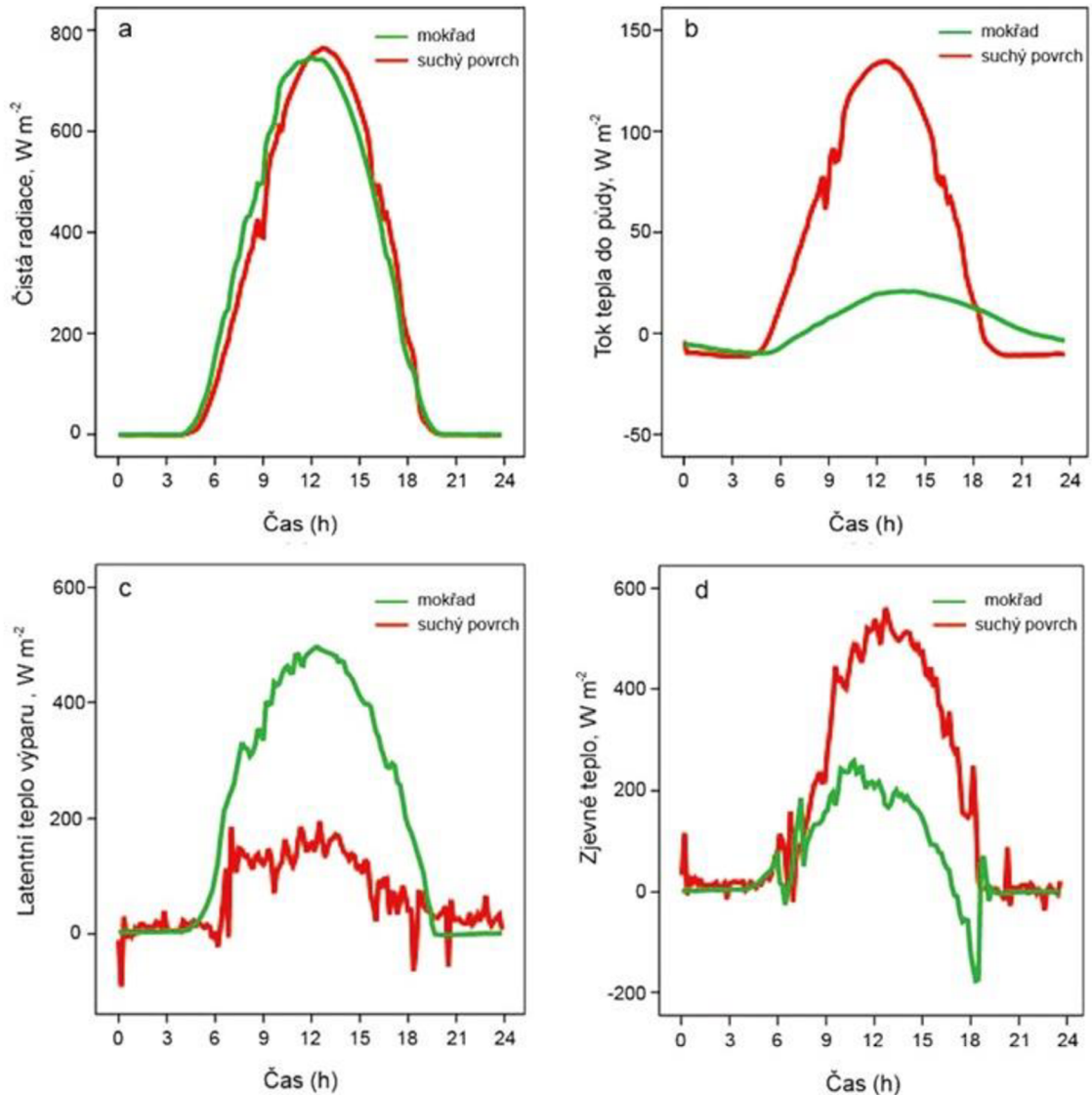
Zásadní ekosystémovou funkcí mokřadu je jeho vliv na klima, úlohou makrofyt v energetické bilanci mokřadů se ve stejnojmenném článku zabývá Pokorný (2007). Základ jejich textu ilustruje obrázek č. 7.



Obrázek č. 7 Schéma distribuce (disipace) sluneční energie v porostu, převzato a upraveno (Pokorný et al. 2017)

Důležitým faktorem je albedo – zpětný odraz slunečního záření od povrchu. Zbylá část záření – čistá radiace – proniká do vegetace. Zde nastává zásadní rozdíl oproti například stavebním povrchům. Jak píše Pokorný (2007) „V porostech se čistá radiace uplatňuje jako zdroj energie pro výpar vody (evapotranspirace) a zdroj tepla (zjevné teplo).“

Díky dostupnosti množství vody rostlinám jsou tyto rostliny schopny převádět velké množství kapalné vody do podoby vodní páry za spotřeby sluneční energie. Narůstá tak tok latentního tepla oproti teplu zjevnému. A tak na ohřev půdy a porostu působí jen menší část radiace. (Pokorný et al. 2007)



Obrázek č. 8 Průměrné denní hodnoty celkové čisté radiace ($W.m^{-2}$) (a), toku tepla do půdy ($W.m^{-2}$) (b), toku latentního tepla ($W.m^{-2}$) (c), toku zjevného (pocitového) tepla ($W.m^{-2}$) (d), vypočtené z pěti slunečných dnů v roce 2009 (13. 6., 14. 6., 16. 6., 27. 7. a 1. 8.) (Pokorný et al. 2017)

Tím dochází k ochlazení blízkého okolí. (Konkrétní rozdíly mezi mokřadem a suchým povrchem ilustruje obrázek č. 8) V průběhu noci se pak díky srážení vodní páry v podobě rosy uvolňuje energie v podobě tepla a snižuje se tak teplotní rozdíl mezi nocí a dnem. Zároveň se tak omezuje proudění vzduchu, které by jinak rozdílne teploty iniciovalo. (Pokorný et al. 2017)

Jak poměry tloušťky šipek na obrázku č. 7 napovídají, jen 1 až 2 % čisté radiace je přeměněno v procesu fotosyntézy na stavbu biomasy (Pokorný et al. 2007).

Bowenův poměr – je poměr mezi zjevným teplem a energií využitou na evapotranspiraci. V mokřadech je díky dobrému zásobování vodou a vysokému výparu vysoká hodnota evapotranspirace vůči zjevnému tempu a tak je Bowenův poměr menší než 1. (Pokorný et al. 2007)

Pochopení distribuce slunečního světla dopadajícího na porost, je zásadní v porozumění ekosystémových služeb mokřadů. Podobné argumentace se používá i v prosazování umělých mokřadů ve městech (Klímová 2022) i ozelenění budov (Burian 2022).

K tomu, aby proces evapotranspirace dobře fungoval, je zapotřebí dostatek sluneční energie a dostatek vody pro výpar. Tam kde je nedostatek vody, převádí se sluneční energie v teplo. To postupně ohřívá vrstvy vzduchu nad sebou a nastává efekt vysušování v důsledku toho, že teplejší vzduch je schopen pojmout vyšší množství páry a takto páru odnáší stále do vyšších vrstev, kde teprve dochází ke kondenzaci. (Pokorný et al. 2017)

V současnosti se objevuje snaha vyčíslovat hodnoty ekosystémových služeb v penězích za účelem manifestace hodnot a porovnání různých hodnot na různých lokalitách a tedy argumentovat v číslech o smysluplnosti mokřadních území. Ačkoliv hodnocení je problematické a některé služby ani neumíme kvantifikovat, má hodnocení smysl kvůli demonstraci jejich významu a vyčíslení proměn v čase jako výchozí prvek krajinného plánování. (Seják et al. 2017)

Podobně existuje tendence vyčíslovat ekosystémové služby ozelenění budov, zahrnující též aspekt proměnlivosti hodnoty v čase. (Macháč et al. 2018)

3.3.4 Umělé mokřady

Na vlastnosti přírodních mokřadů navazuje princip umělých mokřadů (Vymazal 2004) – v angličtině *constructed wetland*. Pro umělý mokřad určený od svého založení k čištění vod se používá též výraz *treatment wetland* (Cronk & Fennessy 2001). Existují umělé mokřady využívající různé typy rostlin (ponořené, vynořené, volně plovoucí). Vymazal (2004) rozděluje umělé mokřady do několika typů podle typu rostlin a též podle hladiny vody a směru průtoku vody:

- 1) systémy s plovoucí vegetací – např. vodní hyacint (*Eichhornia crassipes*) nebo okřehek (*Lemna spp.*) – u těch se předpokládá velký potenciál ke schopnosti odstraňovat nutrienty, ale jako negativum se projeví náročnost údržby
- 2) systémy s vegetací s plovoucími listy – nepoužívá se
- 3) systémy se submerzní – ponořenou vegetací – zde je předpoklad vody bez nerozpuštěných nečistot, bývají též uplatňovány v systému dočištění odpadních vod.
- 4) systémy s emerzní – vynořenou vegetací – podle hladiny vody se dále dělí na:
 - a) s volnou vodní hladinou – s povrchovým tokem – používáno často např. v Severní Americe

b) bez volné vodní hladiny – s podpovrchovým průtokem tento systém je u nás znám pod pojmem „KČOV“ – kořenová čistírna odpadních vod, někdy v literatuře označovaných jako „VKČ“ – vegetační kořenové čistírna (Šálek & Tlapák 2006). V angličtině nazývané *root-zone wastewater treatment plants*. Podle směru průtoku vody se dále dělí:

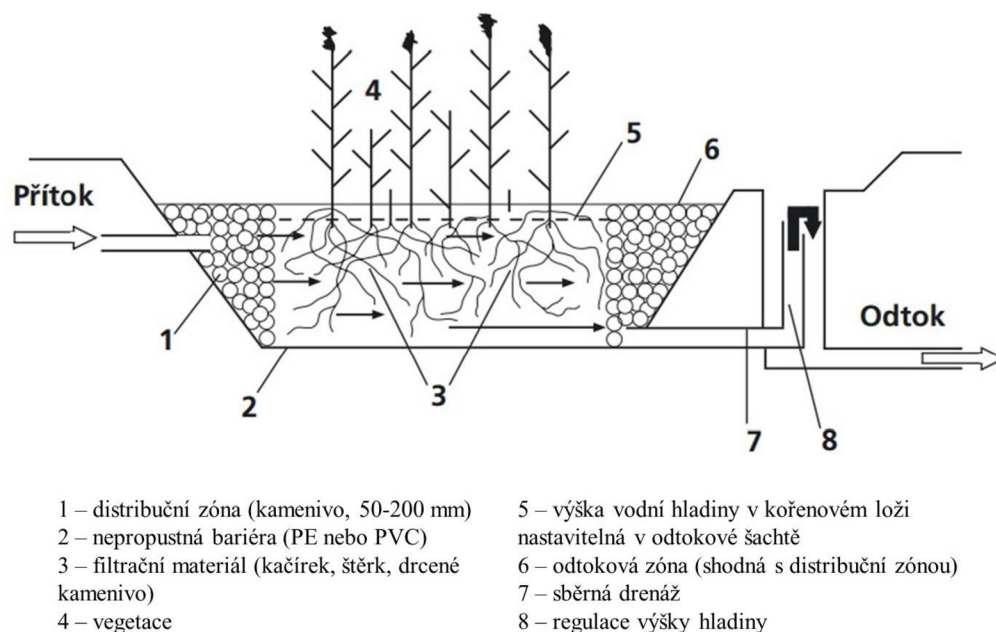
i) systémy s horizontálním průtokem vody, KČOV
 ii) systém s vertikálním průtokem vody – v literatuře se často nazývají jako „vertikální filtry (vertikální kořenová pole nebo také vertikální filtrační pole)“ (Pumprlová Němcová & Kriška 2020) a termín KČOV bývá spojován pouze s horizontálním průtokem. V angličtině bývá nazýván *planted biofilter*.

iii) „hybridní“ nebo „kombinované“ umělé mokřady – kombinace (např. vertikálního a horizontálního filtru), popřípadě označováno též jako VKČ druhé generace (Šálek & Tlapák 2006)

3.4 Kořenové čistírny odpadních vod

3.4.1 KČOV s horizontálním průtokem

Samotný mokřad je koncipován dle obrázku č. 9. Je vyložen nepropustnou vrstvou – fólií (PE, PVC), aby se zamezilo průsaku, lože se skládá z přítokové zóny s kamenivem o hrubší frakci (100-200 mm). Filtrační lože s rostlinami má hloubku 60-100 cm, tvoří jej porézní materiál, nejčastěji štěrk o frakci 5-20 mm. Před samotný umělý mokřad se používá mechanické předčištění – česle, lapák písku a štěrku, štěrbinová nádrž, pro malé KČOV vícekomorový septik, za účelem usazení nerozpuštěných látek. (Vymazal 2017)



Obrázek č. 9 Schéma horizontální KČOV, převzato a upraveno (Vymazal 2004)

Frakce štěrku ve filtračním loži by měla být jednotná, aby nedocházelo k nerovnoměrnému průtoku. (Vymazal 2004)

Vymazal (2017) uvádí rovnici pro výpočet velikosti filtračního pole, je stanovována podle schopnosti čistit vodu na cílenou hodnotu BSK₅ na odtoku, v ČR je používaná hodnota BSK₅ po inkubaci 5 dní (ČSN EN ISO 5815-1 2020):

$$A_h = Q_d(\ln C_o - \ln C) / K_{BSK}$$

Kde jsou:

A_h ... povrchová plocha kořenového filtru (m²)

Q_d ... průměrný průtok odpadní vody (m³/d)

C_o ... BSK₅ na přítoku do filtru (mg/l)

C ... BSK₅ na odtoku z filtru (mg/l)

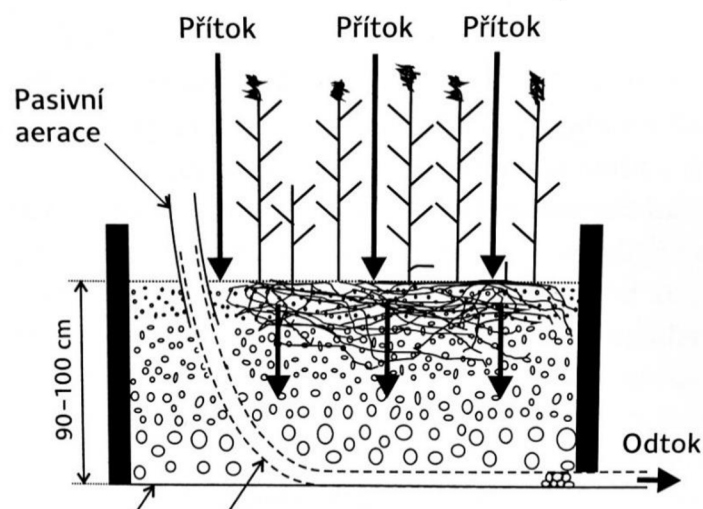
K_{BSK} ... rychlostní konstanta úbytku znečištění (m/d)

K_{BSK} je stanovena Evropskou směrnicí na 0,1 m/d, což vychází přibližně na 5 m² plochy kořenového pole na jednoho EO (ekvivalentního obyvatele). (Šálek et al. 2013)

3.4.2 Vertikální filtry

Vertikální kořenový filtr funguje na podobném principu jako horizontální KČOV. Do vertikálních filtrů je voda přiváděna na povrch štěrkového pole (nebo níže, kde nehrozí zamrzání) a protéká skrz porézní materiál vertikálně dolů, viz obrázek č. 10, (existují i vertikální systémy s proudem vody vzhůru). Důležitým faktorem oproti horizontálním filtrům je přerušovaný přítok dávající možnost vyschnutí a tedy přístupu vzduchu. (Šálek & Tlapák 2006)

Filtrační materiál má více vrstev, nejvýš se používá kamenivo frakce 8-16 mm ve výšce 10-20 cm, pak zrnitost 4-8 mm také 10-20 cm a následuje hlavní filtrační vrstva 0,9-1,8 m, nejčastěji křemičitého písku. (Šálek & Tlapák 2006)



Obrázek č. 10 Vertikální filtr (Vymazal 2017)

Používá se většinou jemnější frakce písku, do 4 mm, a následuje drenážní vrstva 4-8 mm, hydraulické zatížení je doporučováno v rozmezí 0,03-0,06 m³/m² za den. (Šálek et al. 2012)

Šálek a Tlapák (2006) zmiňují dvě možné rovnice pro výpočet rozlohy v m²:

$$S = \frac{Q_d}{K_d} \cdot \ln \frac{C_p - C^*}{C_o - C^*}$$

Q_d ... průměrný denní přítok vody (m³/d)

C_p, C_o ... obsah složky na přítoku a odtoku (g/m³)

C^* ... koncentrace pozadí (g/d)

K_{vert} ... rychlostní konstanta prvního řádu (m/d) stanovovaná pro různé hodnoty znečištění

Nebo rovnici v m²:

$$S = \frac{Q \cdot d}{K_f \cdot (H + d + h)}$$

Q ... průměrný denní přítok v m³/d

H ... hloubka vody v m,

D ... výška filtračního lože v m,

K_f ... hydraulická vodivost m/d

h ... regulovatelná výška vody (m)

Rostliny zde mají stejnou funkci jako u horizontálních filtrů: izolaci lože z hlediska teploty, podporu mikroorganismů nebo izolaci potrubí vůči působení UV záření. (Pumprlová Němcová & Křiška 2020)

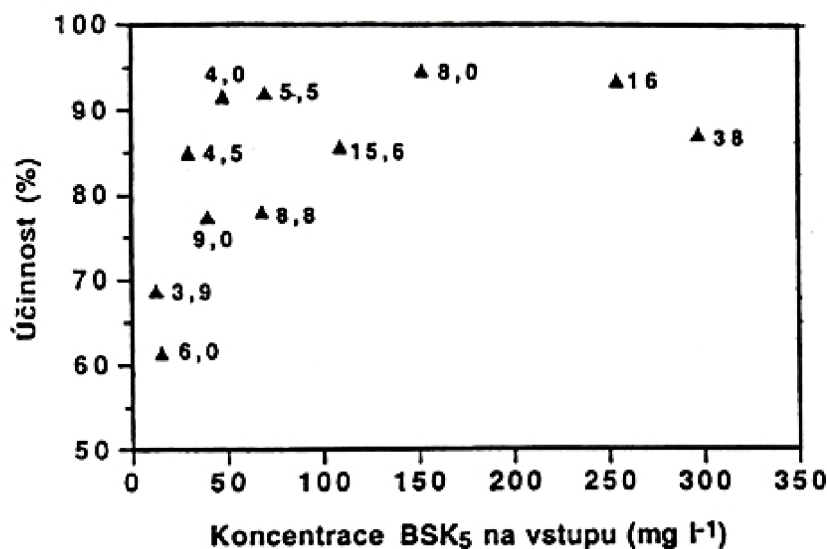
3.4.3 Principy čištění vody v KČOV

Odpadní vodu u obou typů filtrů je nutné předčistit v sedimentační nádrži s dobou zdržení dle normy ČSN 75 6402 (2017). (Pumprlová Němcová & Křiška 2020)

Parametry, jež se stanovují u odpadních vod jsou shrnuty například v příloze č. 1. Míra čištění závisí na účelu dalšího směřování vyčištěné vody, problematika je shrnuta v kapitole č. 3.5.2.

Účinnost kořenové čistírny se často posuzuje procentuálně. To však podle Vymazala (1995) nedává smysl vzhledem k různým koncentracím znečištění na přítoku. Hlavním parametrem pro konkrétní čistírnu by měl být obsah látek na odtoku, píše Vymazal (1995) a dokumentuje to grafem s účinností a koncentracemi, viz obrázek č. 11, kde procentuální účinnost u málo koncentrovaného znečištění je sice pouhých 69 %, ale výsledný obsah BSK₅ je 3,9 mg/l, což je kvalita odpovídající vodárenským tokům.

Procesy podílející se na odstraňování znečištění v KČOV ukazuje příloha č. 2 dle Vymazala (1995).



Obrázek č. 11 Vztah mezi koncentrací BSK₅ na přítoku do kořenového pole a účinností těchto polí na 11 KČOV v ČR. Čísla = průměrná koncentrace BSK₅ na odtoku (Vymazal 1995)

Odstraňování organických látek

Organické znečištění je hodnoceno jako BSK (biochemická nebo biologická spotřeba kyslíku), je to množství rozpuštěného molekulárního kyslíku spotřebovaného mikroorganismy za určitý čas. A dále CHSK (chemická spotřeba kyslíku) dána „mírou obsahu látek schopných chemické oxidace“, a ukazuje na celkový obsah organických látek. (Groda et al. 2007)

Zásadní je poměr CHSK ku BSK, viz kapitola 3.5.2.

BSK je odstraňováno i sedimentací a filtrací, ale jeho větší část mikrobiálním rozkladem. Aerobní respirace je v KČOV s horizontálním průtokem omezená množstvím kyslíku, po kyslíku se akceptory elektronů stávají postupně další komponenty půdy dle redoxního potenciálu. Dochází k tomu nejvíce v první části filtračního pole, doba zdržení v rozmezí 2-7 dní ani poměr šířka/délka filtračního pole nehrají příliš velkou roli, naproti tomu štěrkové pole po osazení rostlinami je 2x účinnější než bez nich. Schopnost odstraňovat organické látky je během roku rovnoměrná, je to přikládáno pravděpodobné zvýšené aktivitě mikroorganismů v zimním období navzdory jejich úbytku. (Vymazal 1995)

Vymazal (1995) též vyzdvihuje KČOV v jejich schopnosti čistit odpadní vody s nízkou koncentrací organických látek, to dokazuje na kritice procentuálního hodnocení KČOV, viz zmiňovaný obrázek č. 11.

Odstraňování nerozpuštěných látek (NL)

Největší míra zachycení NL se děje především sedimentací a filtrací opět na začátku filtračního lože, je tedy nutné mít co nejdelší nátokovou hranu a pro rozvod vody v začátku hrubou frakci kameniva. (Vymazal 1995)

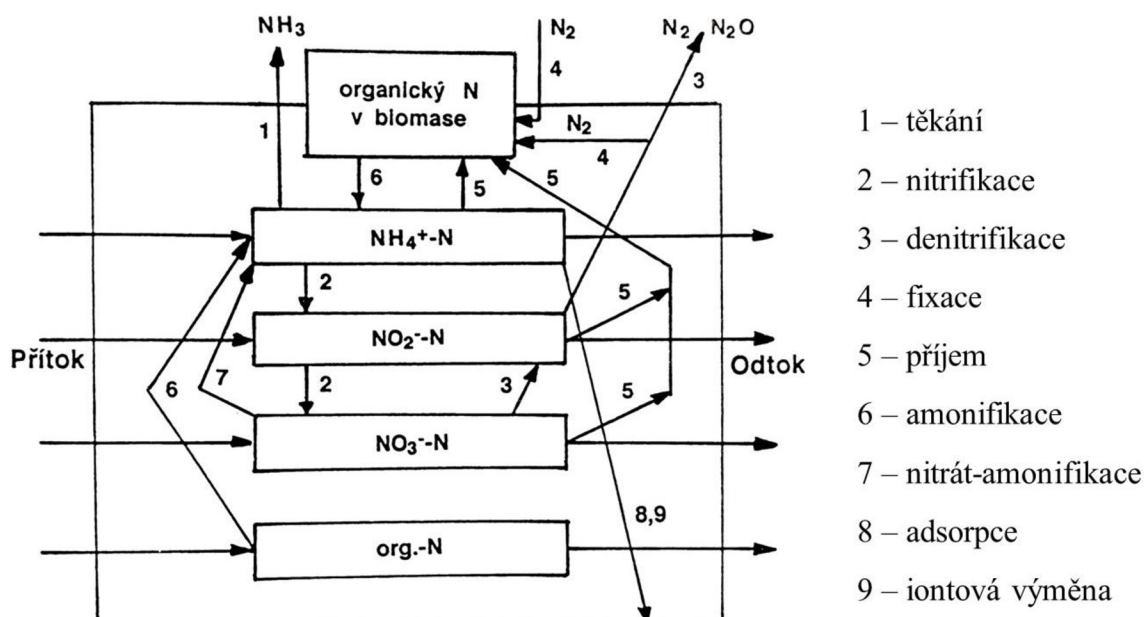
Odstraňování dusíku

Dusík vstupuje do kořenové čistírny jak v organické tak v anorganické formě. Organický se mineralizuje, anorganický má formy: Nitráty NO_3^- , Nitrity NO_2^- , amoniak NH_3 , amonný ion NH_4^+ . Amoniak (a amonné ionty) může vytékat nebo být spotřebován rostlinami nebo mikroorganismy. V Aerobních podmínkách probíhá nitrifikace, na půdním povrchu a v blízkém okolí kořenů rostlin, kde je kyslík difundován. Jakmile vstoupí nitrát do anaerobního prostředí, je redukován bakteriemi na oxid dusný N_2O a dusík N_2 v procesu denitrifikace. Přítomnost jak aerobního, tak anaerobního prostředí dává ideální prostředí pro přeměnu dusíku. Jelikož je transformace dusíku spojena s procesy mikroorganismů, je odstraňování dusíku zvýšené ve vegetačním období, kdy vyšší teploty stimulují růst populací mikroorganismů. Dalším mechanismem odstraňování dusíku je odběr a zabudovávání do biomasy rostlin a řas. Avšak v případě odumření rostliny a její ponechání na místě se dusík vrací zpět do vody (Cronk & Fennessy 2001).

Dle Vymazala (1995) odstraňování dusíku v KČOV s horizontálním průtokem není nijak dobré, pohybuje se v rozmezí 30-60 %. Je způsobeno zejména absencí kyslíku. Vzhledem k převaze amonifikačních bakterií nad nitrifikačními se může stát, že na odtoku je dokonce vyšší obsah amoniaku než na přítoku. Denitrifikace je zde omezována nízkou nitrifikací. Navíc odstraňování N je závislé na teplotě a v zimním období je nižší.

Tanner (1996) uvádí, že druh rostlin na odstraňování dusíku nemá velký vliv a je přímo úměrný nárůstu biomasy.

Koloběh dusíku v mokřadech je znázorněn v obrázku č. 12.



Obrázek č. 12 Základní transformace dusíku v kořenovém loži, převzato a upraveno (Vymazal 1995)

Odstraňování fosforu

Při odstraňování fosforu je zapojena hlavně chemicko-fyzikální procesy. Ve vztahu k pH je fosfor vázán buď na železo, hliník nebo vápník. Je možné tedy vázání fosforu ovlivnit druhem šterku. Schopnost vázat fosfor se tak ale s časem vyčerpá. (Vymazal 1995)

Odstraňování tenzidů

Šálek a Tlapák (2006) poukazují na starší práci Pištěkové a Šálka (2003), která zkoumala odstraňování tenzidů (*surfactants*, povrchově aktivní látky obsažené v čistících prostředcích) v KČOV s horizontálním průtokem a biologických nádržích. Účinnost čištění byla stanovena v hodnotách mezi 75 – 99 %, díky poutání ve filtračním loži a biologickému odbourávání.

Mikrobiální znečištění

Splaškové odpadní vody obsahují patogenní organismy, nutné z vody odstraňovat. Obsah se zjišťuje podle indikátorových organismů, celkových koliformních bakterií, fekálních koliformních bakterií, fekálních streptokoků a *Escherichia coli*. (Vymazal 2005)

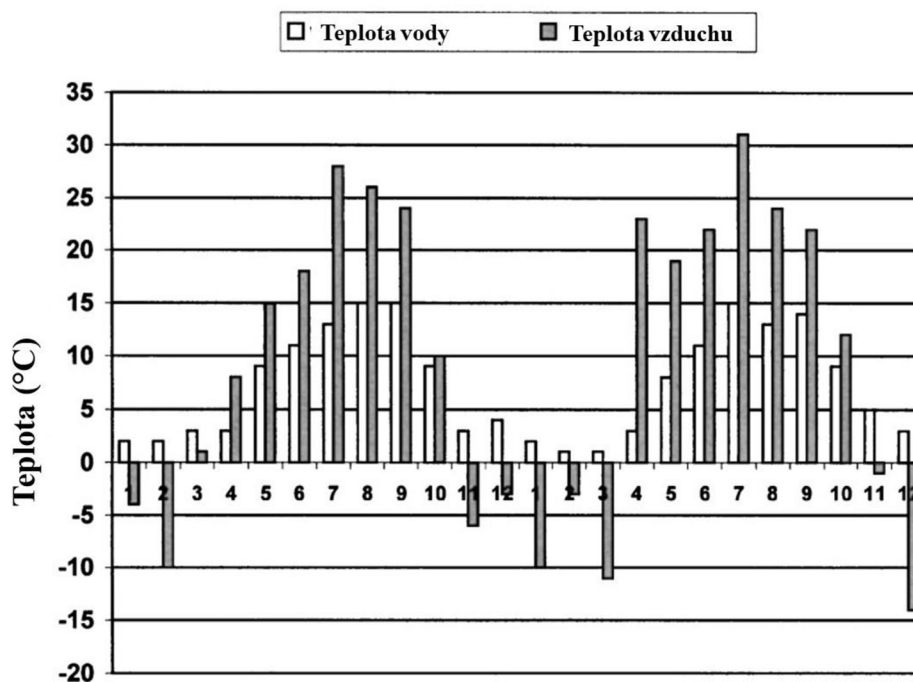
I šedé vody navzdory absenci odpadních vod z toalet obsahují určité množství patogenů., jak je patrné např. z tabulky č. 3.

Srovnání literárních zdrojů ukázalo, že schopnost odstraňovat patogenní mikroorganismy se u umělých mokřadů pohybuje okolo 90-99 %, přičemž nejlépe fungovaly hybridní systémy, potom KČOV s podpovrchovým tokem, nejhůře systémy s volnou hladinou. Výsledky se však nedají hodnotit pouze na základě procentuálního odstraňování, neboť jsou závislé na množství patogenů vstupujících do systému na přítoku. (Vymazal 2005)

Jako základní se v literatuře pro odstraňování patogenů ukázaly parametry: rychlost hydraulického zatížení, doba zdržení v čistícím procesu a přítomnost rostlin oproti systémům bez nich, je to díky kořenovým exudátům rostlin a také díky zvýšené populaci mikroorganismů, které mají antibiotický dopad. Rozdíly je možné pozorovat i mezi různými typy kořenů a jejich hustotou. Například kořeny tlusté, vyplňující celou plochu kořenového pole, znamenají menší plochu jejich obvodu a tedy menší plochu pro usazení mikroorganismů a zároveň přílišná hustota zapříčiňuje odklon toku do prostoru pod kořeny. (Vymazal 2005)

Stejně závěry ukazují i Chandrasena et al. (2014), kteří dokazují, že přítomnost rostlin je zásadní a i výběr rostlin má vliv. Výkonné rostliny v jejich studii těž odpovídaly pomalejší infiltraci. Výrazně lepších výsledků dosahovaly typy konstrukcí se stále zaplavenou zónou, naopak vyschnutí biofiltru účinek výrazně snižuje. Nejlepších výsledků v této studii dosáhly *Leptospermum continentale* nebo *Melaleuca incana*. Období vyschnutí se na odstraňování patogenů projevilo negativně. Nicméně studie se zabývala pouze *E.coli*, u jiných patogenů připouští jiné výsledky.

Odstraňování nechtěných mikroorganismů v klasických KČOV je v průběhu roku vcelku rovnoměrná, je to tím, že teplotní rozdíly v podpovrchovém toku odpadní vody nejsou velké oproti rozdílům v teplotě vzduchu, viz obrázek č. 13. Je to z velké míry způsobeno izolací biomasou rostlin. (Vymazal 2005)



Obrázek č. 13 Teploty vody a na horizontální KČOV Zásada, ČR, během let 1997-1998, převzato a upraveno (Vymazal 2005)

3.4.4 Rostliny v KČOV

Jako hlavní úlohy makrofyt v KČOV s horizontálním podpovrchovým tokem mírného a studeného klimatu uvádí Vymazal (2013):

- 1) izolaci štěrkového lože během zimy
- 2) poskytování substrátu (kořeny a oddenky) pro růst bakterií
- 3) uvolňování kyslíku do jinak anoxického/anaerobního prostředí
- 4) odběr a zadržení živin
- 5) vypouštění kořenových exudátů s antimikrobiálním působením.

Šálek a Tlapák (2006) uvádějí také body:

- 6) transpirací převádějí rostliny velkou část vody do ovzduší v podobě páry – zlepšují tak mikroklima
- 7) estetická funkce

K použití v KČOV s podpovrchovým tokem se využívají tzv. helofyty. Pro tzv. terciální čištění – dočišťování mohou sloužit i rostliny ponořené – hydrofyty. (Husák & Květ 1998)

Nejpoužívanějšími rostlinami v ČR jsou od 90. let:

- rákos obecný (*Phragmites australis*)
- chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*)
- orobinec úzkolistý a širokolistý (*Typha angustifolia*, *T. latifolia*)
- skřípinec jezerní (*Schoenoplectus lacustris*)

- zblochan vodní (*Glyceria maxima*)
- sítina rozkladitá (*Juncus effusus*)

Rostliny s vyšší estetickou hodnotou:

- kosatec žlutý (*Iris pseudacorus*)
- šmel okoličnatý (*Butomus umbellatus*)
- puškvorec obecný (*Acorus calamus* 'Variegatus')

(Kočková et al. 1994)

Ty mezi používané rostliny zařazuje dnes např. firma Kořenovky.cz a ve výčtu užívaných rostlin zmiňuje další (Kořenovky.cz n.d.):

- zevar vzpřímený (*Sparganium erectum*)
- blatouch bahenní (*Caltha palustris*)
- kyprej vrbice (*Lythrum salicaria*)
- tužebník jilmový (*Filipendula ulmaria*)
- vrbina obecná (*Lysimachia vulgaris*)
- prustka obecná (*Hippuris vulgaris*)
- ostřice pašáchor (*Carex pseudocyperus*)
- žabník jitrocelový (*Alisma plantago-aquatica*)

Pro výběr rostlin, určených k čištění vody, je zásadní míra koncentrace živin (popř. toxických látek) ve vodě určené k čištění. (Husák & Květ 1998)

I když zvládnutí zvýšené koncentrace živin je zásadní, Husák a Květ (1998) uvádějí i další kritéria:

- 1) Rostliny vytrvalé
- 2) Rostliny se širokou ekologickou amplitudou, tedy rostliny, které z jsou ze svého přirozeného prostředí navyklé ke střídání vodního režimu v dané lokalitě. (Mokřady při březích řek, chovné rybníky s letním a zimním režimem)
- 3) Vysoká produkce biomasy, jež má za následek akumulaci živin v rostlině určené ke kosení. Doporučuje se zde 0,5-2 kg na m² produkce biomasy za rok, čehož dosahují například rákosiny
- 4) Vzhledem k tomu, že akumulace živin je dána součinem množství biomasy a koncentrací živin v ní, tyto dvě charakteristiky se v důsledku pro schopnost čistit vodu doplňují a měly být přítomny obě.
- 5) Dlouhá vegetační doba, rostliny, u nichž se fotosyntetická aktivita neztrácí ani v mírných zimách, např zblochan vodní (*Glyceria maxima*), psineček výběžkatý (*Agrostis stolonifera*), metlice trsnatá (*Deschampsia cespitosa*)
- 6) Rostliny snadno a rychle množitelné
- 7) Rostliny s nenáročnou manipulací

Dále uvádějí např. nevhodnost ostřice nebo mařice pilovité pro jejich ostrost a možnost poranění, stejně tak upřednostňují rostliny vzpřímené a trsnaté než poléhavé druhy.

Podobně uvádí kritéria Tanner (1996):

- 1) Ekologická vhodnost: zejména žádné ohrožení pro ekologickou a genetickou integritu okolí
- 2) Tolerance k místním klimatickým podmínkám, škůdcům a chorobám.
- 3) Tolerance k polutantům a eutrofickým podmínkám.
- 4) Trvalkový typ
- 5) Vysoká schopnost odstraňování polutantů, jak přímo v rámci odběru a zabudovávání do biomasy, tak nepřímo v podpoře procesů mikroorganismů, jako nitrifikace díky kyslíku uvolňovanému v kořenové zóně a denitrifikaci

Ve snaze dostat prvním dvěma kritériím, snaží se ti, kdo zakládají umělé mokřady vybírat rostliny nacházející se v blízkém přirozeném prostředí. Nejlepší je použít rozmanité druhy (dobře adaptované), než použít jen jeden nebo dva druhy. Monokultury snáze podléhají škůdcům. (Cronk & Fennessy 2001)

Rostlinami vyskytujícími se v mokřadech uvnitř intravilánu měst a vesnic České republiky se zabývala Šumberová (2018), předložila výčet druhů přežívající uvnitř člověkem ovlivňované krajiny, z nichž je z kategorie helofyt v příloze č. 3 sestavena tabulka včetně charakteristik vybraných z textu studie.

Dalším kritériem pro konkrétní případy jednotlivých čistíren je vhodnost rostlin do daného klimatu nadmořské výšky. Husák a Květ (1998) rozdělují tři úrovně vegetačních stupňů a uvádějí příklady vhodných rostlin v rozmezí od nuly do 900 m nad mořem, viz příloha č. 4.

Míra odběru živin přímo rostlinami není tak významná, jak by se čekalo a důležité jsou ostatní funkce rostlin v rámci systému. Dušek et al. (1998), v rámci měření obsahu prvků v biomase rostlin, prokázali na příkladu rákosu a chrastice, že „množství dusíku a fosforu zachycená v nadzemních částech rostlin tvoří pouze malou část z celkově odstraněných množství.“ Procentuální účast rostlin na třech kořenových čistírnách byla pro P 1,25-7,55 %, pro N 1,7 – 17 %.

Vlivem přítomnosti plevelů na čistící funkci umělých mokřadů s podpovrchovým horizontálním tokem se zabýval Vymazal (2013), podle něj jen několik málo druhů vytváří v porostu pěstovaných rostlin hustší porosty, ostatní se vyskytují jen individuálně. Nejčastějším druhem je podle něj *Utrica dioica*, kopřiva dvoudomá. Na několika místech se stala přímo dominantní, výrazně u *Phalaris arundinaceae* a tam, kde nebyly porosty pravidelně sečeny. Druhým nejčastějším plevelem, vytvářejícím souvislou biomasu ve šterkových polích byla *Epilobium hirsutum*, vrbovka chlupatá. Z porovnání tří kořenových čistíren s horizontálním průtokem, u kterých během let došlo k zarostení plevelem vyplynulo, že změna vegetace nemá významný vliv na schopnost KČOV čistit vodu. (Vymazal 2013)

3.5 Šedé vody

Vzhledem k vysokému množství spotřebované pitné vody se začalo uvažovat o možnosti oddělení odpadních vod podle stupně jejich znečištění a tedy i náročnosti na jejich čištění. S tím souvisí i možnost recyklace vody a opětovného využití jako způsob ekologického, ekonomického hospodaření s vodou (Šálek et al. 2012).

Kožíšek (2021) hovoří dokonce o „boomu budování systémů recyklace vod“ u nás (i když v rámci jeho projektu bylo zařazeno recyklování jak šedých tak dešťových vod), z dosud zveřejněných informací o projektu však není zřejmé, jaké způsoby čištění ŠV byly předmětem studie.

Systémy s oddělenými odpadními vodami existují na mnoha úrovních od amatérských projektů po profesionální systémy. (Kožíšek et al. 2021)

3.5.1 Definice šedých vod

Definici „šedé vody“ (*grey water*) uvádí norma ČSN EN 16941-2 (2021) jako „splaškové (domovní) odpadní vody kromě odpadních vod z WC a pisoárů“, jinde podobně např. ČSN EN 12056-2 (2001) „splaškové odpadní vody neobsahující fekálie a moč“.

Název byl odvozen od změny barvy při jejím delším skladování. (Bartáček et al. 2021)

Obecně se považuje jako zdroj šedé vody odtok ze sprch, van, umyvadel, praček, dřezů, myček nádobí. Protože i tyto jednotlivé zdroje produkují vodu velmi různého znečištění, rozděluje se dále ještě tzv. světle šedá voda – z umyvadel, van a sprch a ostatní jako tmavě šedá voda z praček a kuchyňského provozu (dřez, myčka nádobí), přičemž vodu z kuchyní podle Bartáčka et al. (2021) některá literatura zahrnuje do vod černých (voda z toalet a pisoárů). V ČSN EN 16941-2 (2021) je světle šedá voda označována jako tzv. „lehká šedá voda“. Obrázek v příloze č. 5 graficky shrnuje kompilaci zdrojů. Tam je zahrnuto i označení dešťové vody, jak její legislativní pojetí vysvětluje Chaloupka (2006), protože vody srážkové a vody šedé se často řeší společně.

3.5.2 Parametry šedých vod

Pro šedé vody je typické kolísání jejich znečištění dle činnosti jejich producentů – obyvatel (Šálek et al. 2012).

Charakteristika šedé vody závisí na kvalitě dodávky vody, typu distribuční sítě a její kvalitě (tvorba biofilmu, prosakování...), zatřetí právě na rozdílném chování v různých domácnostech a začtvrté ve způsobu zacházení a skladování šedé vody (Eriksson et al. 2002).

Parametry pro určení nečistot v šedých vodách podle Eriksson (2002) jsou uvedeny v příloze č. 6. Sledované látky ve vodě u jednotlivých případů se liší podle účelu monitoringu.

Následující tabulka č. 3 prezentuje odstupňované znečištění zdrojů světle šedé, celkové (mixed) šedé vody, a splaškové vody včetně vody černé (Arden & Ma 2018):

Tabulka 4 Fyzikální, chemické a mikrobiologické ukazatele kvality vody, z různých zdrojů šedých vod a odpadních vod a hodnoty na přítoku a odtoku při čištění v mokřadu, lehké šedé vody = umyvadlo a sprcha, smíšené šedé vody = navíc kuch. dřez a pračka, převzato a upraveno (Arden & Ma 2018)

| Parameter | Parametry | Jednotky | Lehké ŠV | Směšené ŠV | Směšené splaškové odpadní vody | rozsah hodnot na přítoku do mokřadu | Rozsah hodnot na odtoku z mokřadu |
|---|------------------------------------|------------|-----------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| | | Units | Light greywater | Mixed greywater | Mixed greywater | Wetland influent ranges | Wetland effluent ranges |
| Physical and chemical: | Fyzikální a chemické: | | | | | | |
| TSS | Celkové nerozpustěné látky | mg/L | 29-505 | 19-700 | 22-1690 | 4.9-120 | 0.3-52 |
| BOD | BSK | mg/L | 20-240 | 48-1056 | 112-1101 | 20-435 | 1.0-196 |
| COD | CHSK | mg/L | 100-633 | 58-2950 | 1329-1650 | 77-646 | 6.0-363 |
| Turbidity | zákal | NTU | 12.6-240 | 19-444 | | 15-254 | 0.3-114 |
| Total Nitrogen | Celkový dusík N | mg/L | 3.6- 19.4 | 1.1-74 | 9.0-240 | 5.2-15 | 1.7-14 |
| Total Phosphorus | Celkový fosfor P | mg/L | 0.11-48.8 | 0.062-500 | 0.2-0.32 | 0.8-9.3 | 0.47-5.2 |
| Bacteria and bacterial indicators* | Bakterie a bakteriální indikátory* | | | | | | |
| Total Coliform | Celkové koliformní bakterie | CFU/100 mL | 1-7.4 | 3.1-8.8 | 7.0-9.0 | 5.4-8.7 | 0.7-8.3 |
| Fecal Coliform | Fekální koliformní bakterie | CFU/100 mL | 0-6.9 | 2.0-8.0 | 4.0-8.2 | 3.7-8.0 | 0.0-6.0 |
| <i>Escherichia coli</i> | <i>Escherichia coli</i> | CFU/100 mL | 2.3-5.7 | 3.6-6.7 | 4.0-7.9 | 2.8-6.7 | 0.0-6.4 |
| Enterococci | Enterokoky | CFU/100 mL | 1.9-3.4 | 2.4-4.6 | 4.0-5.0 | 2.8-3.8 | 0.5-3.3 |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | CFU/100 mL | 2.6-3.5 | 2.3-4.3 | 3.0-6.0 | 3.7-6.8 | 0.2-6.0 |
| <i>Staphylococcus aureus</i> | <i>Staphylococcus aureus</i> | CFU/100 mL | 4.0-5.7 | 3.3-5.7 | | 3.5 | 1.8 |
| <i>Clostridium perfringens</i> | <i>Clostridium perfringens</i> | CFU/100 mL | 0.66 | | 3.0-5.0 | 2.8-3.1 | 0.8-2.6 |
| <i>Legionella</i> | <i>Legionella</i> | CFU/100 mL | 2.2 | 2.2-2.9 | | 5.1 | 3.8-4.4 |
| <i>Salmonella</i> | <i>Salmonella</i> | CFU/100mL | | 3.7 | 2.0-4.0 | 0.7-1.3 | |
| Viral indicators* | Virové indikátory* | | | | | | |
| <i>MS2-Coliphage</i> | <i>MS2-Coliphage</i> | PFU/mL | | | 3.0-4.0 | | |
| * log10 koncentrace | | | | | | | |
| CFU = Colony Forming Units, tedy jednotky tvořící kolonie | | | | | | | |
| PFU = Plaque Forming Unit, tedy jednotky tvořící plak | | | | | | | |

Rozdíly mezi množstvím objemu a procentuálním zastoupením množství látek v různých zdrojích šedých vod představuje Friedler (2004) v grafu v příloze č. 7.

Takovéto porovnání dává smysl, když si uvědomíme, že ne všechen objem šedé vody je možné běžně využít opět v místě vzniku. Vyvážení dodávky a spotřeby provozní vody je klíčový faktor v projektech s recyklací vody (Dixon et al. 2000).

Na splachování toalet se využije jen asi polovina objemu oproti produkci šedých vod (ASIO 2023) Pokud uvažujeme o využití ke splachování toalet i k zalévání zahrad Friedler (2004) uvádí, že i tak je potřeba recyklovat jen přibližně 50-65% šedých vod. Má tedy smysl uvažovat o výběru zdrojů pro recyklaci.

Penn (2012) uvádí, že recyklací šedé vody a jejím využití ke splachování toalet se dá ušetřit až 26% spotřeby vody, v případě, že se recyklovaná voda využije na splachování toalet i zalévání zahrady, může být spotřeba snížena až o 41% oproti systému bez recyklace.

Množství spotřeby šedé vody se velmi liší v různých částech světa, Khanam & Patidar (2022) udávají množství vody ve vyspělých zemích v rozsahu 88-200 l na člověka za den, v rozvojových zemích 30-165 l.

V české republice se uvádí jako množství celkové spotřebované vody na člověka za den 100-120 l z toho přibližně 25 % znamená splachování toalet. (Topiarzová 2023)

Mezi základní parametry hodnocení vod patří BSK a CHSK (biologická a chemická spotřeba kyslíku). Splaškové vody mívají tento poměr CHSK ku BSK 2:1, u šedých vod bývá poměr 4:1, což, jak tvrdí Bartoník et al. (2012): „ukazuje na vyšší podíl obtížněji rozložitelných organických látek“.

Dobrý poměr k biologickému odbourávání je 2, ale 2,5 a více než 3 může být problém. Závisí na organickém materiálu (jídlo, oleje, tuky) typu čistících prostředků (biologicky rozložitelné nebo ne). (Khanam & Patidar 2022)

Zajímavým postřehem od autorů, Khanam & Patidar (2022) je, že ve vyspělých zemích to nebývá takový problém, protože čistící prostředky byly většinou nahrazeny těmi biologicky rozložitelnými a problém s vyšším poměrem CHSK ku BSK zde bývá jen u světle šedých vod, (obsahující hlavně šampóny a mýdla).

Mezi charakteristiky odpadní vody patří podle zákona č. 254/2001 (vodní zákon) i změna teploty vody. Je současným trendem v rámci směru udržitelnosti teplo z odpadních vod využívat. Šedé vody mají (vzhledem k jejich produkci) vyšší teplotu než celkové vody splaškové, asi 18 – 35 °C . Využití tepla z šedých vod je tedy efektivnější. (Bartoník et al. 2012)

3.5.3 Požadavky na vyčištění šedých vod

Typ a míra znečištění též předznamenává způsob jejího čištění a recyklace. V literatuře se také setkáme s pojmem použitelná a podmíněně použitelná voda pro recyklaci. Podmíněně použitelnou je míněna voda z kuchyní a je takto zařazena z důvodu silnějšího znečištění a též množství obsahu tuků (Šálek et al. 2012).

V České republice je inspirací pro parametry vody čištěné britská norma BS 8525 – Greywater systems (Bartoník et al. 2012). Tu přepisuje i platná česká norma ČSN EN 16941-2 (2021), stanovuje hodnoty *E.coli*, intestinální enterokoky, *Legionella pneumophila*, koliformní bakterie, zákal, pH, zbytkový chlor a brom, rozlišuje aplikaci s postřikem nebo bez.

V normě ČSN 75 6780 (2021) Využití šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích se píše: „Čištěná šedá voda má být hygienicky (bakteriálně) nezávadná, pokud možno bezbarvá. Bez plovoucích částic a i po dlouhodobější akumulaci bez zápachu,“ a nesmí tedy ohrožovat veřejné zdraví. Dále se zde vyzdvihuje nutnost zajistit odstraňování tuků, pokud je zařazena i voda z kuchyní.

Při recyklaci jakékoliv odpadní vody je nutno v rámci čištění počítat s jejím zadržováním – skladováním do doby opětovného použití. Doba zdržení je významný element ovlivňující kvalitu vody. V průběhu stání se voda může zjednodušeně řečeno zkažit, obsah CHSK a BSK znamená možné spotřebování kyslíku v důsledku rozkladu organického

materiálu a tím pádem produkci sulfidů ve vzniklém anaerobním prostředí (Eriksson et al. 2002).

Dobou zdržení šedé vody se komplexně zabýval Dixon (2000), ve studii se využívaly vody z koupelen a z praček. Předmětem měření byly klíčové parametry stanovování kvality vody: CHSK - Chemická spotřeba kyslíku, obsah rozpuštěného kyslíku, teplota, pH, zákal, celkové nerozpuštěné látky, celkové koliformní bakterie, fekální koliformní bakterie. Studie ukázala, že skladování surové šedé vody má výrazný vliv na změny její kvality. V prvních několika hodinách je nejvýraznější proces usazování nerozpuštěných částic, ale také vyčerpání rozpuštěného kyslíku. Po jednom až čtyřech dnech se projevil nárůst aerobních mikroorganismů (myšleno v souvislosti s koliformními bakteriemi). Výsledky jejich studie prokázaly předešlá pozorování, že by voda neměla být skladována déle než 48 hodin avšak doba skladování alespoň 24 h má naopak pozitivní vliv vzhledem k redukci CHSK a nerozpustných látek vlivem usazovací fáze. Doba zdržení v tomto rozhraní má tedy pozitivní vliv na další čistící proces. Obsah rozpuštěného kyslíku se sice během 24 h rychle zmenšuje, avšak to se podle studie dá ovlivnit přidáním malého aeračního procesu. Na nárůst koliformních bakterií neměla doba 24 h vliv. (Dixon et al. 2000)

Dle normy ČSN 75 6780 (2021) by měla být akumulace vyčištěné šedé vody dimenzována na max. 24 h, pokud nebyla dezinfikována a dále se zde uvádí: „Nečištěná voda smí být akumulována pouze v množství potřebném pro zajištění kontinuálního provozu zařízení.“

Dimenzování návrhu čištění šedých vod je popsáno též v normě ČSN 75 6780 (2021), jsou zde uvedeny vzorce na množství produkce a potřeby, stanovení denní produkce a potřeby v obytných budovách, objem akumulačních nádrží, dále průměrné spotřeby vody pro různá zařízení pro případ, že není možné mít přesnější údaje. Požadavky této normy na přečištěnou vodu jsou přepsány v příloze č. 8.

Přečištěná odpadní voda se nazývá bílá voda – tedy voda provozní, není považována za pitnou a musí být podle toho označena nápisem „nepitná voda“ nebo symbolem zákazu. (Šálek et al. 2012)

Ohledně hygienických požadavků norma ČSN 75 6780 (2021) výslovně uvádí, že: „Čistící proces by měl být, zejména v bytových domech definovaných v ČSN 73 4301 a budovách občanského vybavení sídlišť, doplněn o dezinfekci spočívající v odstranění nebo inaktivaci patogenních organismů z čištěné šedé vody. Upustit od dezinfekce čištěné šedé vody je možné pouze na základě analýzy zdravotních rizik provedené podle ČSN ISO 20426.“

Vzhledem k tomu, že se šedé vody pro recyklaci často kombinují s dešťovými vodami, je třeba zmínit, že i pro ty platí dle normy ČSN 75 6780 (2021), že v odůvodněných případech je třeba použít dezinfekci, v případě využití „uvnitř budov občanského vybavení sídlišť se dezinfekce navrhuje vždy.“

Kvalitou čištěné šedé vody se také zabývají normy: ČSN 75 7143 (1992)- Jakost vod. Jakost vody pro závlahu (1992), dále ČSN ISO 20761 - Opětovné využití vody v městských oblastech - Směrnice pro hodnocení bezpečnosti opětovného využití vody - Hodnocené ukazatele a metody (2020), ta pouze vysvětluje hodnocení, neuvádí však jasné hodnoty

parametrů vhodné k použití, pouze srovnává takové hodnoty z jiných zemí. Posuzováním zdravotních rizik (pouze metodikou, bez uvádění přesných hodnot) se zabývá ČSN ISO 20426 (2020).

Zákon č. 544/2020 Sb. vkládá do zákona č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů odstavce o definici užitkové vody: „Užitkovou vodou se rozumí srážková nebo šedá voda, která je upravena a hygienicky zabezpečena. Šedou vodou se rozumí odpadní voda z umyvadel, sprch a van. Užitkovou vodu lze využít pro splachování toalet a pisoárů, praní, úklid, mytí vozidel, závlahu, vodní prvky nebo kropení komunikací. Prováděcí právní předpis určí vyžadovanou míru úpravy a hygienického zabezpečení a způsob jeho prokázání.“

Ministerstvo životního prostředí ve své tiskové zprávě z 14. 6. 2021 psalo, že do roku 2022 představí jasné parametry pro recyklaci odpadních vod, cituje slova Petra Holuba, že dosud „Pokud chtěl stavebník do své budovy začlenit některý ze systémů šetrného hospodaření s vodou, musel získat povolení krajské hygienické stanice, čímž se celý proces výstavby zdržoval. Navíc neměl jistotu kladného výsledku,“ to se mělo do roku 2022 změnit (Tiskové oddělení MŽP 2021). Kromě vložení odstavce o užitkové a šedé vodě v zákoně č. 258/2000 Sb. se zatím situace neposunula.

Přečištěnou vodu je možné recyklovat a znovu použít, není možné jí podle zákona č. 274/2001 Sb. vypouštět přímo do kanalizace, která je zakončena čistírnou odpadních vod.

Možnost nakládání s přečištěnými odpadními vodami mimo objekt vzniku se liší podle toho jestli objekt je napojen na veřejnou kanalizaci nebo ne. V případě dostupnosti veřejné kanalizace existuje povinnost vlastníka objektu se na ní napojit dle zákona č. 254/2001 Sb. a nepoužívat takovou vodu mimo objekt, kam spadá i zalévání zahrady.

V případě, že se objekt nachází mimo dosah veřejné kanalizace, existuje několik možností jak nakládat s odpadními vodami – v souladu se zákonem č. 254/2001Sb. jsou to:

- 1) Jímat a vyvážet OV na čistírnu odp. vod,
- 2) mít ČOV a upravenou vodu vypustit do povrchových vod (upravuje NV 401/2015 Sb.)
- 3) mít ČOV a upravenou vodu vypustit do vsaku (vod podzemních)
Dále je možnost například popsána u Šálka (2012):
- 4) zajistit úplný bezodtokový systém, kdy se veškerá voda recykluje a odpaří.

Podmínky pro vypouštění do vsaku – tedy do vod podzemních stanovuje NV č. 57/2016 Sb. Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních. Podle tohoto nařízení se množství odpadních vod „stanovuje podle údajů vodoměru odebrané pitné a užitkové vody nebo měřením na výstupu z čistícího zařízení.“

Avšak dle zákona 254/2001 Sb. se mohou odpadní vody čistit přímo na místě a následně vypouštět do vod povrchových nebo podzemních a pokud není možnost vypouštění do vod povrchových ale pouze do vod podzemních: „Maximální povolené množství odpadních vod vypouštěné z jedné nebo několika územně souvisejících staveb pro bydlení nesmí celkově

přesáhnout 15 m³/den.“ Zákony nerozlišují zalévání zahrady a vypouštění přečištěné odpadní vody, a tak je důležité znát zmiňované limity vypouštění odpadních vod (Plotěný 2022).

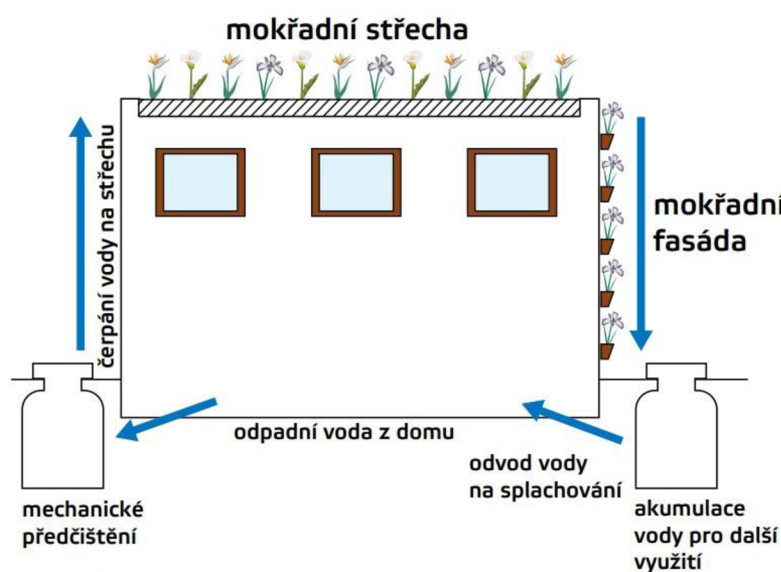
3.6 Projekty zabývající se využitím šedých vod ve vertikálním systému ozelenění fasád

3.6.1 Inspirace

Z českého prostředí je mediálně znám princip fasádních kořenových čistíren na budovách firmy Liko-s ve Slavkově u Brna (Fránek Architects n.d.).

V tomto případě se pro recyklaci využívají celkové odpadní vody (včetně vody černé). Inspiruje se v podobě kořenové čistírny s horizontálním průtokem. K čištění vody používá jak střešní, tak fasádní plochu. (Šperling 2015) Schéma čištění vody je na obrázku č. 14.

V rámci areálu jsou dvě realizace mokřadní fasády, výrobní hala Liko-Vo, realizovaná roku 2019, již předcházela pilotní projekt budovy Liko-Noe z roku 2015.



Obrázek č. 14 Schéma fasádní a střešní čistírny aplikované na projektu Liko-Noe (Šperling 2015)

Čištění vody zde probíhá jak na fasádě, tak na střeše. Mechanicky předčištěná voda se přivádí na střechu budovy, kde protéká souvrstvím materiálů, osázeným mokřadními rostlinami, horizontálně, podobně jako v KČOV. Souvrství je ale daleko nižší, na střeše 15 cm, o hmotnosti včetně vody cca 150 kg/m². Voda pokračuje do přepadu na fasádu, do soustavy nerezových kazet (obrázek č. 15), kde protéká na stejném principu. Vzhledem k nižší hloubce šterkového pole je možné tento koloběh víckrát opakovat pro dosažení cílených hodnot čištění. Po dezinfekci UV lampou je možné vodu dále v domě využít. Díky dostatečné saturaci vodou zde není potřeba vybírat druhy rostlin, které jsou odolné extrémním teplotám a letnímu suchu. (Šperling 2015)

Liko-s (n.d.) uvádí, že v zimním období je systém oteplován teplem z budovy, aby nedošlo k zámraze systému.

Stejný princip použil autor mokřadních řešení ve Slavkově M. Šperling na vlastní mokřadní střeše v Praze. Tak, jako se to dělá u kořenových čistíren, doporučuje porost jednou za rok posekat (Kadlas Blümelová 2023), ideálně začátkem jara (Šimonková I., osobní rozhovor 24. 2. 2023).



Obrázek č. 15 Schéma a realizace mokřadní fasády (Klímová 2022)

Celý systém je zajímavý především v efektivním vzájemném propojení úsporných řešení energetické bilance budovy, navíc v klimatu České republiky. Funkce chlazení a vytápění budovy je řešena v souladu s ozeleněním budov a voda protékající systémem čištění je jak odpařována, tak dále využita na zalévání nebo splachování toalet. V případě přebytků odpadních vod je systém napojen též na kanalizaci. (Plotěný 2022)

3.6.2 Pět příkladů řešení recyklace šedých vod

V následující části jsou představeny projekty využívající šedé vody, v různých typech vertikální zahrady, se zaměřením na různé otázky. Je uveden stručný popis. Veškeré informace v této části jsou parafrázovány, převzaty z odborných článků (název projektu) od autorů

uvedených v citaci. Výsledky zjištěné autory studií jsou shrnuty do tabulky v příloze č. 9. Výsledky jsou porovnány včetně odkazů na informace z předchozí části rešerše v kapitole č. 3.6.3 a následně diskutovány.

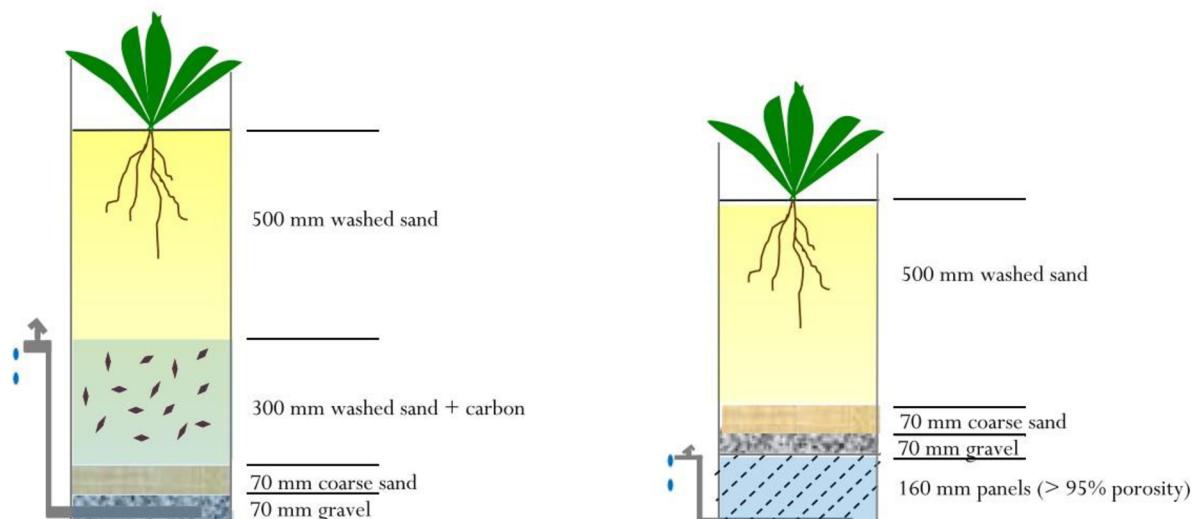
3.6.2.1 č. 1 Designing living walls for greywater treatment (Fowdar et al. 2017)

Země realizace: Austrálie

V tomto experimentu byly zkoumány možnosti použití do principu čištění šedých vod na fasádě popínavé rostliny a okrasné rostliny. Byly vybrány podle předpokladu zvládnout vodou saturované prostředí substrátu a vyšší množství živin a salinity. V projektu byly pro porovnání zahrnuty i běžné mokřadní rostliny jako *Carex appressa* a *Phragmites australis*. Rákos ale v tomto pokusu trpěl umělými podmínkami ve skleníku a navíc mšicemi, jeho nadzemní části byly suché po většinu času pokusu, takže jeho výsledky nejsou hodnotné.

Ve způsobu řešení se experiment inspiroje biofiltry (vertikálními filtry) používanými na dešťovou vodu (Payne et al. 2015). V laboratorních podmínkách bylo pozorováno 70 experimentálních válců naplněných substrátem ve dvou variantách podle obrázku č. 15, varianta vlevo dle Payne et al. (2015) má vyšší podíl vodou saturované zóny oproti inovovanému designu (vpravo).

| Použité rostliny: | popínavé: | vzpřímeně rostoucí: |
|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| | 1 <i>Vitis vinifera</i> | 5 <i>Strelitzia nicolai</i> |
| | 2 <i>Parthenocissus tricuspidata</i> | 6 <i>Phormium spp.</i> |
| | 3 <i>Pandorea jasminoides</i> | 7 <i>Canna indica</i> |
| | 4 <i>Billardiera scandens</i> | 8 <i>Strelitzia reginae</i> |
| | | 9 <i>Lonicera japonica</i> |
| | | 10 <i>Carex appressa</i> |
| | | 11 <i>Phragmites australis</i> |

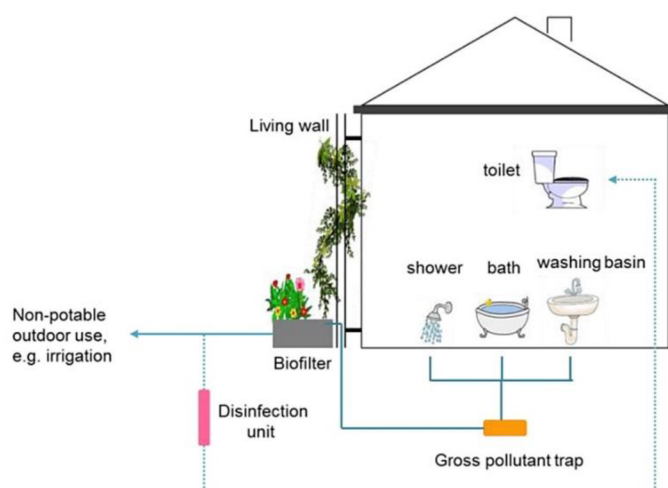


Obrázek č. 16 Válce inspirované biofiltry se standardní zónou saturace vodou (vlevo) - všechny rostliny a b) inovovaná verze (vpravo) – rostliny 1, 8, 10 (Fowdar et al. 2017)

Válce z PVC trubek měly průměr 240 mm, výška koresponduje se součtem výšek filtračních zón (94 cm u prvního typu, 80 cm u druhého typu) viz Obrázek 16.

Od každé varianty bylo pozorováno pět kusů. Do každého válce byla zasazena jedna samostatná rostlina a měla čas 4 měsíců na uchycení a prokořenění, kdy byla zalévána kohoutkovou vodou a hnojena.

V experimentu pak byly válce zalévány uměle namíchanou šedou vodou podle receptu Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO, Australia). Výzkum se šedou vodou trval jeden rok (5x týdně 5 l zálivka) v rámci něj byly i časy s omezenou zálivkou a zálivkou s dvojitou dávkou znečištění.



Obrázek č. 17 vlevo: Zelená fasáda v kampusu univerzity Monash, vpravo: Koncept pro využití v praxi (Fowdar et al. 2017)

Obrázek č. 17 znázorňuje inspiraci autorů pro využití a schéma zamýšlené cirkulace v praxi. I když jsou v experimentu rostliny pěstovány samostatně ve válcích, je předpoklad, že realizace by byla jednotná ve větší ploše s více zapojenými rostlinami. Experiment byl realizován ve skleníku.

3.6.2.2 č. 2 Green wall height and design optimisation for effective greywater pollution (Prodanovic et al. 2020)

Země realizace: Austrálie

Ačkoliv se pro vertikální zahrady používá mnoho konstrukčních řešení, Prodanovitch (2020) uvádí, že pouze ta modulární – kontejnerová – obsahující dost pěstebního média, jako základní podmínky čištění vody, je vyhovující pro systém čištění šedých vod z důvodu dostatečného objemu pěstebního média.

Experiment využívá typ modulárního uspořádání: zkouší se dva typy – blokové (válcové) - více rostlin (tři) v jedné větší nádobě a hrnkové – jedna rostlina v jedné nádobě. Průtočná zálivka je v obou případech tři rostlin nebo tři květináčů nad sebou.

Studie č. 1: Byly porovnávány dva typy systémů – květináčový a blokový ve tvaru válce.

Květináčový systém, v němž je každá rostlina samostatně v nádobě je komerčně prodáván systém Gro-wall® 4. Jednotlivé květináče jsou asi 15 cm vysoké, dohromady 45 cm, celkový objem 18 l. Válcový systém byl vyroben pro účely pokusu, viz obrázek č. 18, tři rostliny zasazené nad sebou v otvorech válce o objemu srovnatelném se součtem objemů květináčů tedy 18l.

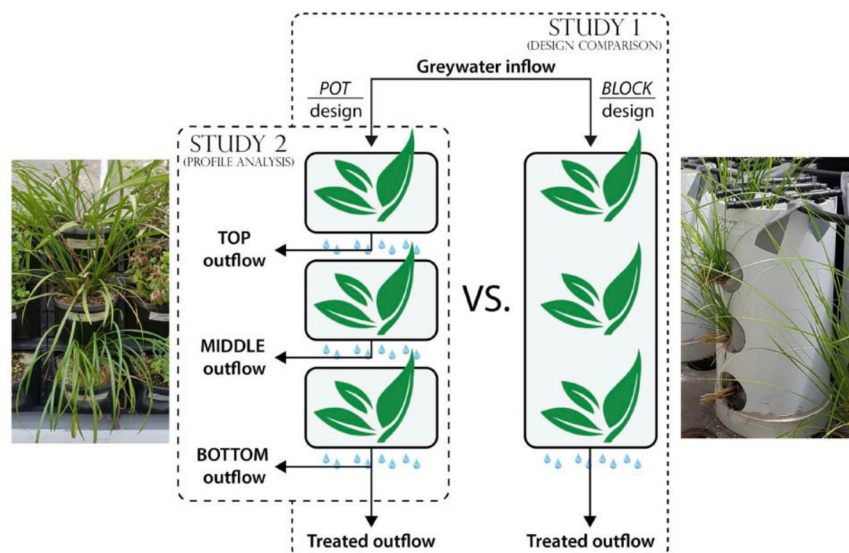


Fig. 1. Visualisation of the two studies conducted with the images of the real systems, and showing water quality sampling points for both studies.

Obrázek č. 18 Vizualizace a realizace dvou studií systému květináčového a blokového (Prodanovic et al. 2020)

Substrát: v obou formách byl 1:2 perlit a kokosové vlákno. Využitá rostlina: *Carex appressa*.

Studie se konala v otevřeném skleníku, kde byly podmínky venkovního prostředí (Melbourn, Austrálie), ale chráněné proti dešti. Pro experiment byla namíchána speciální obdoba šedé vody, zaměřená na měření: nerozpuštěných látek, CHSK, celkový dusík, celkový fosfor, *Escherichia coli*.

Denně byly systémy zalévány 4 l vody po dobu 30 minut, kapkovou závlahou (tedy 8 l/h). Dvě zelené stěny byly testovány současně, kvůli stejným podmínkám. První dva měsíce byly systémy zalévány pitnou vodou obohacenou o hnojivo, aby se rostliny dobře zakořenily. Následoval celý rok studie, kdy se zalévalo umělou světle šedou vodou. V rámci experimentu bylo i období 14 dnů testování schopnosti vydržet sucho.

Studie č. 2: Výšková optimalizace pro vertikální systém čištění vod.

Využila typ systému květináčový (pot): vždy 5 stejných osazených a 4 opakování příkladu neosazených - čistě substrátních objektů. Opět je test prováděn na soustavě tří rostlin nad sebou.

Druhá studie probíhala tři dny a stejně jako ve studii č. 1 využívala 4 l šedé vody denně. Celý objem zálivky byl použit na horním patře, veškerý výtok z této úrovně byl odebrán a z toho 1 l použit na analýzu, zbylá tekutina použita na zálivku nižších úrovní. Druhý den pokusu se odebrala voda z 2. patra a třetí den ze spodního.

Médium: perlit a kokosové vlákno 1:2.

Využitá rostliny: *Carex appressa*, *Nephrolepis obliterata*, *Liriope muscari* a jedna u níž se předpokládá menší schopnost odstraňovat polutanty – *Ophiopogon japonicus*.

3.6.2.3 č. 3 Assessing water retention and correlation to climate conditions of five plant species in greywater treating green walls (Prodanovic et al. 2019)

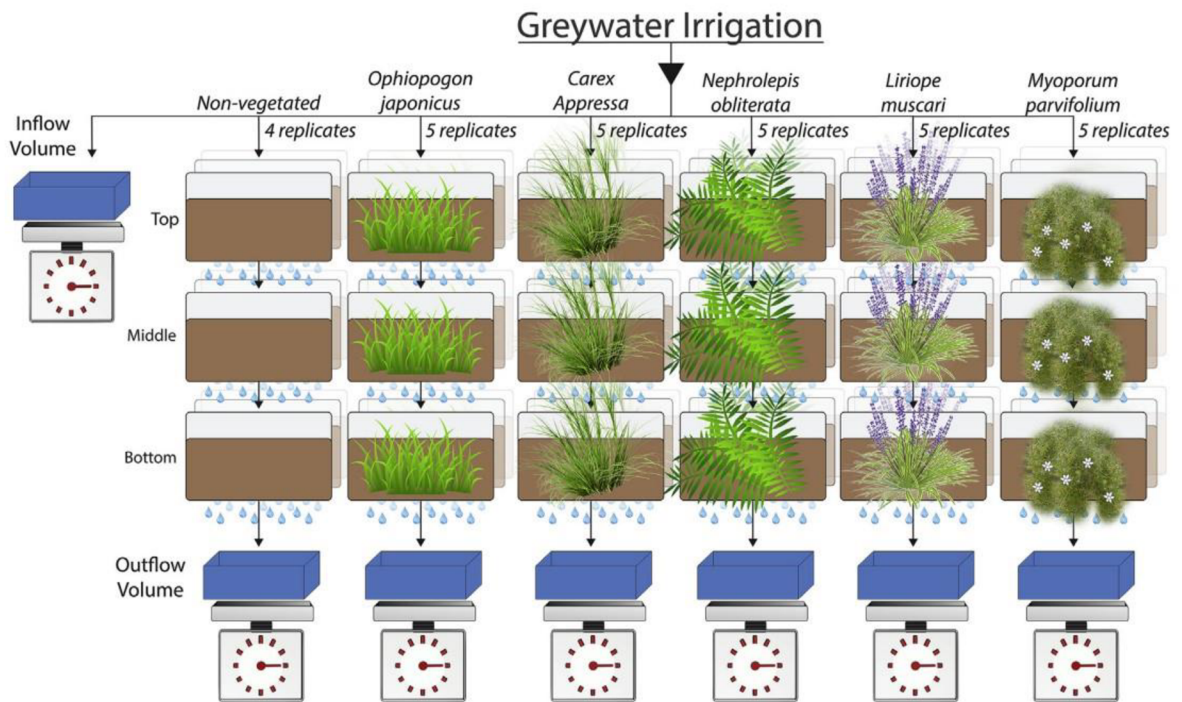
Země realizace: Austrálie

Byly sestaveny dvě konstrukce vysoké 2,5 m, využívající komerčně dostupný systém Growall® 4. Jednotlivé květináče o velikosti 20 cm šířka, 20 cm hloubka, 15 cm výška (6 l), byly osázeny vždy jednou rostlinou. Pro dosažení stejných podmínek ve všech květináčích byl použit systém se šesti kapkovači pro zálivku přivádějící 8 l/h ke každému nejvrchnějšímu květináči, odkud skrz dírky ve dně květináče voda kape postupně do dalších pater až je na konci sbírána pro měření. Experiment se konal v otevřeném skleníku bránícím před deštěm, s teplotou mezi 44°C a 2°C. systémy byly umístěny s orientací na západ. Experiment probíhal po dobu jednoho roku.

Substrát se skládal z: perlitu a kokosového vlákna (1:2)

Bylo zkoumáno 5 druhů rostlin: *Ophiopogon japonicus*, *Carex appressa*, *Nephrolepis obliterata*, *Liriope muscari*, *Myoporum parvifolium*, vybraných na základě předpokladu ke

zvládnání mimořádných podmínek v systémech čistících šedou vodu. Vedle osázených květináčů byl porovnán i typ bez vegetace. Každý druh rostliny byl v pěti provedeních a neosázený čtyřikrát, viz obrázek č. 19.



Obrázek č. 19 Grafické znázornění experimentu č. 3 (Prodanovic et al. 2019)

Zalévání probíhalo pět dní v týdnu, 4 l/30 min denně uměle vytvořenou světle šedou vodou. (přepočítáno autory na m² na 30 l/m²)

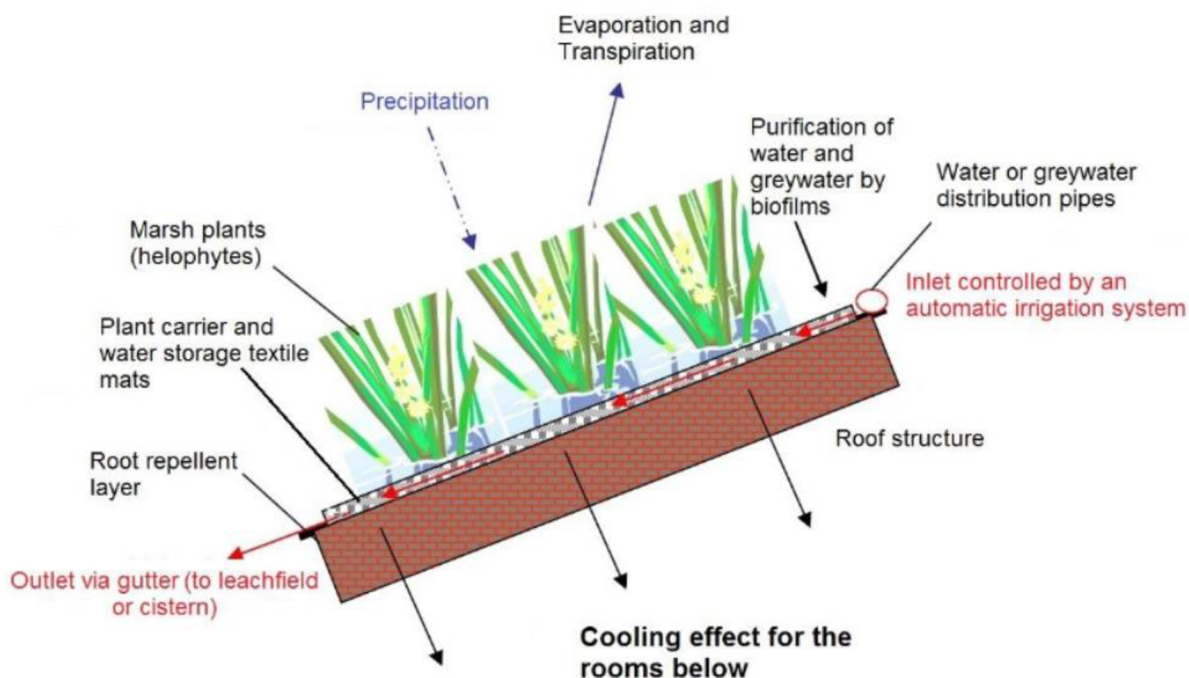
Byla testována rychlost exfiltrace vzhledem k možnému zanášení systému, a v porovnání mezi počátečním stavem a stavem po osmi měsících nebyla pozorována změna.

Dvě metody měření vodní bilance byly porovnány: metoda vážení (zvážení každého jednotlivého květináče před a po zalití) a metoda objemová (změření objemu před a po protečení systémem). Vzhledem k tomu, že byly problémy s fungováním kapkovačů, některá měření objemu byla vyřazena. A metoda vážení byla autory shledána jako spolehlivější.

3.6.2.4 č. 4a Wetland roofs – a multifunctional green roof type -Basics and perspectives from engineering practice (Blumberg 2020)

Mokřadní střechy ve svém pojetí představil M. Blumberg na konferenci Closed Cycles and the CircularSociety Symposium, Wädenswil, ve Švýcarsku, 2020

Blumberg zde představil verzi mokřadní střechy, zavlažovanou dešťovou nebo šedou vodou. Zpravidla dešťová voda ze střechy a blízkého okolí (zpevněné plochy) je shromažďována v retenční nádrži a několikrát denně přečerpávána na mokřadní střechu. Většina vody je vypařena evapotranspirací a přebytek je sveden zpět do nádrže. Struktura a funkce systému je zobrazena na obrázku č. 20.



Obrázek č. 20 Grafické znázornění mokřadní střechy (Blumberg 2020)

Systém se vyznačuje relativně nízkou hmotností, protože neobsahuje minerální substrát, ale využívá textilní pěstební matraci viz obrázek č 21.

Systém může fungovat na vodorovné i mírně šikmé střeše, v případě vodorovné je možné nastavit míru zaplavení podle limitů statiky budovy a část vody může být zadržována přímo na střeše, což dovolí umístění menší retenční nádrže. Limity systému autor vidí v možném vyschnutí v případě výpadku závlahy (pokud není dosažena vysoká retence na vodorovné střeše) a nutností předpěstovat textilní rohož jeden rok před instalací. Autor nedoporučuje střechu sekat, pouze hlídat dřevité nálety.

Pilotní projekt na využití šedé vody popisuje následující článek:

3.6.2.5 č. 4b Helophyte mats (wetland roofs) with high evapotranspiration rates as a tool for decentralised rainwater management – process stability improved by simultaneous greywater treatment (Zehnsdorf et al. 2019)

Země realizace: Německo

Ačkoliv je rohož primárně určena k zavlažování dešťovou vodou, bylo též vyzkoušeno, jak by tento typ mokřadní střechy obstál při použití šedé vody v případě, že by nastalo dlouhodobější sucho a šedá voda by mohla sloužit jako náhradní zdroj vody dešťové.

Použitá retenční rohož je *Repotex D*, vyráběná v Německu, je z polyethersulfonu, 4,35 m dlouhá a 1,1 m široká s retenční kapacitou 8,5 l/m² bez osázení. Rohož byla osázena rostlinami: ostřice ostrá (*Carex acutiformis*), sítina sivá, (*Juncus inflexus*), sítina rozkladitá (*Juncus effusus*), ostřice pobřežní (*Carex riparia*), kyprej vrstice (*Lythrum salicaria*).

Po prokořenění měla kořenová rohož tloušťku v průměru 11 cm. Šedou vodou byla voda z koupelny a kuchyně z domu obývaným čtyřmi osobami. Voda byla přiváděna PVC trubkou s deseti otvory o průměru 3 mm po dobu 40 min každé čtyři hodiny. Zavlažování v rámci experimentu probíhalo od konce dubna do začátku července 2015. Během doby bylo hydraulické zatížení zvýšeno z 10 l/m²/d na 20 l/m²/d.



Obrázek č. 21 Wetland roof - textilní rohož (Blumberg 2020)

3.6.2.6 č. 5 Novel vertical ecosystem for sustainable water treatment and reuse in tourist resorts (Gattringer et al. 2016)

Země realizace: Španělsko

Autoři v článku popisují pilotní fungování produktu The Vertical Ecosystem (VertECO) ve španělském hotelu. Uvádějí, že průměrná spotřeba vody hostů ve španělských hotelech je 222 l/den. Turistické oblasti bývají nejvytíženější v době největšího sucha a je tedy nasnadě hledat řešení pro snížení spotřeby.

VertECO je typ umělého mokřadu s kaskádovitou dispozicí čtyř pater koryt s podpovrchovým tokem umístěným v interiéru. Patra jsou vzájemně propojena potrubím, kterým vtéká čištěná voda díky gravitaci z jednoho do druhého. V rámci testování bylo přiváděno 1 m³/den šedé vody z hostinských pokojů, ze sprch a umyvadel. Pro podporu aerobního prostředí je celý systém permanentně okysličován perforovanou trubicí na dně koryta. Filtračním materiálem (a zároveň pěstebním substrátem) je keramzit, jeho celkový objem činí 2 m³. Půdorysně je celá jednotka 5 m dlouhá, 1,5 m široká a 2,5 m vysoká. Realizace je zobrazena na obr č. 22.



Obrázek č. 22 Systém VertECO ve španělském hotelu, (Gattringer et al. 2016)

Šedá voda je ze zdrojů čerpána do provzdušňovací nádrže na předčištění a odtud je v pravidelných intervalech čerpána do VertECO systému, v množství 1 m³/d.

Byla provedena analýza LCA (Life Cycle Assessment – posouzení životního cyklu).

3.6.3 Porovnání výsledků:

Prezentované projekty spojuje snaha využít vertikální zeleň k čištění šedé vody. Každý projekt se na téma dívá z jiné perspektivy. Některé vycházejí z principu vertikální zeleně a aplikují šedou vodu do zavedených komerčně dostupných konstrukcí (č. 2, 3), jiné se inspiřují v KČOV a vychází z principů přírodního čištění (č. 1, 5). Uveden je i projekt řešící mokřadní střechu (č. 4), využívající pro zakořenění textilií, podobně jako některé systémy ozelenění fasád.

Substrát:

Typu řešení odpovídá výběr substrátu. Projekty č. 2 a 3 využívají pěstební substrát, perlit a kokosové vlákno, což se v experimentu projevuje zbarvením vody na odtoku. Čím větším množstvím květináčů (nebo větším množstvím substrátu) voda prochází, tím větší má substrát vliv na změnu barvy, obsah solí a pH na odtoku (Prodanovic et al. 2020). Projekt inspirovaný biofiltry (č. 1) využívá vícevrstevnatý minerální substrát. Projekt VertECO inspirovaný KČOV (č. 5) nahrazuje štěrk používaný ve vegetačních čistírnách kamenivem typu keramzit. Autoři experimentu inspirovaného biofiltry (č. 1) uznávají, že změna substrátu za jiný s lepšími adsorpčními schopnostmi by mohla pomoci lepšímu odstraňování fosforu (Fowdar et al. 2017).

Typ průtoku šedé vody:

Vertikální průtok podporuje nitrifikační procesy díky přerušovaným dávkám šedé vody a z hlediska odstraňování dusíku se jako nejideálnější jeví projekt č. 1, mající jak aerobní tak anaerobní zónu, díky stále zatopené spodní vrstvě biofiltru (Fowdar et al. 2017). Stále saturovaná zóna (č. 1) též funguje jako záložní zdroj vláhy pro rostliny v době případného výpadku dodávek vody (Fowdar et al. 2017). To lze přisuzovat i projektu č. 5.

Horizontální podpovrchový tok využívá systém VertECO (č. 5), kde je přidán aerační komponent. Míra aerace je však naddimenzovaná a jak autoři sami uvádějí, je to pravděpodobně důvod vysokých hodnot NO_3^- , kvůli probíhající nitrifikaci na odtoku, protože systém nepodporuje denitrifikaci (Zehnsdorf et al. 2019).

Autoři v projektu č. 3 dokazují slova Buriana (2022) o problematice kapkové závlahy, když připouští, že často nefungoval plný počet kapkovačů a bylo tak ovlivněno měření vodní bilance (Prodanovic et al. 2019).

Reakce na dobu sucha:

Nejvíce náchylné na vyschnutí jsou řešení bez či s malou retencí vody (č. 2, 3, 4).

Konkrétní případ druhého projektu (č. 2), kde je srovnáno květináčové a blokové pěstování tří rostlin nad sebou, rostoucích odděleně nebo v jednom bloku média, ukazuje, že pomalejší výpar blokového typu má pozitivní vliv na odstraňování N, CHSK a nerozpuštěných látek. Naopak rychleji vysychající květináče zde ukázaly lepší odběr fosforu (Prodanovic et al. 2020).

Rozložení živin v systému:

Ve studii řešící rozdíly v počtu nádob, kterými voda protéká (č. 3) se projevilo, že k největšímu zadržování většiny látek dochází v horním květináči při nátoce šedé vody. Platí to pro CHSK, nerozpuštěné látky, fosfor a zákal (Prodanovic et al. 2019). Naopak tomu bylo v případě pH, které mírně rostlo, elektrické vodivosti (salinitu) a barvy.

Míra živin, ale i vláhy a oslunění, se projevila na nárůstu biomasy, kdy rostliny v horním patře byly silnější než rostliny ve spodním patře (Prodanovic et al. 2019). Výkonnost spodního patra se příliš nelišila u vzorků s a bez vegetace, neboť do něj natékala již do velké míry přečištěná voda (Prodanovic et al. 2019). Stejný projev nižšího přísunu živin dál od zdroje se ukázal na šikmé střeše (Zehnsdorf et al. 2019). Takový problém nemusí řešit experiment č. 1

inspirovaný biofiltry, kde voda protéká vertikálně jen jedním, vysokým patrem a živiny jsou rostlinám dávkovány rovnoměrně.

Změna koncentrace živin:

Zatímco delší doba bez závlivky měla na odstraňování látek velký vliv (i když nejvýraznější propad byl u substrátů bez vegetace), zkouška změn koncentrace živin (č. 2) se na testech s vegetací projevovala jen nepatrně a osázené nádoby prokázaly dobrou schopnost adaptovat se na změny koncentrace (Prodanovic et al. 2020) a potvrzují tak vyjádření Vymazala (1995) o kořenových čistírnách. Skokový nárůst koncentrace vody na mokřadní střeše měl naopak výrazný vliv na míru CHSK na odtoku (Zehnsdorf et al. 2019).

Fosfor:

Odběr fosforu byl výrazně lepší u vzorků s vegetací než bez ní (Prodanovic et al. 2020) a celkově horší než odběr dusíku (Fowdar et al. 2017). V odstraňování fosforu se v projektu inspirovaným biofiltry (č. 1) ukázala *Carex appressa* jako nejvýkonnější (Fowdar et al. 2017), což potvrzuje i studie č. 2 (Prodanovic et al. 2020). V prvním projektu se projevil vliv hydraulického zatížení, kde nižší zatížení mělo pozitivní vliv na odstraňování fosforu (Fowdar et al. 2017). To by odpovídalo projektu č. 2, kde rychleji vysychající květináče měly též lepší odběr fosforu (Prodanovic et al. 2020).

Dusík:

Lepší výsledky dusíku byly dosaženy u vzorků s vegetací než bez (č. 1, 2) (Fowdar et al. 2017; Prodanovic et al. 2020) a výrazný pokles byl zaznamenán kvůli vyschnutí květináčového typu bez vegetace v experimentu č. 2 (Prodanovic et al. 2020). Nejlepších výsledků dosáhla v prvním i druhém projektu *Carex appressa*, coby zástupce typických mokřadních rostlin.

Zajímavou shodu zaznamenaly projekty ohledně postupné přeměny dusíku. Experimenty č. 1 a 2 jmenují za určující v odběru NO_x vliv rostlin. V č. 1 je nízký odběr NO_x přisuzován rychlému odběru organických látek v aerobní zóně. To znamená, že nezbyde dost na mikroorganismy v anaerobní zóně, což ovlivňuje jejich malou aktivitu při denitrifikaci (Fowdar et al. 2017). V druhém případě mikrobiální přeměna amoniaku na NO_x ve vzorcích bez vegetace sice proběhla, ale NO_x se bez odběru rostlinami akumuluje (Prodanovic et al. 2020). Zvýšené hodnoty NO_3^- vykazuje i projekt č. 5, kde to autoři vysvětlují mírou aerace – došlo k nitrifikaci, ale zároveň nízkému procesu denitrifikace.

Změny teplot:

Změny teplot neměly vliv na odstraňování fosforu, naopak potvrdily velký vliv na mikrobiální procesy a tedy odstraňování dusíku (Prodanovic et al. 2020). To potvrzuje proces odstraňování dusíku (Cronk & Fennessy 2001) zmiňovaný v kapitole č. 3.5.3.

E.coli:

Projekt č. 2 potvrzuje studii citovanou v kapitole č. 3.4.3 (Chandrasena et al. 2014) o vlivu rostlin na odstraňování mikrobiálních patogenů typu *E. coli*. A to v rozdílných výkonech mezi jednotlivými druhy, i když překvapivě proti výsledkům Chandrasena et al. (2014) měl dobré výsledky i vzorek bez vegetace. Pokud *C. appressa* měla dobré výsledky ve studii č. 2.,

koreluje to se studií č. 1, kde *C. appressa* ukázala nejnižší rychlost infiltrace, o čemž vypovídá zmiňovaný experiment (Chandrasena et al. 2014) z kapitoly 3.4.3.

Evapotranspirace (ET):

Poměry ET se zabývala studie č. 3. Nejvyššího odběru dosahovala průměrně *Carex appressa*, 4,3 l/m², přičemž bylo zjištěno, že evaporace má na ET v zimě podíl 42-83% a v létě 35-50% (Prodanovic et al. 2019).

4 Diskuze

Každý z uvedených projektů řeší trochu jinou otázku, od odběru živin, přes míru evapotranspirace, po reakce na změny provozních podmínek.

Jejich výsledky potvrzují informace o procesech čištění vody z teoretické části rešerše. Taková srovnání jsou uvedena u konkrétních výsledků v jejich porovnání.

Ačkoliv jsou experimenty realizovány v jiných klimatických podmínkách, dají se mnohé výsledky předpokládat se stejnou tendencí i pro naše klima. Například potvrzení, že typické mokřadní rostliny jako je ostřice (*Carex*) mají skutečně větší potenciál k odběru látek i vody. Jak ale ukazuje např. studie č. 1, i jiné druhy rostlin předvedly dobré výsledky a zároveň minimální výkyvy: *Canna indica*, *Lonicera japonica*, *Vitis vinifera*, nebo ze studie č. 2 *Nephrolepis obliterata*.

Pokud se zvolí systém, kde voda protéká více úrovněmi, je dobré počítat s větším přísunem živin a vody (i sluneční energie) pro horní patro a uzpůsobit tomu skladbu rostlin a pro místa spodní, zastíněná, mohou být využity méně výkonné rostliny, které však dobře snáší přistínění, podobně jako *Ophiopogon japonicus* ve studii č. 3.

Míra oslunění v případě dostatečné dostupnosti vody ovlivňuje míru evapotranspirace (viz kapitola č. 3.3.3), zároveň má vliv na nárůst biomasy, a to má pozitivní vliv na odběr živin. S těmito předpoklady se dá odhadovat vyšší či nižší výkonnost konkrétních realizací.

Jestli se studie inspirojí spíše vertikální zahradou nebo kořenovou čistírnou, se projevuje jak v konstrukčním řešení, tak ve výběru substrátu. Například kombinace perlit, kokosové vlákno (1 : 2) je pro čištění vody netypickým řešením, neboť organická část časem degraduje a může naopak látky uvolňovat.

Princip mokřadní střechy, kde rostliny rostou v plastové textilií, sice autorům dokázal schopnost fungovat 2,5 měsíce s přísunem šedé vody, avšak tento čas neukazuje, jak by se systém choval po dlouhodobějším provozu. Autoři sami projekt chápou pouze jako možné náhradní řešení v případě nedostatku dešťové vody, otázkou pak je ekonomičnost takového náhradního řešení.

Vzhledem k přísným pravidlům na manipulaci s přečištěnými odpadními vodami postřikem (ČSN 75 7143 1992) jsou ta řešení, kde je vhodnější možností aplikovat podpovrchový tok (č. 1, 5).

Oba případy (č. 1, 5) také umožňují pěstování rostlin zapojených do větší plochy společně a dávají jim tak větší možnost se vzájemně ovlivňovat a vyvíjet se přirozeněji, než v případě jednotlivých květináčů, viz (Gerych 2022) kapitola č. 3.2.2. Volné prokořenění umožňuje i případ střešního řešení (č. 4), avšak ze studie není jasné, jak dlouhou životnost tento systém má. Vzhledem k tomu, že autoři (č. 4a) vysloveně nedoporučují sekání porostu, dá se předpokládat postupný nárůst opadané biomasy, která bude mít nežádoucí vliv na uvolňování živin.

Takové výsledky zdůrazňují fakt, že odstraňování dusíku je komplikovaný proces a je nutné se dívat na veškeré jeho aspekty současně. Přítomnost jak aerobního tak anaerobního prostředí v č. 1 je dobrým řešením.

Schopnost dosáhnout relativně dobrých hodnot na odtoku mají všechny typy, i když k tomu každý vyžaduje jinou velikost plochy fasády (střechy). Dosažené výsledky jsou shrnuty v příloze č. 10. Požadavky na BSK dle normy ČSN 75 6780 (2021) by splnily projekty č. 1 a 5.

Princip použitý na mokřadních fasádách ve Slavkově je důmyslný v tom, že je zároveň napojený na kanalizaci. V případě mokřadní střechy v Praze se její autor zmiňuje i o připojení pitné vody v akumulační nádrži za čistírnou pro případy, kdy je výpar větší než potřeba užitkové vody v domě (Kadlas Blümelová 2023). To se ukazuje v rozdílných hodnotách odpařování během roku a vzhledem ke klimatickým podmínkám i k možnému zamrznutí jako bezpečné řešení. Dimenzování akumulace šedé vody by mělo počítat s nejvyššími letními odběry díky evapotranspiraci, tak, aby nebylo nutné do systému dopouštět vodu pitnou, i když mít možnost přepojení je samozřejmě výhodou. V případě, že je zimní odběr nižší nebo dojde k zámraze, je dobré, aby se systém přepojil rovnou na odtok do kanalizace ještě před fasádou.

Ačkoliv Vymazal (2013) uvádí, že není velký rozdíl mezi KČOV s cílenou vegetací a „plevelem“ v čištění vody (porovnané výsledky pro BSK, CHSK, NL, N-NH₄), jinde v rámci eliminace mikrobiálních patogenů píše o rozdílech mezi výsledky různých druhů rostlin (Vymazal 2005). Protože limity pro recyklaci vody stojí na hygienické bezpečnosti (ČSN 75 6780 2021), vyplývá z toho určitý smysl zabývat se výběrem rostlin a typem řešení právě na základě schopnosti odstraňovat mikrobiální patogeny a je škoda, že u většiny výsledků analýza mikrobiálního znečištění chybí.

Nejzásadnějším však je, aby se rostlinám, ať už jakýmkoliv, v systému dařilo a podporovaly tak práci mikroorganismů, jež mají na čištění největší podíl.

Vzhledem k obsahu nerozpuštěných látek i po předchozí usazovací fázi, by měl systém vycházet z jakosti vody a tomu přizpůsobit princip zavlažování.

Nutností přečerpávat vodu do výšky sice mokřadní fasáda ztrácí benefit horizontální kořenové čistírny, jež může fungovat bez potřeby elektrické energie, jen díky gravitaci. Nabízí však umístění systému čištění vody do vertikální plochy s malým půdorysem a tedy i do hustě zastavěných městských čtvrtí.

Existuje více systémů pro čištění šedých vod, např. „pískové filtry, reaktory s pevným filmem, rotační biologické reaktory, membránové bioreaktory, sekvenační vsádkové reaktory...“ (Fowdar et al. 2017), ale využití mokřadních fasád nabízí mnoho dalších benefitů v podobě ekosystémových služeb popsanych v kapitole č. 3.2.4, které nelze opomíjet.

Výhody a nevýhody jednotlivých řešení a výběru rostlin je nutné posoudit pro každou zamýšlenou realizaci zvlášť s ohledem na konstrukční, expoziční parametry budovy, tak na účel použití recyklované vody, jestli je cílený efekt klimatizační nebo recyklační.

Například v rámci dimenzování objemu akumulace surové šedé vody a přečištěné šedé vody by se měl započítat i faktor evapotranspirace, vysvětlený v kapitole č. 3.3.3. Vzhledem

k tomu, že některé mokřadní rostliny mají výkon transpirace vyšší než jiné (příloha č. 9), dalo by se s tímto vědomím pracovat i ve skladbě rostlin, v návaznosti na sluneční expozici budovy a cílený efekt, jestliže je prioritou co největší retence přečištěné vody nebo je hlavním cílem klimatizační efekt.

S ohledem na terminologii, popisovanou v začátku práce, je patrné, že nelze všechny systémy vertikálních zahrad čistících vodu nazývat „mokřadní fasádou“. Tak jako se odvozuje definice mokřadu od rostlin v něm schopných přežít, je logické nechat název „mokřadní“ pouze pro ty, které skutečně upřednostňují mokřadní rostliny a zadruhé mají zónu saturovanou vodou, jež má na průběh čištění velký vliv. Díky vlastnostem a schopnostem těchto rostlin se dá očekávat lepší výkon systému jak v oblasti čištění vod, tak ve funkci klimatizační. Porovnání vybraných projektů potvrzuje, že řešení inspirovaná v KČOV dosahují nejlepších výsledků.

Míra znečištění šedé vody se v literatuře často kompiluje z mnoha zdrojů z celého světa, neboť každá studie se zaměřuje na trochu jiný rozsah polutantů. A tak jejich hodnoty odkazují na různé životní styly a podmínky. Bylo by dobré mít domácí statistiky odrážející situaci v České republice.

Závěry usuzované ze znečištění se v různé literatuře rozbíhají. Kromě různých životních podmínek obyvatel je to též proto, že autoři v rámci daného posuzování vkládají úvahu o vhodnosti znovupoužití šedé vody do odstavce řešícího pouze jeden parametr. Tak například Raček (2016) v odstavci o CHSK a BSK píše, že voda z kuchyní obsahuje daleko vyšší koncentrace BSK a CHSK než voda z umyvadel, sprch a van, a proto podle něj lze vodu rozdělit na vhodnou a podmíněně vhodnou k recyklaci, podobně jako Šálek et al. (2012). Vhodná je podle něj ta z koupelen. Avšak Friedler (2004) ve své studii upozorňuje na relativně vysoký podíl koliformních bakterií právě ve vodách osobní hygieny a nastavuje otázku, ke kterému zdroji pro recyklaci se přiklonit.

V tomto ohledu se jeho přehled zdrojů znečištění v příloze č. 7 jeví jako vhodná inspirace pro zvážení individuálního návrhu. Pro biologické čištění je důležitý poměr CHSK a BSK (Khanam & Patidar 2022) a výběr zdrojů by na to mohl brát ohled. Upřednostňování světle šedých vod k recyklaci (viz zákon č. 258/2000 Sb.) nedává smysl, když jsme na vysoké úrovni schopni čistit i vody splaškové.

V tu chvíli se nabízí otázka proč vůbec recyklovat pouze vody šedé. Odpověď zde leží zaprvé v množství vody upotřebitelné k recyklaci, viz kapitola č. 3.5.2 (Friedler 2004), zadruhé v možnosti využívat zároveň odpadní teplo, kdy vody šedé nabízejí vyšší stupně teploty než celkové vody splaškové (Bartoník et al. 2012).

4.1 Problematika legislativního neukotvení pojmu šedé vody

Zásadním problémem v české legislativě je fakt, že pojem šedé vody není v právních dokumentech nijak ustálen (Bartáček et al. 2021) a zákon č. 254/2001 Sb. tzv. Vodní zákon termín šedá voda vůbec nezmiňuje a hovoří pouze o nakládání s odpadními vodami.

V obecném povědomí poučené a odborné veřejnosti jsou vesměs šedé vody v souladu s normou ČSN EN 16941-2 jako „splaškové (domovní) odpadní vody kromě odpadních vod z WC a pisoárů“. Zdánlivá shodnost s definicí ČSN EN 12056-2 (2001) splaškové odpadní vody neobsahující fekálie a moč“ je zavádějící. I šedé vody malé procento takových nečistot obsahují, uvádí to např. Kožíšek et al. (2021). To může mít vliv na chápání šedých vod z hlediska hygieny.

Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví uvádí termín užitková voda, ovšem za šedou vodu označuje oproti technickým normám pouze vodu tzv. světle šedou.

Existuje nová metodika Ministerstva životního prostředí z 6. 1. 2023, jež vyšla v rámci Operačního programu životního prostředí – Metodický postup problematiky recyklace šedých vod v sídlech ČR, udávající pravidla pro získání dotace. Zde se výslovně uvádí, že: „Vzhledem k nejasné legislativě zatím nebude podporováno využití recyklovaných šedých vod mimo budovy (zejména na závlahu). Předpokládá se případná úprava podmínek podpory v návaznosti na změny legislativy.“ (Bartáček & Stránský 2023)

Dá se říci, že technické normy předbíhají zákony. Vzhledem k tomu, že normy samy o sobě nejsou právně závazné, je zapotřebí, aby byly jejich požadavky zahrnuty v právních předpisech.

Nejasnosti v legislativě působí jako vážně odrazující od realizace projektu recyklace šedých vod z důvodu nejasnosti dalšího směřování legislativy a možné pozdější nutnosti přepracování již hotové realizace.

Ideové směřování ke snížení spotřeby pitné vody je obsahem mnoha strategických dokumentů České republiky. (Bartáček et al. 2021). Jejich volání po rozumném hospodaření s vodou vyzní v současnosti naprázdno, dokud nejsou následovány změnou legislativy v jejich směru.

Vůle občanů k recyklaci vod je též patrná, jak ze zjištění množství objektů řešících profesionálně nebo amatérsky recyklaci vod (Kožíšek et al. 2021), tak zájem o znovuvyužití vody ukazuje např. iniciativa Kbelík vody, nabádající k zalévání šedou vodou zeleň v okolí bydlení (Kbelík vody 2019).

Z načtených zdrojů vyplývá, že zpracování šedých vod se v současnosti nachází v jakési šedé zóně mezer zákonů. Je možné, ale záleží na osobním výkladu legislativy schvalovacích orgánů.

5 Závěr

Práce téma mokřadních fasád pojednala ze široka, jak si tomu předsevzala ve stanovení cílů. Jednotlivé kapitoly mají konkrétní význam pro pochopení základních faktorů ovlivňujících proces čištění vod, výběr rostlin a podobu zelených fasád k tomu určených.

Základní pojmy byly vždy v začátku kapitoly představeny v terminologii české i anglické tak, aby se například nemíchaly pojmy vertikální zeleně a vertikálního typu KČOV.

V kapitole o ozelenění fasád byly představeny používané konstrukční principy, kterými se inspirovalo pět různých projektů zabývajících se využitím šedých vod pro závlahu a čištění. Zásadním problémem vertikálních zahrad je vyřešení funkční automatické závlahy obsahující hnojiva tak, aby nedocházelo k ucpávání. To se projevilo i u popsanych projektů se šedými vodami. Vhodným řešením je tedy průtok vody většími průměry potrubí. Jsou zde též popsány ekosystémové služby vertikálních zahrad, jež dávají principu přírodního čištění vody uvnitř měst přidanou hodnotu, zejména funkci klimatizační. Princip, na kterém klimatizační efekt funguje, je dále popsán v kapitole o mokřadech.

Kapitola o mokřadech představuje definice mokřadů a na jejich základě dále vysvětluje, čím jsou rostliny mokřadů specifické. Díky pochopení principu klimatizačního efektu je možné ocenit vliv evapotranspirace vodou saturovaných zelených fasád ve městech, kterými jsou právě mokřadní fasády.

Na procesy podílející se na čištění vody má přítomnost rostlin má velký vliv. Z teorie o čištění vod vyplývá, že důležitým aspektem je přítomnost jak aerobní, tak anaerobní zóny. Zejména v odstraňování dusíku je nutné vnímat procesy jeho přeměny jako komplexní systém. Pro odstraňování fosforu je důležitý výběr substrátu.

Kapitola o šedých vodách ukazuje parametry, podle kterých se vody hodnotí. Možnost recyklace šedých vod není v České republice legislativně ukotvena, i když technické normy se tématu věnují. Nejasnost dalšího vývoje není pro projekty příznivá, i když je patrná tendence situaci zlepšit. Zásadním faktorem pro možnost recyklace je hygienická bezpečnost přečištěných vod. Parametry různých zdrojů šedých vod se liší, a ačkoliv je tendence podporovat k recyklaci pouze vody tzv. „světle šedé“, je otázkou, jestli by se neměl brát v potaz i poměr CHSK a BSK, mající vliv na proces biologického odbourávání organických látek a který u světle šedých vod není ideální.

Vzhledem k tomu, že limity určující možnost recyklace jsou založené hlavně na hygienickém aspektu, jsou poznatky o odstraňování mikrobiálního znečištění zásadní. Podmínky pro recyklaci stanovují nutnost dezinfekce (např UV záření), ale je možné podpořit čistící efekt i jinak, jak popisuje kapitola č. 3.4.3. Podstatné jsou faktory hydraulického zatížení, přítomnost jak aerobní tak i anaerobní zóny a rychlost infiltrace, ovlivněná například typem kořenů zvolených rostlin. (Vymazal 2005; Chandrasena et al. 2014).

Ze studie Kožíška et al. (2021) vyplývá, že v praxi nakonec není instalovaná dezinfekce vždy funkční, a tak je dobré už v konstrukčním řešení podpořit přirozené procesy odstranění mikrobů, zvláště když účinnost v umělých mokřadech dle Vymazala (2005) dosahuje vysokých hodnot.

Vybrané příklady využívání šedé vody ve vertikálním způsobu ozelenění budov dokazují, že mokřadní rostliny použité v systému mají opravdu nejlepší výsledky v účinnosti čištění. Dále se zde potvrzuje, že kapková závlaha není ideálním řešením, že velikost systému, kterým protéká voda má vliv jak na účinnost čištění, tak na prosperitu rostlin, a rostliny dál od zdroje mohou mít nižší nárůst biomasy. Naopak je možné volit méně výkonné rostliny do nižších, více zastíněných pater.

Tato práce ukazuje, že využití rostlin ve vertikálním systému čištění a recyklace šedých vod může být jedním z možných řešení, vhodných zejména v místech intenzivní výstavby, kde kromě funkce čištění vody má zásadní pozitivní vliv na místní klima a plní i mnoho dalších ekosystémových služeb.

Konkrétní řešení si žádá individuální přístup a tato práce by mohla být oporou pro rozhodování o budoucí realizaci čištění šedých vod ve vertikálním systému ozelenění budov.

Pro úspěšné aplikování tohoto řešení v České republice by bylo dobré zhodnotit stav realizovaných projektů v našich klimatických podmínkách a v rámci výzkumu popsat problematiku systému v zimních měsících. Vzhledem k dostupným materiálům pro literární rešerši se takovým problémem tato práce nezabývá.

6 Literatura

Addo-Bankas O, Zhao Y, Vymazal J, Yuan Y, Fu J, Wei T. 2021. Green walls: A form of constructed wetland in green buildings. *Ecological Engineering* **169**. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925857421001762> (accessed 2023-04-05).

Arden S, Ma X. 2018. Constructed wetlands for greywater recycle and reuse: A review. *Science of The Total Environment* **630**:587-599. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S004896971830617X> (accessed 2023-04-19).

ASIO. ©2023. Energie šedých vod. ASIO, Brno. Available from <https://www.asio.cz/cz/p/81.energie-sedych-vod> (accessed April 16, 2023).

Bartáček J, Dolejš J, Kabelková I, Matějů L, Stránský D, Šátková B. 2021. Studie problematiky recyklace šedých vod v sídlech ČR. Ministerstvo životního prostředí, Praha. Available from [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/prioritni_osa_6_seznam_projektu/\\$FILE/ofeu-studie_sede_vody-20210517.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/prioritni_osa_6_seznam_projektu/$FILE/ofeu-studie_sede_vody-20210517.pdf) (accessed 2023-04-16).

Bartáček J, Stránský D. 2023. Metodický postup problematiky recyklace šedých vod v sídlech ČR. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha. Available from <https://opzp.cz/dokument/3108> (accessed 2023-04-17).

Bartoník A, Holba M, Plotěný K, Palčík J. 2012. Znovuvyužití šedých a dešťových vod v budovách. ASIO, Brno. Available from <https://www.asio.cz/cz/news/znovuvyuziti-sedych-a-destovych-vod-v-budovach.94> (accessed 2023-04-16).

Blanc P, Nouvel J, Lalot V, Bruhn G. 2008. *The vertical garden: from nature to the city*. W. W. Norton & Company, New York.

Blumberg Engineers. ©2023. Wetland roofs. Ingenieurbüro Blumberg, Bovenden. Available from <https://www.blumberg-engineers.com/en/realized-projects/wetland-roofs/> (accessed 2023-04-14).

Blumberg M. 2020. Wetland roofs - a multifunctional green roof type - Basics and perspectives from engineering practice: Conference paper. in Conference: Closed Cycles and the Circular Society. Wädenswil. Available from <https://www.blumberg-engineers.com/en/realized-projects/wetland-roofs/> (accessed April 14, 2023).

Brix H. 1997. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands?. *Water Science and Technology* **35**:11-17. Elsevier. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0273122397000474> (accessed 2023-04-08).

Burian S. 2022. Ozelenění fasád: metodika. Svaz zakládání a údržby zeleně, Brno. Available from <https://www.zelenestrechy.info/metodika-ozeleneni-fasad> (accessed 2023-04-15).

Coma J, Pérez G, de Gracia A, Burés S, Urrestarazu M, Cabeza L. 2017. Vertical greenery systems for energy savings in buildings: A comparative study between green walls

and green facades. *Building and Environment* **111**:228-237. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132316304383> (accessed 2023-04-14).

Cronk J, Fennessy M. 2001. *Wetland plants: biology and ecology*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton. Available from <http://external.dandelon.com/download/attachments/dandelon/ids/DE00615C1C436B17D6E48C1257AC9003C33BF.pdf>.

Čížková H. 2006. Procesy spojené s eutrofizací mokřadů. *Živa* **2006**(5):161-168. Academia, Praha. Available from <https://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/procesy-spojene-s-eutrofizaci-mokradu.pdf> (accessed 2023-04-15).

Čížková H. 2017. Adaptace rostlin k zamokření a zaplavení. Pages 359-376 in H. Čížková, L. Vlasáková and J. Květ, editors. *Mokřady: Ekologie, ochrana a udržitelné využívání*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.

Dixon A, Butler D, Fewkes A, Robinson M. 2000. Measurement and modelling of quality changes in stored untreated grey water. *Urban Water* **1**:293-306. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1462075800000315> (accessed 2023-03-29).

Dušek J, Květ J, Vymazal J. 1998. Množství živin v porostech rákosu obecného a chrastice rákosovité na vegetačních čistírnách. Pages 13-17 in *Nové poznatky při řešení vegetačních kořenových čistíren: sborník přednášek ze semináře konaného dne 10. června 1998*. Kabinet životního prostředí při Ústavu vodního hospodářství krajiny FAST VUT v Brně, Brno.

Eriksson E, Auffarth K, Henze M, Ledin A. 2002. Characteristics of grey wastewater. *Urban Water* **4**:85-104. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1462075801000644> (accessed 2023-03-26).

Faulkner SP, Richardson CJ. 1989...cit. In: Vymazal J. 1995. *Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách*. ENVI, Třeboň.

Fowdar H, Hatt B, Breen P, Cook P, Deletic A. 2017. Designing living walls for greywater treatment. *Water Research* **110**:218-232. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135416309538> (accessed 2023-03-26).

Francis J, Rayner J. 2014. *Growing Green Guide: A guide to green roofs, walls and facades in Melbourne and Victoria, Australia*. Available from https://www.academia.edu/9857715/Growing_Green_Guide_A_guide_to_green_roofs_walls_and_facades_in_Melbourne_and_Victoria_Australia (accessed 2023-04-20).

Fránek Architects. (n.d.). *Průmyslová hala Liko-Vo*. Archiweb, s.r.o., Brno. Available from <https://www.archiweb.cz/b/prumyslova-hala-liko-vo> (accessed 2023-04-17).

Friedler E. 2004. Quality of Individual Domestic Greywater Streams and its Implication for On-Site Treatment and Reuse Possibilities. *Environmental Technology* **25**:997-1008. Available from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593330.2004.9619393> (accessed 2023-03-29).

Gattringer H, Claret A, Radtke M, Kisser J, Zraunig A, Rodriguez-Roda I, Buttiglieri G. 2016. Novel vertical ecosystem for sustainable water treatment and reuse in tourist resorts. *International Journal of Sustainable Development and Planning* **11**:263-274. Available from <http://www.witpress.com/doi/journals/SDP-V11-N3-263-274> (accessed 2023-04-11).

Gedge D. 2022. Green roofs - biodiversity and the path to carbon neutrality: Presentation presented in Konference Zelené střechy a fasády – trendy a synergie. 8. 9. 2022. Praha.

Gerych J. 2022. Rostliny jsou společenské a navzájem se podporují, říká průkopnice vertikálních zahrad v Česku Zuzana Klusová. X Production s.r.o., Brno. Available from <https://www.archspace.cz/prukopnice-vertikalnich-zahrad-v-cesku-zuzana-klusova> (accessed 2023-04-14).

Groda B, Vítěz T, Machala M, Foller J, Surýnek D, Musil J. 2007. Čištění odpadních vod jako nástroj k ochraně životního prostředí v zemědělské praxi a na venkově. Ministerstvo zemědělství ČR, Brno. Available from https://eagri.cz/public/web/file/26962/cistení_odpadnich_vod.pdf (accessed 2023-04-15).

Hejný S. 1960. Ökologische Charakteristik der wasser- und sumpfpflanzen in den Slowakischen Tiefebene (Donau- und Theissgebiet). Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, Bratislava.

Hejný S. 1998... cit. In: Schweingruber FH, Kučerová A, Adamec L, Doležal J. 2020. *Anatomic atlas of aquatic and wetland plant stems*. Springer, Cham.

Hejný S, Hejný S, Pokorný J, Květ J, Husák Š, Pecharová E. 2000. *Rostliny vod a pobřeží*. East West Publishing Company, Praha.

Husák Š, Květ J. 1998. Rostliny vhodné pro vegetační čistírny odpadních vod. Pages 49-52 in *Nové poznatky při řešení vegetačních kořenových čistíren*. Kabinet životního prostředí při Ústavu vodního hospodářství krajiny a Česká stavební společnost na FAST VUT v Brně, Brno.

Chaloupka V. 2006. *Srážkové vody a zákon o vodovodech a kanalizacích*. TZB-info. Topinfo, Praha. Available from <https://voda.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-voda-kanalizace/3757-srazkove-vody-a-zakon-o-vodovodech-a-kanalizacich> (accessed 2023-04-16).

Chandrasena G, Pham T, Payne E, Deletic A, McCarthy D. 2014. E. coli removal in laboratory scale stormwater biofilters: Influence of vegetation and submerged zone. *Journal of Hydrology* **519**:814-822. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169414006131> (accessed 2023-04-12).

Kadlas Blümelová K. 2023. Mokřadní záhon na střeše. *Zahrada Park Krajina* **33**:34-37. Společnost pro zahradní a krajinářskou architekturu, Praha.

Kbelík vody. 2019. *Kbelík vody. Kbelík vody do přírody*. Available from <https://kbelik-vody0.webnode.cz/kbelik-vody-do-prirody/> (accessed 2023-04-16).

Keddy PA. 2000... cit. In: Květ J, Čížková H. 2017. Definice mokřadů. 27-32 in Mokřady: ekologie, ochrana a udržitelné využívání. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.

Khanam K, Patidar S. 2022. Greywater characteristics in developed and developing countries. *Materials Today: Proceedings* **57**:1494-1499. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S221478532107694X> (accessed 2023-03-29).

Klímová Z. 2022. Využití umělého mokřadu pro snížení dopadu změn klimatu v městském prostředí. Presentation presented at: Seminář Kořenové čistírny s vertikálními biofiltry. 13.10.2022. Praha.

Kočková E, Kříž P, Legát V, Šálek J, Žáková Z. 1994. Vegetační kořenové čistírny odpadních vod. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha.

Kořenovky.cz. (n.d.). Zelené oázy pro lepší klima. Praha. Available from <https://www.korenova-cisticka.cz/mokradni-strechy-a-zahony/mokradni-zahony-a-strechy> (accessed 2023-04-14).

Kořenovky.cz. (n.d.). Užívané rostliny. Kořenovky.cz, Praha. Available from <https://www.korenova-cisticka.cz/uzivane-rostliny> (accessed 2023-04-18).

Kožíšek F, Jeligová H, Bobková Š, Myšáková M, Pumann P, Baudišová D. 2021. Zkušenosti s recyklací vody v budovách v ČR. TZB-info. Topinfo, Praha. Available from <https://voda.tzb-info.cz/22951-zkusenosti-s-recyklaci-vody-v-budovach-v-cr> (accessed 2023-04-15).

Králová K. 2022. Víte, co je modro-zelená infrastruktura?. *Ekolist.cz*. Available from <https://ekolist.cz/cz/publicistika/priroda/vite-co-je-modro-zelena-infrastruktura> (accessed 2023-04-14).

Květ J, Čížková H. 2017. Definice mokřadů. Pages 27-32 in H. Čížková, L. Vlasáková and J. Květ, editors. Mokřady: ekologie, ochrana a udržitelné využívání. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.

Liko-s. (n.d.). Voda. Liko-s, Slavkov u Brna. Available from <https://www.liko-noe.cz/cs/voda> (accessed 2023-04-17).

Macháč J, Dubová L, Louda J, Hekrlé M, Zaňková L, Brabec J. 2019. Metodika pro ekonomické hodnocení zelené a modré infrastruktury v lidských sídlech. Institut pro ekonomickou a ekologickou politiku, Ústí nad Labem. Available from http://www.ieep.cz/wp-content/uploads/2019/08/Machac_et_al_2019_Metodika_Hodnoceni_GBI.pdf (accessed 2023-03-26).

Macháč J, Dubová L, Louda J, A V. 2018. Ekonomické hodnocení přírodě blízkých adaptačních opatření ve městech: Výsledky případových studií realizovaných opatření v ČR. Institut pro ekonomickou a ekologickou politiku (IEEP), Ústí nad Labem. Available from <https://www.ieep.cz/ekonomicke-hodnoceni-priode-blizkych-adaptacnich-opatreni-ve-mestech-vysledky-pripadovych-studii-realizovanych-opatreni-v-cr/> (accessed 2023-04-15).

Masi F, Bresciani R, Rizzo A, Edathoot A, Patwardhan N, Panse D, Langergraber G. 2016. Green walls for greywater treatment and recycling in dense urban areas: a case-study in Pune. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development* **6**:342-347. Available from <https://iwaponline.com/washdev/article/6/2/342/30155/Green-walls-for-greywater-treatment-and-recycling> (accessed 2023-03-26).

Nadace Partnerství. ©2023. Mokřadní střechy a fasády na kancelářích LIKO-Noe. Nadace Partnerství, Brno. Available from <https://www.adaptterraawards.cz/cs/Databaze/2019/Mokradni-fasady-strecha-LIKO-Noe> (accessed 2023-04-14).

Payne E, Hatt B, Deletic A, Dobbie M, McCarthy D, Chandrasena G. 2015. Adoption Guidelines for Stormwater Biofiltration Systems – Summary Report: Cities as Water Supply Catchments – Sustainable Technologies. Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities, Melbourne, Australia. Available from https://watersensitivecities.org.au/wp-content/uploads/2015/10/TMR_C1-1_AdoptionGuidelinesStormwaterBiofiltrationSystems_2.pdf (accessed 2023-04-06).

Penn R, Hadari M, Friedler E. 2012. Evaluation of the effects of greywater reuse on domestic wastewater quality and quantity. *Urban Water Journal* **9**:137-148. Available from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1573062X.2011.652132> (accessed 2023-03-29).

Pišťeková M, Šálek J. 2003...cit. In: Šálek J, Tlapák V. 2006. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. Informační centrum ČKAIT, Praha.

Plotěný K. 2022. Recyklace odpadních vod (jako součást komplexního přístupu): Presentation presented in Seminář Kořenové čistírny s vertikálními biofiltry. 13.10.2022. Praha.

Pokorný J, Hesslerová P, Huryňa H, Harper D. 2017. Nepřímý a přímý termodynamický vliv mokřadů na klima. *Vodní hospodářství. Vodní hospodářství, Čkyně*. Available from <https://vodnihospodarstvi.cz/neprimy-a-%E2%80%AFprimy-termodynamicky-vliv-mokradu-klima/> (accessed 2023-04-15).

Pokorný J, Rejšková A, Brom J. 2007. Úloha makrofyt v energetické bilanci mokřadů. Pages 47-60 in *Vodní a mokřadní rostliny - taxony, společenstva, vztahy: konference ČBS, 24.-25.11.2006 Praha Aquatic and wetland plants - taxa, communities, relationships*. Česká botanická společnost, Praha.

Pradhan S, Al-Ghamdi S, Mackey H. 2019. Greywater recycling in buildings using living walls and green roofs: A review of the applicability and challenges. *Science of The Total Environment* **652**:330-344. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969718341226> (accessed 2023-03-26).

Pradhan S, Helal M, Al-Ghamdi S, Mackey H. 2020. Performance evaluation of various individual and mixed media for greywater treatment in vertical nature-based systems. *Chemosphere* **245**. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653519328048> (accessed 2023-04-05).

Prodanovic V, Hatt B, McCarthy D, Deletic A. 2020. Green wall height and design optimisation for effective greywater pollution treatment and reuse. *Journal of Environmental Management* **261**. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479720301092> (accessed 2023-04-03).

Prodanovic V, Hatt B, McCarthy D, Zhang K, Deletic A. 2017. Green walls for greywater reuse: Understanding the role of media on pollutant removal. *Ecological Engineering* **102**:625-635. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092585741730112X> (accessed 2023-03-26).

Prodanovic V, Wang A, Deletic A. 2019. Assessing water retention and correlation to climate conditions of five plant species in greywater treating green walls. *Water Research* **167**. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135419308668> (accessed 2023-03-26).

Pumpřlová Němcová M, Křiška M. 2020. Technologie vertikálních filtrů s vegetací pro čištění odpadních vod. TZB-info. Topinfo, Praha. Available from <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/21197-technologie-vertikalnich-filtru-s-vegetaci-pro-cisten-odpadnich-vod> (accessed 2023-04-15).

Raček J. 2016. Metodika návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech. [Dizertační práce]. Vysoké učení technické v Brně, Brno.

Rayner J, Raynor K, Williams N. 2010. Façade greening: a case study from Melbourne, Australia. *Acta Horticulturae* **881**:709-713. Available from https://www.researchgate.net/publication/283832750_Facade_greening_A_case_study_from_melbourne_Australia#fullTextFileContent (accessed 2023-04-05).

Richtr J, Dostal P. 2023. S Pavlem Dostalem o zelených střeších. Křovní podcast [online]. Available from <https://open.spotify.com/show/3Pd2ME54MIoloK9htwA7AR> (accessed 14. 4. 2022).

Seják J, Květ J, Čížková H. 2017. Ekosystémové služby mokřadů. Pages 489-504 in *Mokřady: Ekologie, ochrana a udržitelné využívání*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.

Schweingruber F, Kučerová A, Adamec L, Doležal J. 2020. *Anatomic Atlas of Aquatic and Wetland Plant Stems*. Springer International Publishing, Cham.

Šálek J, Křiška M, Pírek O, Plotěný K, Rozkošný M, Žáková Z. 2012. Voda v domě a na chatě: využití srážkových a odpadních vod. Grada, Praha.

Šálek J, Křiška M, Pírek O, Plotěný K, Rozkošný M, Žáková Z. 2013. Vegetační kořenové čistírny. TZB-info. Topinfo, Praha. Available from <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/10058-vegetacni-korenove-cistirny> (accessed 2023-04-15).

Šálek J, Tlapák V. 2006. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. Informační centrum ČKAIT, Praha.

Šperling M. 2015. Mokřadní střecha a fasáda. Energeticky soběstačné budovy: První český titul zaměřený na výstavbu a provoz budov s nízkou energetickou náročností **2015(4)**:9.

Informační centrum ČKAIT, Praha. Available from <https://www.ic-ckait.cz/images/esb-04-15web.pdf> (accessed 2023-04-17).

Šumberová K. 2018. Mokřady našich měst a vesnic: stanoviště, rostlinné druhy a společenstva. *Zprávy České botanické společnosti* **53**:289-319. Available from <https://botanospol.cz/cs/node/2444>.

Tanner C. 1996. Plants for constructed wetland treatment systems — A comparison of the growth and nutrient uptake of eight emergent species. *Ecological Engineering* **7**:59-83. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0925857495000666> (accessed 2023-03-27).

Tiskové oddělení MŽP. 2021. Splachovat nebo zalévat zahrádky užitkovou vodou? Její využití má stavebníkům usnadnit nová legislativa. Ministerstvo životního prostředí, Praha. Available from https://www.mzp.cz/cz/news_20210514_Vyuziti-uzitkove-vody-usnadni-stavebnikum-nova-legislativa (accessed 2023-04-16).

Topiarzová M. ©2023. Spotřeba vody v domácnosti a jak jí snížit?. *Počítáme s vodou. Počítáme s vodou*, Praha. Available from <https://www.pocitamesvodou.cz/spotreba-vody-v-domacnosti-a-jak-ji-snizit/> (accessed 2023-04-16).

Urrestarazu M, Carrasco G, Álvaro J. 2017. Design of a Modular Vegetative Unit and Fertigation Management for Noise-Abatement Walls in a Semiarid Climate. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* **143**. Available from <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29IR.1943-4774.0001147> (accessed 2023-04-05).

Valk A. 2012. *The biology of freshwater wetlands*. 2nd ed. Oxford University Press, Oxford.

Vymazal J. 1995. *Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách*. ENVI, Třeboň.

Vymazal J. 2004. *Kořenové čistírny odpadních vod*. ENKI, Třeboň. Available from <https://www.enki.cz/cs/publikace/ke-stazeni> (accessed 2023-04-14).

Vymazal J. 2005. Removal of Enteric Bacteria in Constructed Treatment Wetlands with Emergent Macrophytes: A Review. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* **40**:1355-1367. Available from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/ESE-200055851> (accessed 2023-04-15).

Vymazal J. 2013. Does the presence of weedy species affect the treatment efficiency in constructed wetlands with horizontal subsurface flow?. Page 88-90 in *8th International Workshop on Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetlands*. ENKI, Třeboň.

Vymazal J. 2017. *Umělé mokřady pro čištění odpadních vod*. Pages 262-280 in *Mokřady: Ekologie, ochrana a udržitelné využívání*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.

Wong N, Kwang Tan A, Chen Y, Sekar K, Tan P, Chan D, Chiang K, Wong N. 2010. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*

45:663-672. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S036013230900198X> (accessed 2023-03-26).

Zehnsdorf A, Blumberg M, Müller R. 2019. Helophyte mats (wetland roofs) with high evapotranspiration rates as a tool for decentralised rainwater management – process stability improved by simultaneous greywater treatment. *Water Supply* **19**:808-814. Available from <https://iwaponline.com/ws/article/19/3/808/62842/Helophyte-mats-wetland-roofs-with-high> (accessed 2023-04-06).

Technické normy:

ČSN 75 6402. 2017. Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel. Česká agentura pro standardizaci, Praha.

ČSN 75 6780. 2021. Využití šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích. Česká agentura pro standardizaci, Praha.

ČSN 75 7143. 1992. Jakost vod. Jakost vody pro závlahu. Česká agentura pro standardizaci, Praha.

ČSN EN 12056-2. 2001. Vnitřní kanalizace - Gravitační systémy - Část 2: Odvádění splaškových odpadních vod - Navrhování a výpočet. Česká agentura pro standardizaci, Praha.

ČSN EN 16941-2. 2021. Zařízení pro využití nepitné vody na místě - Část 2: Zařízení pro využití čištěné šedé vody. Česká agentura pro standardizaci, Praha.

ČSN EN ISO 5815-1. 2020. Kvalita vod - Stanovení biochemické spotřeby kyslíku po n dnech (BOD_n) - Část 1: Zřed'ovací a očkovací metoda s přídatkem allylthiomocoviny. Česká agentura pro standardizaci, Praha.

ČSN ISO 20426. 2020. Směrnice pro posuzování a management zdravotních rizik pro opětovné využití vody k nepitným účelům. Česká agentura pro standardizaci, Praha.

ČSN ISO 20761. 2020. Opětovné využití vody v městských oblastech - Směrnice pro hodnocení bezpečnosti opětovného využití vody - Hodnocené ukazatele a metody. Česká agentura pro standardizaci, Praha.

Legislativní dokumenty:

Česko. 2000. 258/2000 Sb. Zákon ze dne 14. července 2000 o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. in Sbirka zákonů České republiky. Available at https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=258/2000&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy.

Česko. 2001. 254/2001 Sb. Zákon ze dne 28. června 2001 o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). 5617-5667in Sbirka zákonů České republiky. Available at

https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=254/2001&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy.

Česko. 2001. 274/2001 Sb. Zákon ze dne 10. července 2001 o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). 6465-6482in . Available at https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=274/2001&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy.

Česko. 2020. 544/2020 Sb. Zákon ze dne 1. prosince 2020, kterým se mění zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony. 6282-6300in Sběrka zákonů České republiky. Available at https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=544/2020&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy.

Česko. 2015. NV 401/2015 Nařízení vlády ze dne 14. prosince 2015 o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. 5442-5504in Sběrka zákonů České republiky.

Česko. 2016. NV 57/2016 Nařízení vlády ze dne 3. února 2016 o ukazatelích a hodnotách příslušného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních. 562-568in Sběrka zákonů České republiky.

Seznam zdrojů převzatých obrázků:

Obrázek č. 1

Burian S. 2019. Vertikální zahrady střízlivým pohledem. Inspirace. Svaz zakládání a údržby zeleně (SZÚZ), Brno. Available from <https://www.szuz.cz/cs/hlavni-menu/inspirace/zelene-strechy/vertikalni-zahrady-strizlivym-pohledem/> (accessed 2023-04-14).

Obrázek č. 2

Burian S. 2022. Ozelenění fasád: metodika. Svaz zakládání a údržby zeleně, Brno. Available from <https://www.zelenestrechy.info/metodika-ozeleneni-fasad> (accessed 2023-04-15).

Obrázek č. 3

Burian S. 2019. Vertikální zahrady střízlivým pohledem. Inspirace. Svaz zakládání a údržby zeleně (SZÚZ), Brno. Available from <https://www.szuz.cz/cs/hlavni-menu/inspirace/zelene-strechy/vertikalni-zahrady-strizlivym-pohledem/> (accessed 2023-04-14).

Obrázek č. 4

Zluwa I. 2022. Vertical Green in Vienna: Presentation presented in Konference Zelené střechy a fasády – trendy a synergie 8. 9. 2022. Praha.

Obrázek č. 5

Schweingruber F, Kučerová A, Adamec L, Doležal J. 2020. *Anatomic Atlas of Aquatic and Wetland Plant Stems*. Springer International Publishing, Cham.

Obrázek č. 6a

Čížková H. 2006. Procesy spojené s eutrofizací mokřadů. *Živa* **2006**(5):161-168. Academia, Praha. Available from <https://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/procesy-spojene-s-eutrofizaci-mokradu.pdf> (accessed 2023-04-15).

Obrázek č. 6b

Čížková H. 2006. Procesy spojené s eutrofizací mokřadů. *Živa* **2006**(5):161-168. Academia, Praha. Available from <https://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/procesy-spojene-s-eutrofizaci-mokradu.pdf> (accessed 2023-04-15).

Obrázek č. 6c

Cronk J, Fennessy M. 2001. *Wetland plants: biology and ecology*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton. Available from <http://external.dandelon.com/download/attachments/dandelon/ids/DE00615C1C436B17D6E48C1257AC9003C33BF.pdf>.

Obrázek č. 7

Pokorný J, Hesslerová P, Huryňa H, Harper D. 2017. Nepřímý a přímý termodynamický vliv mokřadů na klima. *Vodní hospodářství*. *Vodní hospodářství*, Čkyně. Available from <https://vodnihospodarstvi.cz/neprimy-a%E2%80%AFprimy-termodynamicky-vliv-mokradu-klima/> (accessed 2023-04-15).

Obrázek č. 8

Pokorný J, Hesslerová P, Huryňa H, Harper D. 2017. Nepřímý a přímý termodynamický vliv mokřadů na klima. *Vodní hospodářství*. *Vodní hospodářství*, Čkyně. Available from <https://vodnihospodarstvi.cz/neprimy-a%E2%80%AFprimy-termodynamicky-vliv-mokradu-klima/> (accessed 2023-04-15).

Obrázek č. 9

Vymazal J. 2004. *Kořenové čistírny odpadních vod*. ENKI, Třeboň. Available from <https://www.enki.cz/cs/publikace/ke-stazeni> (accessed 2023-04-14).

Obrázek č. 10

Vymazal J. 2017. Umělé mokřady pro čištění odpadních vod. Pages 262-280 in *Mokřady: Ekologie, ochrana a udržitelné využívání*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.

Obrázek č. 11

Vymazal J. 1995. Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách. ENVI, Třeboň.

Obrázek č. 12

Vymazal J. 1995. Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách. ENVI, Třeboň.

Obrázek č. 13

Vymazal J. 2005. Removal of Enteric Bacteria in Constructed Treatment Wetlands with Emergent Macrophytes: A Review. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* **40**:1355-1367. Available from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/ESE-200055851> (accessed 2023-04-15).

Obrázek č. 14

Šperling M. 2015. Mokřadní střecha a fasáda. Energeticky soběstačné budovy: První český titul zaměřený na výstavbu a provoz budov s nízkou energetickou náročností **2015(4)**:9. Informační centrum ČKAIT, Praha. Available from <https://www.ic-ckait.cz/images/esb-04-15web.pdf> (accessed 2023-04-17).

Obrázek č. 15

Klímová Z. 2022. Využití umělého mokřadu pro snížení dopadu změn klimatu v městském prostředí. Presentation presented at: Seminář Kořenové čistírny s vertikálními biofiltry. 13.10.2022. Praha.

Obrázek č. 16

Fowdar H, Hatt B, Breen P, Cook P, Deletic A. 2017. Designing living walls for greywater treatment. *Water Research* **110**:218-232. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135416309538> (accessed 2023-03-26).

Obrázek č. 17

Fowdar H, Hatt B, Breen P, Cook P, Deletic A. 2017. Designing living walls for greywater treatment. *Water Research* **110**:218-232. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135416309538> (accessed 2023-03-26).

Obrázek č. 18

Prodanovic V, Hatt B, McCarthy D, Deletic A. 2020. Green wall height and design optimisation for effective greywater pollution treatment and reuse. *Journal of Environmental Management* **261**. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479720301092> (accessed 2023-04-03).

Obrázek č. 19

Prodanovic V, Wang A, Deletic A. 2019. Assessing water retention and correlation to climate conditions of five plant species in greywater treating green walls. *Water Research* **167**. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135419308668> (accessed 2023-03-26).

Obrázek č. 20

Blumberg M. 2020. Wetland roofs - a multifunctional green roof type - Basics and perspectives from engineering practice: Conference paper. in Conference: Closed Cycles and the Circular Society. Wädenswil. Available from <https://www.blumberg-engineers.com/en/realized-projects/wetland-roofs/> (accessed April 14, 2023).

Obrázek č. 21

Blumberg M. 2020. Wetland roofs - a multifunctional green roof type - Basics and perspectives from engineering practice: Conference paper. in Conference: Closed Cycles and the Circular Society. Wädenswil. Available from <https://www.blumberg-engineers.com/en/realized-projects/wetland-roofs/> (accessed April 14, 2023).

Obrázek č. 22

Gattringer H, Claret A, Radtke M, Kissler J, Zraunig A, Rodriguez-Roda I, Buttiglieri G. 2016. Novel vertical ecosystem for sustainable water treatment and reuse in tourist resorts. *International Journal of Sustainable Development and Planning* **11**:263-274. Available from <http://www.witpress.com/doi/journals/SDP-V11-N3-263-274> (accessed 2023-04-11).

7 Samostatné přílohy

Příloha č. 1 Parametry šedých vod s příklady a důsledky vyšších koncentrací zmiňovanými v textu (Eriksson et al. 2002)

| parametry šedých vod: | Parametry a zkratky v anglicky psané literatuře: | příklady, možné komplikace |
|--|--|---|
| teplota | temperature | nárůst mikroorganismů, sraženiny CaCO ₃ |
| barva | colour | |
| zákal | turbidity | obsah koloidních částic, ucpávání potrubí |
| nerozpuštěné pevné látky (NL) | TSS - total suspended solids | části potravin, půdy, vlasy, vlákna z oblečení |
| alkalita | alkalinity | v případě infiltrace do půdy - vliv na půdní sorpční kapacitu, zanášení, velký vliv má už zdroj |
| pH | pH | |
| tvrdost | hardness | |
| CHSK - chemická spotřeba kyslíku | COD | risk vyčerpání kyslíku z důvodu degradace organického materiálu a návazná produkce sulfidů |
| BSK - biologická spotřeba kyslíku | BOD | |
| celkový dusík (a jeho jednotlivé složky) | TN, total Nitrogen (...) | obsah N je v šedých vodách nižší než splaškových, nejvíce ve zdrojích z kuchyně |
| celkový fosfor (a jeho jednotlivé složky) | TP - total Phosphorus (...) | obsah P je zejména z čistících prostředků a pracích prášků, tam kde nejsou zakázány ty obsahující fosfáty mají vyšší koncentrace, nejméně P je ve zdrojích z osobní hygieny |
| obsah těžkých kovů: Al, Fe, Mn, Cd, Cu, Pb, Hg, Zn, Ni, Cr | heavy metals | mohou se objevovat ve vodě z prvotního zdroje, z praní, popřípadě uvolňovat z potrubí kvůli agresivní dezinfekci |
| xenobiotika - látky cizí živým organismům | XOC - xenobiotic organic compounds | látky obsažené v čistících prostředcích, mýdlu, šampónech, parfémeh, konzervační látky |
| mikroorganismy | micro-organisms | patogenní viry, bakterie, protozoa a helminti |

Příloha č. 2 Mechanismy podílející se na odstraňování látek z odpadních vod, převzato a upraveno (Vymazal 1995)

| mechanismy | účinek | odstraňované látky | způsob odstraňování |
|---|--------|--------------------------|--|
| FYZIKÁLNÍ | | | |
| sedimentace | P | UNL | Gravitační usazování |
| | S | KL | |
| | V | BSK, N, P, TK, TROL, B+V | |
| filtrace | S | UNL, KL | Mechanická filtrace při průchodu odp. vody zeminou a kořeny |
| adsorpce | S | KL | Van der Waalsovy síly |
| těkání | S | N | těkání NH ₃ z odpadní vody |
| CHEMICKÉ | | | |
| srážení | P | P, TK | srážení nerozpustných sloučenin |
| adsorpce | P | P, TK | adsorpce na povrchu zemního materiálu a rostlin |
| | S | TROL | |
| rozklad | P | TROL, B+V | rozklad a změny méně stabilních látek působením UV záření, oxidace a redukce |
| BIOLOGICKÉ | | | |
| bakteriální metabolismus | P | KL, BSK, N, TROL | odstraňování uvedených látek suspendovanými, bentickými a epifytickými bakteriemi; bakteriální nitrifikace/denitrifikace |
| rostlinný metabolismus | S | | příjem a využití org. Látel rostlinami; exkrety kořenů mohou být toxické pro organismy enterického původu |
| rostlinná absorpce | S | | za určitých podmínek jsou významná množství těchto látek přijímána rostlinami |
| přirozený úhyn | P | B+V | přirozený úhyn organismů v nevhodných podmínkách |
| * metabolismus zahrnuje jak biosyntézu, tak katabolický rozklad | | | |
| P = primární | | | |
| S = sekundární | | | |
| V = vedlejší | | | |
| UNL - usaditelné nerozpuštěné látky | | | |
| KL - koloidní látky | | | |
| TK - těžké kovy | | | |
| TROL - těžce rozložitelné org. Látky | | | |
| B+V - bakterie a viry | | | |

Příloha č. 3 Helofyta mokřadů měst a vesnic, vypsáno z textu (Šumberová 2018)

| běžné druhy | | méně běžné druhy | |
|---|----------------------|--|-----------------------|
| <i>Acorus calamus</i> | puškvorec obecný | <i>Alisma gramineum</i> ⁷⁾ | žabník trávolistý |
| <i>Alisma plantago-aquatica</i> ¹⁾⁷⁾ | žabník jitrocelový | <i>Alisma lanceolatum</i> ⁷⁾ | žabník kopinatý |
| <i>Carex acuta</i> | ostřice štíhlá | <i>Berula erecta</i> ⁶⁾ | potočník vzpřímený |
| <i>Carex acutiformis</i> ²⁾ | ostřice ostrá | <i>Bolboschoenus laticarpus</i> ¹⁾ | kamyšník širokoplodý |
| <i>Carex riparia</i> ²⁾⁵⁾ | ostřice pobřežní | <i>Bolboschoenus planiculmis</i> ¹⁾ | kamyšník polní |
| <i>Carex rostrata</i> ³⁾ | ostřice zobánkatá | <i>Bolboschoenus yagara</i> ¹⁾ | kamyšník vrcholičnatý |
| <i>Carex vesicaria</i> ⁴⁾ | ostřice měchýřkatá | <i>Butomus umbellatus</i> ⁶⁾⁸⁾ | šmel okoličnatý |
| <i>Carex vulpina</i> | ostřice liščí | <i>Calla palustris</i> ⁸⁾ | d'áblák bahenní |
| <i>Eleocharis palustris</i> | bahnička mokřadní | <i>Carex buekii</i> | ostřice Buekova |
| <i>Epilobium hirsutum</i> ⁹⁾ | vrbovka chlupatá | <i>Carex otrubae</i> ²⁾ | ostřice Otrubova |
| <i>Epilobium palustre</i> ⁹⁾ | vrbovka bahenní | <i>Carex pseudocyperus</i> ⁴⁾ | ostřice nedošáchor |
| <i>Epilobium roseum</i> ⁹⁾ | vrbovka růžová | <i>Epilobium parviflorum</i> ⁹⁾ | vrbovka malokvětá |
| <i>Equisetum fluviatile</i> | přeslička poříční | <i>Glyceria declinata</i> ⁶⁾ | zblochan zoubkatý |
| <i>Galium palustre</i> | svízel bahenní | <i>Hippuris vulgaris</i> ⁸⁾ | prustka obecná |
| <i>Glyceria fluitans</i> ⁶⁾ | zblochan vzplývavý | <i>Leersia oryzoides</i> ⁶⁾ | tajnička rýžovitá |
| <i>Glyceria maxima</i> | zblochan vodní | <i>Mentha aquatica</i> ⁶⁾ | máta vodní |
| <i>Glyceria notata</i> ⁶⁾ | zblochan řasnatý | <i>Nasturtium officinale</i> ⁶⁾ | potočnice lékařská |
| <i>Iris pseudacorus</i> | kosatec žlutý | <i>Pontederia cordata</i> ⁸⁾¹⁰⁾ | modráska srdčitá |
| <i>Lycopus europaeus</i> | karbinec evropský | <i>Rorippa amphibia</i> ⁶⁾ | rukev obojživelná |
| <i>Lysimachia vulgaris</i> ⁹⁾ | vrbina obecná | <i>Rumex aquaticus</i> ⁹⁾ | šťovík vodní |
| <i>Lythrum salicaria</i> ⁹⁾ | kyprej vrbice | <i>Rumex hydrolapanthum</i> ⁹⁾ | šťovák koňský |
| <i>Mentha longifolia</i> ⁹⁾ | máta dlouholistá | <i>Sagittaria latifolia</i> ⁸⁾ | šípátka širolistá |
| <i>Myosotis palustris</i> ⁶⁾ | pomněnka bahenní | <i>Sagittaria sagittifolia</i> | šípátka střelolistá |
| <i>Oenanthe aquatica</i> | halucha vodní | <i>Scirpus radicans</i> | skřípina kořeňující |
| <i>Phalaris arundinacea</i> | chrastice rákosovitá | <i>Scrophularia umbrosa</i> ⁶⁾ | krtičník křídlatý |
| <i>Phragmites australis</i> | rákos obecný | <i>Schoenoplectus lacustris</i> | skřípinec jezerní |
| <i>Scutellaria galericulata</i> | šišák vroubkovaný | <i>Schoenoplectus tabernaemontani</i> | Tabernaemontanův |
| <i>Solanum dulcamara</i> ⁹⁾ | lilek potměchut' | | |
| <i>Sparganium emersum</i> | zevar jednoduchý | | |
| <i>Sparganium erectum</i> | zevar vzpřímený | | |
| <i>Stachys palustris</i> ⁹⁾ | čistec bahenní | | |
| <i>Typha angustifolia</i> | orobinec úzkolistý | | |
| <i>Typha latifolia</i> | orobinec širokolistý | | |

¹⁾ odolné vůči běžným herbicidům

²⁾ sušší nížinné oblasti s bazickými substráty

³⁾ preferuje chladnější a vlhčí vyšší polohy s kyselými substráty

⁴⁾ preferuje vlhké, mírně teplé pahorkatiny

⁵⁾ vykazuje tendenci k šíření

⁶⁾ kompetičně slabé, snáší dobře řez, dobře tolerují mírné proudění, kolísání vodní hladiny, i odstraňování sedimentů, schopny regenerovat z podzemních oddenků, nadzemních výběžků či jiných vegetativních diaspor

⁷⁾ kompetičně slabé, vyžadují kolísání vodní hladiny, snáší dobře seč

⁸⁾ často uměle vysazené nebo uniklé z umělé výsadby

⁹⁾ sečí kompetičně zvýhodněny

¹⁰⁾ častější výskyt ve městech než ve volné krajině, kvůli zavlečení nebo klimatickým podmínkám tepelných ostrovů

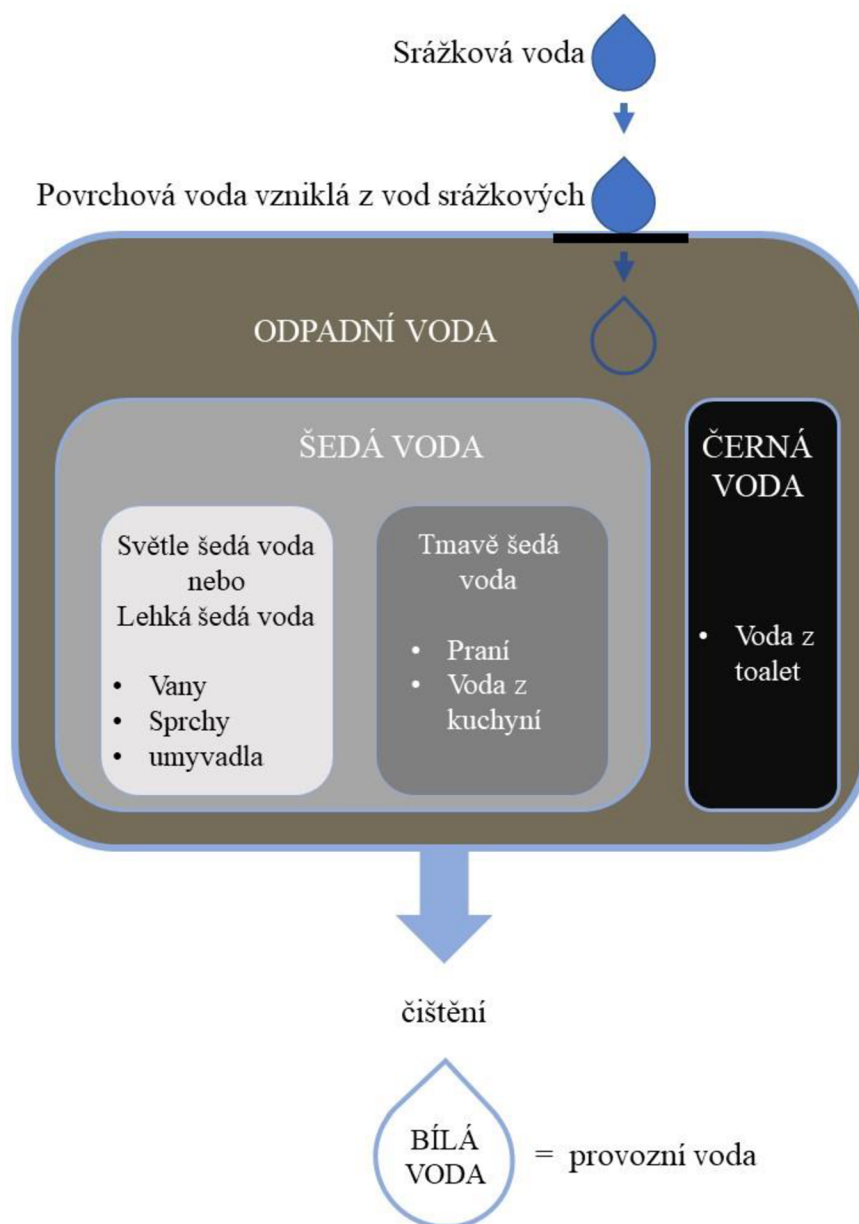
Příloha č. 4 Výběr rostlin dle vhodnosti do daného klimatu nadmořské výšky: A - do 200m, B – 200-500 m, C – 500-900 m, na základě textu (Husák & Květ 1998)

| A | nížinný, do 200 m nad mořem | |
|--------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| intenzivní KČOV | rákos obecný | <i>Phragmites australis</i> |
| | zblochan vodní | <i>Glyceria maxima</i> |
| | chrastice rákosovitá | <i>Phalaris arundinacea</i> |
| | skřípípec jezerní | <i>Schoenoplectus lacustris</i> |
| | skřípípec Tabernaemontanův | <i>Schoenoplectus Tabernaemontani</i> |
| | orobinec širokolistý | <i>Typha latifolia</i> |
| | orobinec sítinovitý | <i>Typha Laxmanni</i> |
| | orobinec úzkolistý | <i>Typha angustifolia</i> |
| | zevar vzpřímený | <i>Sparganium erectum</i> |
| | zevar jednoduchý | <i>Sparganium emersum</i> |
| | puškvorec obecný | <i>Acorus calamus</i> |
| extenzivní mokřady | bahnička jehlovitá | <i>Eleocharis acicularis</i> |
| | bahnička mokřadní | <i>Eleocharis palustris</i> |
| | bezkoleneček rákosovitý | <i>Molinia arundinacea</i> |
| | čistec bahenní | <i>Stachys palustris</i> |
| | houseskovec zduřelý | <i>Beckmannia eruciformis</i> |
| | kamyšník přímořský | <i>Bolboschoenus maritimus</i> |
| | kosatec žlutý | <i>Iris pseudacorus</i> |
| | kostival lékařský | <i>Symphytum officinale</i> |
| | kostřava rákosovitá | <i>Festuca arundinacea</i> |
| | máta vodní | <i>Mentha aquatica</i> |
| | okřehek hrbatý | <i>Lemna Gibba</i> |
| | ožanka česneková | <i>Teucrium scordium</i> |
| | potočnice lékařská | <i>Nasturtium officinale</i> |
| | prustka obecná | <i>Hippuris vulgaris</i> |
| | přeslička bahenní | <i>Equisetum palustre</i> |
| | psárka luční | <i>Alopecurus pratensis</i> |
| | psineček výběžkatý | <i>Agrostis stolonifera</i> |
| | rozrazil dlouholistý | <i>Veronica maritima</i> |
| | sevlák širokolistý | <i>Sium latifolium</i> |
| | sítina rozkladitá | <i>Juncus effusus</i> |
| | starček bažinný | <i>Senecio paludosus</i> |
| | šípatka vodní | <i>Sagittaria sagittifolia</i> |
| | šmel okoličnatý | <i>Butomus umbellatus</i> |
| | šťovík koňský | <i>Rumex hydrolapathum</i> |
| | tužebník jilmový | <i>Filipendula ulmaria</i> |
| | vrbina obecná | <i>Lysimachia vulgaris</i> |
| | zblochan řasnatý | <i>Glyceria notata</i> |
| | zblochan vzplývavý | <i>Glyceria fluitans</i> |
| žabník jitrocelový | <i>Alisma plantago-aquatica</i> | |

| B | pahorkatinný, 200-500 m nad mořem | |
|--------------------|--|--------------------------------------|
| intenzivní KČOV | zblochan vodní | <i>Glyceria maxima</i> |
| | chrastice rákosovitá | <i>Phalaris arundinacea</i> |
| | rákos obecný | <i>Phragmites australis</i> |
| | skřípínek jezerní | <i>Schoenoplectus lacustris</i> |
| | orobínec úzkolistý | <i>Typha angustifolia</i> |
| | orobínec širokolistý | <i>Typha latifolia</i> |
| | zevar vzpřímený | <i>Sparganium erectum</i> |
| | zevar jednoduchý | <i>Sparganium emersum</i> |
| | puškvorec obecný | <i>Acorus calamus</i> |
| extenzivní mokřady | bazanovec kytkokvětý | <i>Lysimachia thyrsiflora</i> |
| | bezkolenec modrý | <i>Monilia caerulea</i> |
| | čistec bahenní | <i>Stachys palustris</i> |
| | hvězdoš sp. | <i>Callitriche</i> sp. |
| | karbíneček evropský | <i>Lycopus europaeus</i> |
| | kostřava luční | <i>Festuca pratensis</i> |
| | kyprej vrbice | <i>Lythrum salicaria</i> |
| | máta vodní | <i>Mentha aquatica</i> |
| | máta dlouholistá | <i>Mentha longifolia</i> |
| | medyněk vlnatý | <i>Holcus lanatus</i> |
| | odemka vodní | <i>Catabrosa aquatica</i> |
| | potočnice lékařská | <i>Nasturtium officinale</i> |
| | potočník vzpřímený | <i>Berula erecta</i> |
| | psárka luční | <i>Alopecurus pratensis</i> |
| | psineček psi | <i>Agrostis canina</i> |
| | psineček výběžkatý | <i>Agrostis stolonifera</i> |
| | přeslička bahenní | <i>Equisetum palustre</i> |
| | přeslička mokřadní | <i>Equisetum fluviatile</i> |
| | skřípina kořeňující | <i>Scirpus radicans</i> |
| | smlodník bahenní | <i>Peucedanum palustre</i> |
| | šišák sp. | <i>Scutellaria</i> sp. |
| | šmel okoličnatý | <i>Butomus umbellatus</i> |
| | třtina šedavá | <i>Camaegrostis canescens</i> |
| | třtina pobřežní | <i>Camaegrostis pseudophragmites</i> |
| | tužebník jilmový | <i>Filipendula ulmaria</i> |
| | zábělník bahenní | <i>Comarum palustre</i> |
| | zblochan vzplývavý | <i>Glyceria fluitans</i> |
| | vachta trojlístá | <i>Menyanthes trifoliata</i> |

| C | | hornatinný, 500-900 m nad mořem |
|--------------------|-------------------------|---------------------------------|
| intenzivní KČOV | chrastice rákosovitá | <i>Phalaris arundinacea</i> |
| | zblochan vodní | <i>Glyceria maxima</i> |
| | orobinec široolistý | <i>Typha latifolia</i> |
| | třtina šedavá | <i>Camaegrostis canescens</i> |
| | metlice trsnatá | <i>Deschampsia cespitosa</i> |
| extenzivní mokřady | d'áblík bahenní | <i>Calla palustris</i> |
| | kostřava luční | <i>Festuca pratensis</i> |
| | máta vodní | <i>Mentha aquatica</i> |
| | máta dlouholistá | <i>Mentha longifolia</i> |
| | medyněk vlnatý | <i>Holcus lanatus</i> |
| | olešník kmínolistý | <i>Selinum carviflora</i> |
| | pohánka hřebenitá | <i>Cynosurus cristatus</i> |
| | psárka luční | <i>Alopecurus pratensis</i> |
| | psineček psí | <i>Agrostis canina</i> |
| | psineček tenký | <i>Agrostis capilaris</i> |
| | přeslička mokřadní | <i>Equisetum fluviatile</i> |
| | rozrazil potoční | <i>Veronica beccabunga</i> |
| | vachta trojlistá | <i>Menyanthes trifoliata</i> |
| | vrbina tečkovaná | <i>Lysimachia punctata</i> |
| zábělník bahenní | <i>Comarum palustre</i> | |

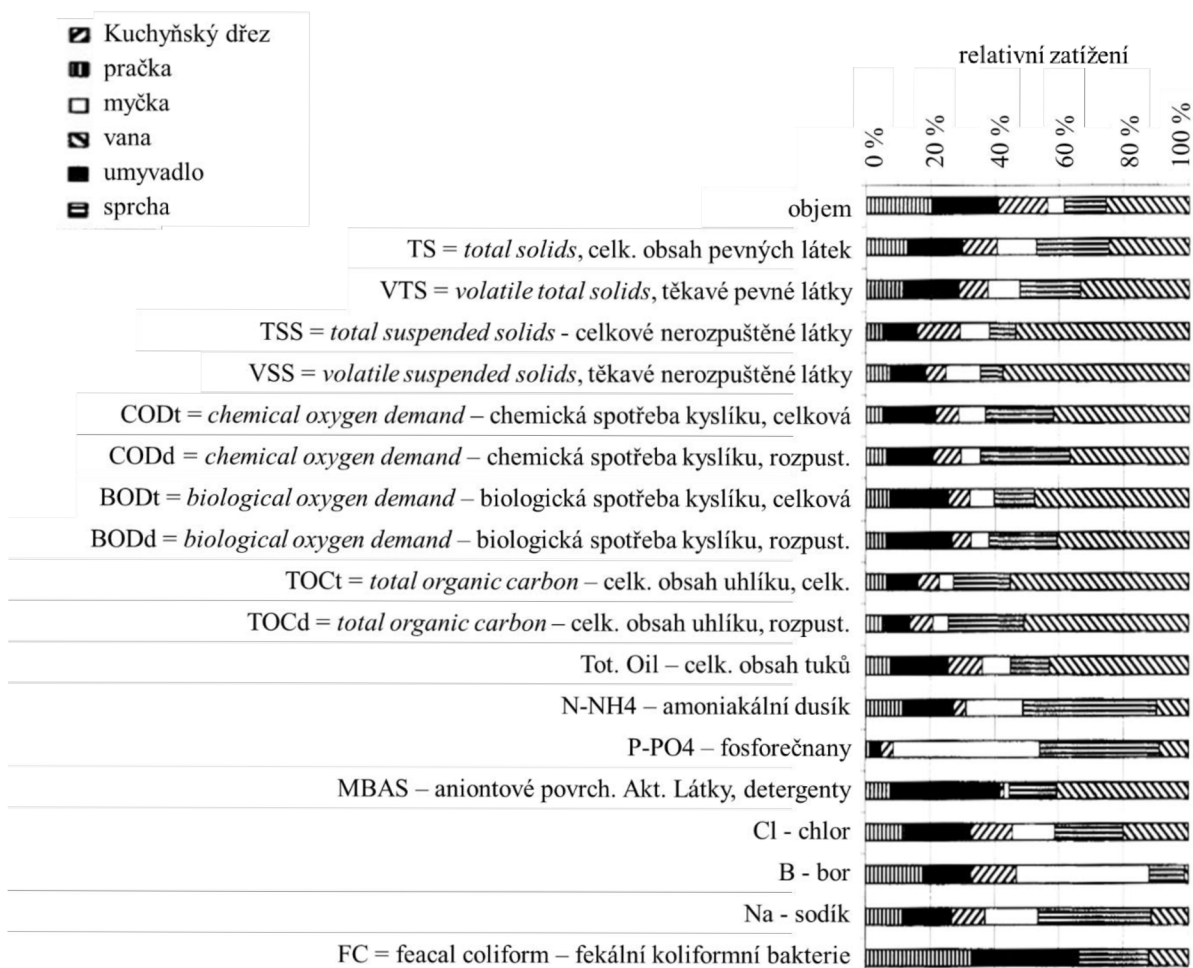
Příloha č. 5 Kompilace literárních zdrojů ohledně šedých a srážkových vod, na základě textu (Chaloupka 2006; Bartáček et al. 2021; ČSN EN 16941-2 2021; Šálek et al. 2012)



Příloha č. 6 Parametry šedých vod, na základě textu (Eriksson et al. 2002)

| parametry šedých vod: | Parametry a zkratky v anglicky psané literatuře: | příklady, možné komplikace |
|--|--|---|
| teplota | temperature | nárůst mikroorganismů, sraženiny CaCO ₃ |
| barva | colour | |
| zákal | turbidity | obsah koloidních částic, ucpávání potrubí |
| nerozpuštěné pevné látky (NL) | TSS - total suspended solids | části potravin, půdy, vlasy, vlákna z oblečení |
| alkalita | alkalinity | v případě infiltrace do půdy - vliv na půdní sorpční kapacitu, zanášení, velký vliv má už zdroj |
| pH | pH | |
| tvrdost | hardness | risk vyčerpání kyslíku z důvodu degradace organického materiálu a návazná produkce sulfidů |
| CHSK - chemická spotřeba kyslíku | COD | |
| BSK - biologická spotřeba kyslíku | BOD | |
| celkový dusík (a jeho jednotlivé složky) | TN, total Nitrogen (...) | obsah N je v šedých vodách nižší než splaškových, nejvíce ve zdrojích z kuchyně |
| celkový fosfor (a jeho jednotlivé složky) | TP - total Phosphorus (...) | obsah P je zejména z čistících prostředků a pracích prášků, tam kde nejsou zakázány ty obsahující fosfáty mají vyšší koncentrace, nejméně P je ve zdrojích z osobní hygieny |
| obsah těžkých kovů: Al, Fe, Mn, Cd, Cu, Pb, Hg, Zn, Ni, Cr | heavy metals | mohou se objevovat ve vodě z prvotního zdroje, z praní, popřípadě uvolňovat z potrubí kvůli agresivní dezinfekci |
| xenobiotika - látky cizí živým organismům | XOC - xenobiotic organic compounds | látky obsažené v čistících prostředcích, mýdlu, šampónech, parfémeh, konzervační látky |
| mikroorganismy | micro-organisms | patogenní viry, bakterie, protozoa a helminti |

Příloha č. 7 Porovnání zdrojů šedé vody na základě koncentrací látek, převzato a upraveno (Friedler 2004)



Příloha č. 8 Požadavky na kvalitu čištěné vody a na zařízení určené k jejímu čištění, upraveno (ČSN 75 6780 2021)

| | | | |
|--|---|--|-----------------|
| Druh šedých vod | Šedé vody z vany, sprchy a umývadla | Šedé vody z vany, sprchy, umývadla, pračky a/nebo kuchyně | |
| Způsob čištění | Mechanické a biologické čištění včetně stabilizace kalu | Mechanické a biologické čištění a hygienizace | |
| Charakteristická sestava | Provozdušňovaná akumulární nádrž k čištění šedých vod na splachování záchodů v domácnostech | Akumulace a čištění šedých vod k použití v domácnostech i zařízeních pro veřejnost | |
| Příklady použitých technologií čištění | Systém s pevným nosičem, systém s plovoucím nosičem, zemní filtr, stabilizace | Systém s pevným nosičem, systém s plovoucím nosičem, zemní filtr, membránový reaktor | |
| | | + UV zařízení, ultrafiltrace, reverzní osmóza | |
| | | Hygienizace | |
| Kritéria | | Požadavky na kvalitu a využití čištěných šedých vod | |
| Biochemické/chemicko-fyzikální parametry | Zákal | - | <2NTU |
| | BSKs | - | <5 mg/l |
| | Nasycení O ₂ | >50% | >50% |
| | pH | 6,5 až 9,5 | 6,5 až 9,5 |
| Hygienické parametry | Koliformní bakterie | Žádný požadavek | < 10 000/100 ml |
| | <i>E. Coli</i> | | < 1 000/100 ml |
| | <i>P. aeruginosa</i> | | < 100/100 ml |
| | Vzorkování | - | .../... |
| Doporučené využití | Splachování WC | Vhodné | Vhodné |
| | Zavlažování trávníků, okrasných rostlin | Nevhodné | |
| | Zavlažování plodin | | |
| | Praní ¹⁾ | | |
| | Splachování Wc pro veřejnost | | |
| 1) UV-přenos > 60 % | | | |

| číslo projektu v textu a země v níž byl uskutečněn | 1 Austrálie | 2 Austrálie | 3 Austrálie | 4 Německo | 5 Španělsko |
|--|---|---|--|---|--|
| forma (inspirace) provedení | vertikální biofiltr | Vertikální zahrada - květináčový a blokový systém | Vertikální zahrada - květináčový systém | textilie | forma KČOV s průtočnými koryty pod sebou |
| směr průtoku vody | vertikální | vertikální | vertikální | horizontální | horizontální |
| substrát | vrstvy minerálního substrátu nad sebou, dvě verze | Perlit, kokosové vlákno 1:2 | Perlit, kokosové vlákno 1:2 | textilie | minerální substrát typu keramzit |
| typ závlahy | není uvedeno | kapková | kapková, projevilo se ucpávání kapkovačů | z perforované hadice na horní hraně střechy | podpovrchový tok |
| doba trvání výzkumu | 12 měsíců | 12 měsíců | 12 měsíců | cca 2,5 měsíce | 5 měsíců |
| tabulka hodnot | ano | ano | ne | ano | ano |
| Rychlost infiltrace | všeobecně nižší v zimě, výrazné zlepšení po 2,5 týdnu bez závlivky, nejrychlejší <i>Canna indica</i> , nejpomalejší <i>Carex appressa</i> - hustota kořenů | | | | |
| přerušení pravidelné závlivky | 2,5 týdne bez dodávky vody mělo negativní vliv na zákal a NL kvůli delšímu zdržení vody v systému, na ostatní parametry nemělo negaativní vliv, protože nedošlo k vyschnutí | rychlejší vyschnutí květináčkového typu, období bez závlivky se výrazněji projevilo na typech bez vegetace, mělo vliv na NL, CHSK, N, naopak dobrý pro P | | rohož zvládne krátké období výpadku, kvůli retenční kapacitě | |
| velikost, rovnoměrnost systému | | tři květináče pod sebou v jedné zálivce je dostatečné na čištění, čím vyšší počet, tím se víc projevuje změna barvy, pH, EC a snižuje se nárůst biomasy rostlin; tři patra jsou dostačující | největší odběr vody v horním patře u výkonných rostlin, rovnoměrný odběr u vzorku bez vegetace a <i>O. japonicus</i> | postupné snižování nárůstu biomasy a intenzity barvy listů směrem od zdroje š. vody | |

| číslo projektu v textu a země v níž byl uskutečněn | 1 Austrálie | 2 Austrálie | 3 Austrálie | 4 Německo | 5 Španělsko |
|--|--|---|-------------|---|--|
| nerozpuštěné látky | nejlepší účinnost <i>Carex appressa</i> v inovované verzi 94 - 99 % | nejvíce zadržovány už v horním květináči | | | |
| zvýšená koncentrace živin | U většiny druhů vyšší odběr dusíku | oba typy dobře zvládly vyšší koncentraci | | zvýšená koncentrace organických látek a živin*, vedla k vysokým hodnotám CHSK na odtoku | |
| reakce na změnu provozních podmínek | nižší HLR zlepšila odběr P, na odběr N nemělo vliv (kromě vzorku bez vegetace, <i>S. nicolai</i> a <i>V. vinifera</i> , kde vzrostl) | období bez zálivky se výrazněji projevilo na typech bez vegetace, mělo vliv na NL, CHSK, N | | zvýšená koncentrace organických látek a živin*, vedla k vysokým hodnotám CHSK na odtoku | |
| Fosfor | celkově horší než odběr N, vliv substrátu; nejlepší výsledky <i>Carex appressa</i> | výrazně lepší u typu s vegetací než bez, lepší u květináčového typu; nejvíce v prvním květináči, nejlepší <i>Carex appressa</i> | | | |
| dusík | Výrazně lepší výsledky s vegetací, než bez; nejlepší: <i>Carex appressa</i> 94%, <i>Canna indica</i> 90%, <i>Lonicera japonica</i> 89% a <i>Pandorea jasminoides</i> 88%, význam mikrobiální aktivity; | nejvýraznější pokles u květináčového typu bez vegetace v období sucha; výrazný vliv rostlin, nejlepší <i>Carex appressa</i> a <i>Nephrolepsis obliterata</i> | | | |
| NO _x | NO _x určoval vliv rostlin (málo org. látek ve spodní anaerobní zóně) | NO _x určoval vliv rostlin, u málo výkonného O. japonicus a vzorku bez vegetace patrný nárůst = mikrobiální přeměna amoniakálního N na NO _x proběhla, ale NO _x se bez odběru rostlinami akumuluje | | | zvýšené hodnoty NO ₃ ⁻ , kvůli aeraci - došlo k nitrifikaci, ale nízkému procesu denitrifikace |

| číslo projektu v textu a země v níž byl uskutečněn | 1 Austrálie | 2 Austrálie | 3 Austrálie | 4 Německo | 5 Španělsko |
|--|---|--|-------------|---|---|
| BSK | Výsledky všech pozorování pod úrovní 3,5 mg/l, s účinností 97 %, díky vertikálnímu průtoku, změny teploty neměly vliv | | | | |
| CHSK | | nejvíce zadržovány už v prvním květináči | | při zvýšení HLR na 20 l/m ² /d vysoké hodnoty CHSK na odtoku (ale pravděpodobně kvůli změně hodnot na přítoku) | |
| zákal | lepší výsledky v inovované verzi | nejvíce zadržovány už v prvním květináči, ale opačnou tendenci měla barva vody - kokosové vlákno | | | |
| pH | | pH se neměnilo v průběhu trvání, lehce vyšší u květináčového typu, postupné zvyšování s počtem zapojených květináčů, nejlepší <i>Nephrolepsis obliterata</i> | | | |
| EC elektrická vodivost | | postupné zvyšování s počtem květináčů, nejlepší <i>Nephrolepsis obliterata</i> | | | nízký pokles EC, kvůli obsahům mýdla a detergentů |
| endokrinní disruptory | | | | | výsledky většinou téměř 100 % odběru, až na Bifenol-A (součást plastů) a TCP a TBEP |
| farmaceutika | | | | | 60-100% odstraňování |

| číslo projektu v textu a země v níž byl uskutečněn | 1 Austrálie | 2 Austrálie | 3 Austrálie | 4 Německo | 5 Španělsko |
|---|---|---|--|---|--------------|
| mikrobiální znečištění | nezjišťováno | doporučená dezinfekce, E.coli nejvíce odstraňováno v prvním patře, různé mezi jednotlivými druhy rostlin, nejlepší N. obliterata 90%, C. appressa 86% | nezjišťováno | nezjišťováno | nezjišťováno |
| rozdíl mezi jednotlivými provedeními v rámci jednoho projektu | V některých případech (NL, zákal, NH ₃) lepší inovovaný typ | rychlejší vyschnutí květináčkového typu, období bez zálivky se výrazněji projevilo na typech bez vegetace, mělo vliv na NL, CHSK, N, snazší manipulace s květináčovým typem | | | |
| vliv teploty | zvýšení teploty = pozitivní vliv na odběr N, naopak nemělo vliv na P | | vyšší teploty znamenaly větší odběr vody rostlinami; s vyšší teplotou v zimě přibývá transpirace, v létě přibývá evaporace | | |
| změna v průběhu trvání | | postupné zlepšování, vzhledem k porovnání typů s a bez vegetace je to vliv mikrobiální aktivity | u výkonných rostlin velký rozdíl mezi létem a zimou v retenci vody | | |
| odběr vody | | | závisí na druhu rostliny, nejvyšší odběr v průměru 4,3 l/m ² <i>Carex appressa</i> , souvisí s nárůstem biomasy; nejvyšší měsíční odběr jednou rostlinou v systému tří pater v přepočtu na m ² byl 114 l, průměrný nezi všemi testy včetně bez vegetace 39 l | při HLR 10 l/m ² /d odběr 3,9 l/m ² /d, při HLR 15 l/m ² /d odběr 4,9 l/m ² /d (ale vyšší HLR se testovala za vyšších teplot) | |

| číslo projektu v textu a země v níž byl uskutečněn | 1 Austrálie | 2 Austrálie | 3 Austrálie | 4 Německo | 5 Španělsko |
|--|--|--|---|--|---|
| evaporace v rámci evapotranspirace | | | v létě: 35-50 %, v zimě: 42-83 % | | |
| vlhkost vzduchu | | | s přibývajícím vlhkostí vzduchu se zmenšuje odběr vody v zimě, v létě se to stejně nepotvrdilo (kromě <i>N. obliterata</i>) | | |
| závěr autorů | z pozorovaných rostlin nejvýkonnější a nejméně ovlivněné podmínkami: <i>C. appressa</i> , <i>C. indica</i> , <i>L. japonica</i> , <i>V. vinifera</i> ; doporučeno nižší hydraulické zatížení | výkonné rostliny v jednom patře by sloužily stejně dobře jako méně výkonné ve dvou patrech nad sebou; s většinou testovaných rostlin by byly dostačující dvě patra | <i>C. appressa</i> a <i>N. obliterata</i> mají největší odběry vody (ročně 912, 913 l/m ² oproti tomu <i>O. japonicus</i> 377 l/m ²) | systém splňuje německé požadavky na BSK do 40mg/l a CHSK do 150 mg/l | zkoušená jednotka by byla schopna čistit až 2 m ³ vody, avšak nutná dezinfekce |
| doporučení velikosti systému | při HLR 55 mm/d čtyřčlenná rodina s produkcí 226 l/d je doporučená plocha 4,1 m ² | tři patra jsou plně dostačující, autoři uvádí, že i 2 patra o výšce 300-450 mm by měly být dostačující, ale záleží na typu rostlin | | | zkoušená jednotka by byla schopna čistit až 2 m ³ vody, avšak nutná dezinfekce |
| LCA | | | | | nerezové nádoby, spotřeba el. Energie |
| * v domě během testu začala výroba sýrů = změny koncentrací na přítoku | | | | | |
| zkratky: | | | | | |
| HLR | rychlost hydraulického zatížení | | | | |
| NL | nerozpuštěné látky | | | | |
| CHSK, BSK | chemická a biologická spotřeba kyslíku | | | | |
| TCPP a TBEP | zpomalovače hoření, karcinogeny | | | | |

| 0 | 1 | | | | | 2 | | | | | 4 | | | | | | 5 | | | | | | |
|--|----------|---|----|---|----|----------|-------------------------|------|------|---------------------------|-------|--|---|-------|------|--|---|-------|------|-----------------|----------|------------------------------------|----|
| | influent | Carex appressa v inovovaném designu | | Carex appressa ve standardním designu | | influent | Carex appressa V-pot | | | Carex appressa V-block | | influent HLR 10l/m ² /d | smíšená skladba rostlin HLR 10l/m ² /d | | | influent HLR 15l/m ² /d | smíšená skladba rostlin HLR 15l/m ² /d | | | | influent | Vert-ECO, rostliny neuvedeny | |
| | mg/l | mg/l | R% | mg/l | R% | mg/l | mg/l | R% | mg/l | R% | mg/l | mg/l | R% | mg/l | mg/l | R% | mg/l | mg/l | R% | | mg/l | mg/l | R% |
| TSS ¹⁾ | 74 | 3,47 | 94 | 8,1 | 89 | 71,5 | 1,25 | 98,4 | 1,3 | 98,6 | | | | | | | 336,09 | 3,98 | 98,8 | TSS | | | |
| TN ²⁾ | 5,3 | 0,44 | 92 | 0,49 | 91 | 5,1 | 0,41 | 91,8 | 0,56 | 92,5 | 16,7 | 1,2 | 96,2 | 16,3 | 1,1 | 95,2 | 16,7 | 4,21 | 74 | TN | | | |
| NO _x | 0,24 | 0 | | 0,001 | | 0,22 | 0 | 98,6 | 0,01 | 78,5 | | | | | | | | | | NO _x | | | |
| NH ₃ | 0,14 | 0,001 | | 0,002 | | | | | | | | | | | | | | | | NH ₃ | | | |
| TP ³⁾ | 3 | 0,46 | 85 | 1 | 67 | 2,97 | 1,7 | 46 | 1,9 | 40,4 | 1,2 | 0,4 | 77,6 | 2,6 | 0,3 | 88 | 1,26 | 0,32 | 74,6 | TP | | | |
| DOC ⁴⁾ | 32 | 9,37 | 71 | 5,04 | 84 | | | | | | | | | | | | | | | DOC | | | |
| TOC ⁵⁾ | 36 | 9,7 | 73 | 6,12 | 83 | | | | | | | | | | | | 50,76 | 6,09 | 88 | TOC | | | |
| BOD ⁶⁾ | 104 | 4,33 | 96 | 2,4 | 98 | | | | | | 393,3 | 10,6 | 98,9 | 407,7 | 5,9 | 98,2 | 130,32 | 3,81 | 97,1 | BOD | | | |
| COD ⁷⁾ | | | | | | 317 | 28,3 | 92,4 | 26,3 | 92,5 | 635,2 | 69,1 | 93,5 | 1115 | 61,3 | 94,7 | 409,11 | 13,89 | 96,6 | COD | | | |
| E.coli ⁸⁾ | | | | | | 21,7 | 2,72 | 86 | 2,22 | 87,6 | | | | | | | | | | E.coli | | | |
| ¹⁾ celkové nerozpuštěné látky | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ²⁾ celkový dusík | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ³⁾ celkový fosfor | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ⁴⁾ celkový rozpuštěný uhlík | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ⁵⁾ celkový uhlík | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ⁶⁾ BSK biologická spotřeba kyslíku | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ⁷⁾ CHSK chemická spotřeba kyslíku | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ⁸⁾ *10 ³ MPN/100ml (most probable number - nejvíc pravděpodobný počet) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |