

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**

**KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE**



**ŠEDÉ VODY A METODY JEJICH ČIŠTĚNÍ**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Vedoucí práce: prof. RNDr. Dana Komínková, Ph.D.**

**Bakalant: Daniel Karas**

**2021**

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma: Šedé vody a metody jejich čištění vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou, a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze 31. 3. 2021

.....

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval své rodině za podporu při psaní bakalářské práce a své tetě za jazykovou korekturu. Především bych chtěl však poděkovat vedoucí práce prof. RNDr. Daně Komínkové, Ph.D. za její vstřícný, pozitivní přístup, ochotu a odborné rady.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá rešeršním zmapováním způsobů čištění šedých vod různého původu. Zaměřuje se na porovnání těchto systémů s důrazem na účinnost, ale i provozní a pořizovací náklady. Práce se snaží syntézou proběhlých experimentálních výzkumů určit vhodné metody pro jednotlivé využití šedých vod. V úvodních kapitolách jsou představeny i základní ukazatele kvality vody a legislativní rámec v České republice a dalších státech.

### **Klíčová slova:**

Legislativa, metody čištění, recyklace, šedé vody, znovuvyužití

## **Abstract**

This bachelor's thesis deals with research mapping of methods of treatment grey waters of different origins. It focuses on comparing these systems with an emphasis on efficiency, as well as operating and acquisition costs. The thesis seeks to determine suitable methods for individual use of grey water by synthesis of experimental research. The introductory chapters also present the basic indicators of water quality and the legislative framework in the Czech Republic and other countries.

## **Keywords**

Legislation, treatment methods, recycling, reuse, greywater

# Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Cíle práce .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Odpadní vody a jejich členění .....</b>	<b>4</b>
<b>4. Šedé vody a jejich čištění.....</b>	<b>6</b>
4.1 Hlavní ukazatele kvality vody .....	7
4.1.1 Vodíkový exponent (pH).....	8
4.1.2 Vodivost .....	8
4.1.3 BSK <sub>5</sub> .....	9
4.1.4 Chemická spotřeba kyslíku (CHSK).....	9
4.1.5 Celkový obsah nerozpuštěných látek .....	9
4.1.6 Bakterie indikující fekální znečištění.....	9
4.1.7 Zákal.....	10
4.1.8 Celkový dusík .....	10
4.1.9 Celkový fosfor.....	11
4.2 Kvalita šedé vody a rizika .....	11
4.3 Porovnání legislativy a způsobů čištění ve vybraných státech.....	13
4.4 Systémy úpravy šedých vod .....	23
4.4.1 Systém s jednoduchou úpravou.....	23
4.4.2 Systém s chemickou úpravou.....	26
4.4.3 Systém s fyzikální úpravou .....	27
4.4.4 Systém přírodního čištění.....	28
4.4.5 Systém s biologickou úpravou .....	29
4.4.6 Systém membránového čištění.....	29
4.5 Souhrnné porovnání systémů úpravy šedých vod .....	30
4.6 Porovnání konkrétních produktů .....	40
4.6.1 Ecoplay.....	40
4.6.2 Aquacycle.....	41
4.6.3 Hydraloop.....	42
4.6.4 Aqualoop .....	43
<b>5. Diskuse .....</b>	<b>48</b>

<b>6. Závěr .....</b>	<b>51</b>
<b>7. Přehled literatury a použitých zdrojů.....</b>	<b>52</b>
<b>8. Seznam obrázků a tabulek.....</b>	<b>66</b>

# 1. Úvod

*„Voda je hnací silou přírody“*

*Leonardo da Vinci*

Planeta Země je vodní planeta. Dalo by se tedy předpokládat, že problém s vodou nemůže nastat a že naše planeta má doslova hojnost vody. Ve skutečnosti je 97% mořské vody, 2,7% je absorbováno v ledovcích a čistá voda dosahuje pouze 0,3% v řekách, jezerech, nádržích a podzemních zásobárnách. Jelikož je voda potřebná pro výrobu takřka každého produktu na světě, jsou na ni všechna odvětví nějakým způsobem závislá (Linton, 2004). Současný stav vodních zdrojů bohužel v České republice není uspokojivý, negativně ho ovlivňují změny v rozložení atmosférických srážek nebo zvyšující se průměrná roční teplota vzduchu. Dochází k poklesu retenční schopnosti půdy, rovnání vodních toků či eliminaci lužních lesů (Vizina et al., 2017).

Někteří britští vědci se dokonce domnívají, že před rokem 2080 se dramaticky změní poměr srážek, tj. zvýšení v zimě o 10 až 35%, doprovázené poklesem letních srážek o 35 až 50% (Hulme et al., 2002). Vznikl by tak vážný problém s nedostatkem použitelné vody a netýkalo by se to ani příliš vzdálené budoucnosti. Jenom v jihovýchodní Asii se odhaduje, že bude nedostatku vody čelit 200 milionů lidí a budou ohroženi změnami klimatu a zastavením socioekonomického růstu (Gao et al., 2018). Moderní vyspělé státy by se dle návrhu Evropské unie (2016) měly připojit ke konceptu „virtuální vody“ a ekonomice s nízkou spotřebou vody zejména v zemědělství. Tento koncept poukazuje na nesmyslnost exportování plodin náročných na vodu ze zemí trpících nedostatkem sladkovodních zdrojů.

Znovupoužití šedých vod se tak v tomto kontextu jeví jako dobrý způsob, jak výše zmíněným katastrofickým scénářům předejít. Vedle environmentálního hlediska pak recyklace vody přináší i finanční benefity. Bohužel v České republice v současnosti nepanuje ekonomický tlak na užívání jiných vod než z veřejných vodovodů či studní, jelikož je zatím dostačující vydatnost vlastních vodních zdrojů. Postupně jsou aspoň patrné snahy o retenci vody v krajině pomocí adaptačních opatření, o vytvoření tzv. chytrých měst s podporou modro-zelené infrastruktury a také je vyvíjen tlak na lepší využití vody v domácnostech. Snaha průměrného obyvatele ČR ovšem končí u zachycení srážek do nádrží, využívání úsporných baterií nebo šetřícího systému splachování toalet.



Větší pozornost by si zasloužila otázka znovuvyužití tzv. šedé vody. Šedou vodu, která odtéká z umyvadel, van, sprch a dřezů, je možné po důkladné úpravě použít jako vodu provozní. Lze ji znovu využít pro splachování záchodů, pisoárů nebo zalévání zahrad (Bartoník et al., 2012).

Tato bakalářská práce se snaží o ucelený obraz problematiky šedých vod – tématu, které se začíná skloňovat ve všech pádech. Příkladem může být i vyjádření ministra životního prostředí Richarda Brabce z roku 2017: *„Máme celou řadu plánů i s takzvanou šedou vodou, která odchází třeba z umyvadel, a je možno ji opět po zpracování použít ke splachování WC. Splachujeme, stejně jako mnohé jiné evropské země, pitnou vodou, což je barbarství a v některých zemích, včetně třeba Izraele, kde vodou umí šetřit, se to dnes považuje za něco nepřijatelného. Žijeme ve vodním blahobytu, ten ale skončil.“* (iDNES, 2017)

## **2. Cíle práce**

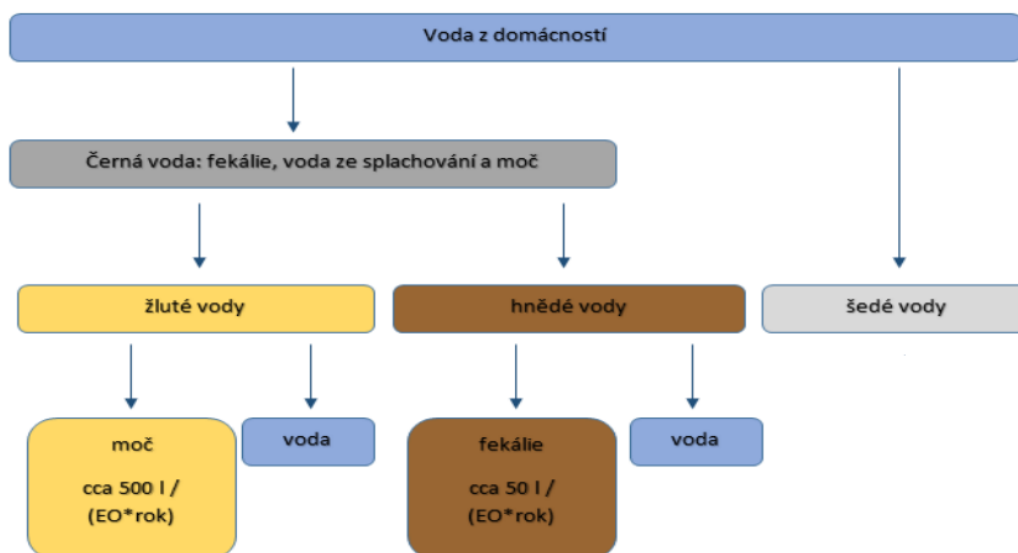
Cílem bakalářské práce je na základě literární rešerše zmapovat metody čištění šedých vod a následně vyhodnotit vhodnost jednotlivých metod pro šedé vody různého původu.

### 3. Odpadní vody a jejich členění

Dle zákona č. 254/2001 Sb. je definice odpadních vod následující: „*Odpadní vody jsou vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu) a jejich směsi se srážkovými vodami, jakož i jiné vody z těchto staveb, zařízení nebo dopravních prostředků odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. Odpadní vody jsou i průsakové vody vznikající při provozování skládek a odkališť nebo během následné péče o ně, s výjimkou vod, které jsou zpětně využívány pro vlastní potřebu organizace, a vod, které odtékají do vod důlních.*“

Primárně je komunální voda dělena na splaškovou a srážkovou. Nařízení vlády č. 401/2015 definuje pojem splašky jako *odpadní vody z domácností a služeb, které vznikají převážně jako produkt lidského metabolismu a činností v domácnostech.*

Domácí odpadní vody lze rozdělit na černou vodu, šedou vodu a dešťovou vodu (Emmerson, 1998; Amoatey, Bani, 2011).



Obrázek 1: Rozdělení vod v domácnosti (Plotěný, 2015)

**Černá voda** (blackwater) pochází z toalet a obsahuje kontaminované fekálie, moč a obecně se vyznačuje vysokou koncentrací organických látek. **Šedá voda** (greywater)

označuje odpadní vodu z koupelen a prádelen. Zahrnuje vodu z van, sprch, umyvadel a výlevek (Nolde, 1999). Právě tato šedá voda je největším zdrojem odpadních vod. **Dešťová voda** pochází ze střech a zpevněných povrchů. Dále se pak používá i termín **bílá voda**, která vznikne čištěním a dezinfekcí šedé vody. Nemusí mít ale jakost vody pitné. Tu lze následně využít pro splachování toalet, závlahu zahrad a travnatých ploch, nebo použít k jiným potřebám obyvatelstva např. úklidu domu (Nolde, 1999), případně k technologickým nebo provozním účelům. Dalším pojmem, s kterým se lze setkat je greenwater, neboli **zelená voda**, odkazující k environmentálnímu hledisku (Makropoulus et al., 2006). Tento termín se používá k označení ošetřené dešťové vody a upravené šedé vody. Studie ukázaly, že bílé/zelené vody mohou být nákladově efektivní a při správném provozu nepředstavují žádné hygienické riziko ani ztrátu pohodlí pro spotřebitele (Nolde, 1999; Hernandez Leal, 2011).

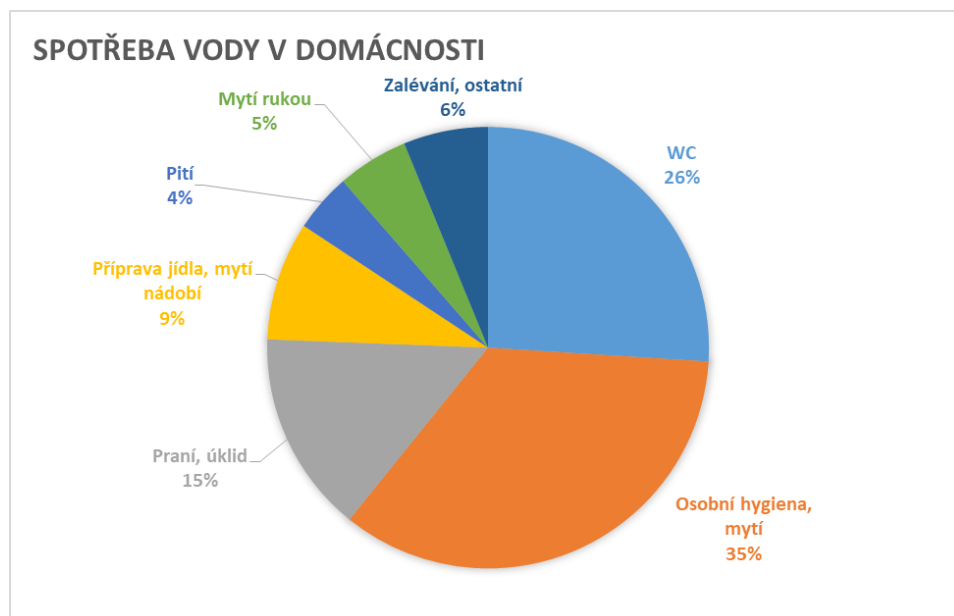
Všechny tyto typy odpadních vod mohou být různými způsoby vyčištěny a znovupoužity, ale úroveň účinnosti a metody budou diametrálně odlišné. Z podstaty věci by znovuvyužití šedé vody mělo být jednodušší, bezpečnější, rychlejší, pohodlnější a zejména ekonomicky výhodnější než znovu vyčištění černé vody. Právě snaha striktně rozdělit pojmy černé a šedé vody v mezinárodním měřítku je patrná hlavně v posledních několika letech. Souvisí to se snahou pojmenovat problém nedostatku pitné vody a hledání ekonomicky výhodných a ekologicky vhodných řešení (World Health Organisation, 2006).

## 4. Šedé vody a jejich čištění

Šedou vodou se podle EN 12056 (2001) nazývají „*splaškové odpadní vody neobsahující fekálie a moč, které odtékají z umyvadel, van, sprch, dřezů apod.*“ Své označení šedá voda získala díky svému typickému zbarvení. Pokud bude skladována i po krátkou dobu, voda se často zbarví právě do šeda (Emmerson, 1998).

Průměrná denní spotřeba vody na osobu v roce 2019 byla v Praze 114 litrů (PVK, 2020), v ostatních částech ČR je spotřeba o něco nižší, podle českého statistického úřadu průměrný Čech spotřeboval v roce 2018 jen kolem 90 litrů pitné vody (CZSO, 2019). Ve srovnání s vyspělými státy je spotřeba vody u nás spíše nižší, liší se dle použití v různých státech díky odlišnému životnímu stylu. V některých zemích je běžné využívat k osobní hygieně, praní nebo k mytí nádobí blízkost řeky, proto je spotřeba nižší. Ve státech s průměrnou vyšší teplotou je zase častější sprchování a spotřeba vody je tak logicky vyšší (Shalinee, Ademola, 2014).

Dle grafu na obrázku č. 2 je patrné, že produkce šedé vody v České republice tvoří více než 50 % celkové produkce odpadní vody v domácnosti. Vychází tak, že potřeba vody využívaná na úkony, při nichž nemusí být použita pitná voda, je téměř polovina produkce odpadní vody. Šedou vodou, zejména z koupelen, je možné po úpravě použít jako vodu provozní (tzv. bílou vodu) pro splachování záchodů, pisoárů a zalévání zahrad, což vede k výrazné úspoře vodného a stočného, ale i k snížení spotřeby pitné vody v objektu.



Obrázek 2: Spotřeba vody v domácnosti (ASIO, 2012)

Recyklace vody je významným zdrojem vody v místech, kde je nízká kapacita dostupného zdroje kvalitní pitné vody, ale i v objektech se zvýšenou produkcí šedých vod jako jsou například hotely, penziony, domovy důchodců, studentské koleje, wellness centra, bazény, ale i myčky aut (Plotěný, 2011). Z celé škály znovuvyužití vod tedy vychází jako nejvýhodnější právě znovuzpracování šedých vod (Bartoník et al., 2012).

#### 4.1 Hlavní ukazatele kvality vody

Základním srovnávacím kritériem pro určení efektivity čištění šedých vod jsou hlavní ukazatele kvality vody (Li et al., 2009). Nejvýznamnější složkou odpadních vod, zejména těch splaškových, jsou organické a anorganické sloučeniny obsahující dusík a fosfor (Herka, 2014). Na obsah jednotlivých ukazatelů má primární vliv jejich původ, ale zde lze vidět velký rozptyl jednotlivých hodnot, které ovlivňuje zejména životní styl a využívání různých prostředků. V tabulce č. 1. jsou uvedeny základní charakteristiky šedých vod na základě různého původu a další základní informace k jednotlivým ukazatelům.

Tabulka 1: Základní charakteristiky šedých vod různého původu (Li et al., 2009)

	<b>Koupelna</b>	<b>Prádelna</b>	<b>Kuchyně</b>	<b>Smíšené</b>
<b>pH</b>	6,4 - 8,1	7,1 - 10	5,9-7,4	6,3 - 8,1
<b>Celkový obsah rozpuštěných látek</b>	7 - 505	68 - 465	134-1300	25 - 183
<b>Zákal</b>	44 - 375	50 - 444	298,0	29 - 375
<b>CHSK</b>	100 - 633	231 - 2950	26 - 2050	100 - 700
<b>BSK<sub>5</sub></b>	50 - 300	48 - 472	536 - 1460	47 - 466
<b>Celkový dusík</b>	3,6 - 19,4	1,1 - 40,3	11,4 - 74	1,7 - 34,3
<b>Celkový fosfor</b>	0,11 - 48,8	ND - 171	2,9 - 74	0,11 - 22,8
<b>Koliformní bakterie - celkem</b>	10 - 2,4x10 <sup>7</sup>	200,5 - 7x10 <sup>5</sup>	nad 2,4x10 <sup>8</sup>	56 - 8,03x10 <sup>7</sup>
<b>Koliformní bakterie - fekální</b>	0 - 3,4x10 <sup>5</sup>	50-1,4x10 <sup>3</sup>	-	0,1- 1,5x10 <sup>8</sup>

#### 4.1.1 Vodíkový exponent (pH)

Hodnota pH označuje koncentraci H<sup>+</sup> v roztoku (tj. záporný logaritmus vodíkových iontů). Hodnota odpadních městských vod se pohybuje v rozmezí 7-7,6. Tato hodnota nejlépe vyhovuje biologickým procesům, kdy optimální rozsah pro většinu bakterií je v rozmezí od 6,0 do 8,0. Výkyvy svědčí o vlivu průmyslových odpadních vod. Vody vzniklé praním prádla jsou zásadité (pH 9-10), oproti tomu vody z klasických kuchyní spíše kyselější (Plotěný, 2011). Hodnoty pod 5,5 a nad 8,5 způsobují při čištění obtíže. Odstranění problémů spojených s pH závisí na tom, zda je způsobena organickým nebo anorganickým sloučeninami. Biologicky rozložitelné organické sloučeniny mohou snížit pH až pod 5,0 (například nižší mastné kyseliny). Při vysokých hodnotách pH na vstupu je nutno počítat s tím, že při biologickém rozkladu intenzivně vzniká CO<sub>2</sub> a tím dochází k samovolnému poklesu pH do neutrální oblasti (Plotěný, 2005).

#### 4.1.2 Vodivost

Vodivost je ukazatelem množství rozpuštěných anorganických rozpuštěných látek obsažených ve vodě. Vyšší obsah rozpuštěných minerálních látek nezpůsobuje zdravotní problémy, naopak minerální vody jsou při občasném užívání často léčivé, na druhou stranu vyšší konduktivita může způsobit problémy, když je voda znečištěná. V průmyslu je přílišně mineralizovaná voda problémem zvyšující se koroze a inkrustačních účinků. Zanáší přístroje a znehodnocuje produkty (Euroclean, 2020). Měření vodivosti se například využívá v případě zhodnocení stavu membrány, a tím i funkčnosti systému reverzní osmózy. To je využíváno zejména v průmyslových zařízeních s větší spotřebou recyklované vody (Endress, 2020).

### 4.1.3 BSK<sub>5</sub>

Biologická spotřeba kyslíku (BSK<sub>5</sub>) je nejvýznamnější složkou pro posuzování kvality splaškových odpadních vod. BSK vyjadřuje obsah biologicky rozložitelných organických látek v odpadních vodách, zjišťuje se v původním nebo zředěném vzorku z rozdílu koncentrací kyslíku před inkubací a po ní a vyjadřuje se v mg/l. Úplná biochemická oxidace organických látek ve splaškových vodách trvá při běžné metodě zhruba 20 dní. Standardně se stanovuje BSK<sub>5</sub>, tj. provádí se inkubace, která trvá pět dní za standardních podmínek (20°C, vyloučení přístupu světla a atmosférického kyslíku). Tento ukazatel je důležitý z hlediska bezpečného skladování upravené vody, aby nehrozilo riziko rozkladu (Kučerová et al., 2010).

### 4.1.4 Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)

Je definována jako množství kyslíku odpovídající spotřebě oxidačního činidla při úplné oxidaci organických látek obsažených ve vodě. Jako oxidační činidlo bývá používán dichroman draselný. Průměrná CHSK splaškových odpadních vod bývá 300 až 800 mg/l, hodnoty mimo tuto oblast lze považovat za anomální. Nízké hodnoty poměru CHSK/BSK (<2) ukazují na přítomnost snadno rozložitelných látek, zatímco vysoké hodnoty tohoto poměru znamenají přítomnost obtížně rozložitelných látek (Groda et al., 2007). Poměrné zastoupení organických látek ve vodách lze odhadnout z poměru BSK<sub>5</sub>:CHSK. Čím je hodnota tohoto poměru větší, tím více biologicky snadno rozložitelných látek voda obsahuje. U odpadních vod lze tento poměr uvést v rozmezí 0,5 - 0,75, u biologicky vyčištěných vod v rozmezí 0,1 - 0,2, u čisté povrchové vody mají tento poměr menší než 0,1 (Pavlíková, 2014).

### 4.1.5 Celkový obsah nerozpuštěných látek

Nerozpuštěné látky patří mezi významné ukazatele jakosti surových i vyčištěných odpadních vod. Pod pojmem nerozpuštěné látky jsou zahrnuty i látky koloidně dispergované. Stanovení se provádí filtrací přes filtr ze skelných vláken o střední velikosti pórů 1,0 μm ± 1 μm.

### 4.1.6 Bakterie indikující fekální znečištění

Bakterie, které jsou zjišťovány při kvalitě a možnosti využití vody jsou zejména *E. coli*, koliformní bakterie, *Clostridium perfringens*, a enterokoky. *E. coli*



je v současnosti nejlepším indikátorem fekálního znečištění. Koliformní bakterie jsou ukazatelem účinnosti úpravy a dezinfekce vody.

Obsah těchto bakterií, jak lze vidět v tabulce č. 2, je výrazně nad dovolenými hodnotami, a můžou proto způsobit zdravotní riziko lidem, kteří se dostanou do kontaktu s takto znečištěnou vodou (WHO, 2016).

Tabulka 2: Základní charakteristiky šedých vod na základě různého původu (WHO, 2016)

Zdroj:	Počet koliformních bakterií
Sprcha, vana a pračka s dětskými plenami	$10^4 - 10^6$
Koupání a sprchování	$6 \times 10^3$
Pračka, koupelnové umyvadlo, sprcha a kuchyňský dřez	$3,44 \times 10^6$
Pračka s dětským oblečením	$2,6 \times 10^4 - 8,45 \times 10^5$
Pračka (domácnost bez dětí)	$7 \times 10^1 - 2,9 \times 10^4$
Sprcha a umyvadlo	$1,5 \times 10^2 - 3,5 \times 10^4$
Sprcha a vana	$10^1 - 5 \times 10^3$

#### 4.1.7 Zákal

Sledování „zákalu“ je důležitým indikátorem. Nerozpuštěné pevné látky v kapalině (kal, řasy, mikroby, ...) pohlcují a rozptylují dopadající světlo. Zákal vody je způsobován nejčastěji následujícími látkami, které způsobují i zdravotní problémy (Ručka et al., 2009):

- železo a mangan (ionty poškozují zejména ledviny);
- sirovodík;
- jílovité minerály;
- koliformní bakterie (zdravotní komplikace již po užití malého množství vody) a jiné mikroorganismy (nebezpečné jsou zejména jejich metabolity).

#### 4.1.8 Celkový dusík

Dusík patří spolu s fosforem mezi nejdůležitější makrobiogenní prvky, figuruje při všech biologických procesech v povrchových, podzemních i odpadních vodách. Obsah celkového dusíku ve vodě je dán součtem koncentrací dusíku ve všech anorganických a organických formách dusíkatých sloučenin, vyjadřuje se v mg/l. Zdrojem organického dusíku jsou splaškové vody (člověk vyloučí zhruba 12 g/den), odpady ze zemědělské výroby, rozkládání biomasy. Zdrojem anorganického dusíku jsou splachy ze zemědělských půd hnojených minerálními dusíkatými hnojivy, atmosférické vody, oxidy dusíku unikající ze spalování fosilních paliv (Pavlíková,

2014). K velmi složitým procesům v přírodě dochází při odbourávání amoniakálního znečištění (amonný iont  $\text{NH}_4^+$ ). Veškeré formy dusíku ve vodách podléhají četným biologickým přeměnám, z nichž nejdůležitější jsou nitrifikace a denitrifikace (Herčík, Dirner, 2007). Nitrifikaci lze popsat jako biochemickou reakci amoniakálního dusíku na dusitany a dusičnany, probíhá ve dvou stupních pomocí bakterií, v prvním stupni např. bakteriemi *Nitrosomas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosospira*, ve druhém stupni *Nitrobacter* a *Nitrocystis*. Proces je ovlivněn koncentrací  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , pH, teplotou a některými organickými a anorganickými látkami (Pavlíková, 2014).

#### **4.1.9 Celkový fosfor**

Fosfor je prvek vyskytující se ve vodách v organických nebo anorganických sloučeninách, může být rozpuštěný a nerozpuštěný. Přírodním zdrojem fosforu je rozpouštění některých minerálů a zvětralých hornin, odumřelá těla rostlin a živočichů. Antropogenním zdrojem jsou aplikace hnojiv, odpadní vody z prádelny a textilního průmyslu, živočišné odpady a splaškové vody (Pavlíková, 2014). V odpadních vodách má největší význam rozpuštěný anorganický fosfor ve formě fosforečnanů, polyfosforečnanů. Kondenzované fosforečnany jsou součástí mycích prostředků, různé jary nebo tablety do myček nádobí a jejich největším zdrojem tak nutně musí být splaškové vody. Fosforečnany se využívají i v průmyslu jako součást chladících vod, které brání tvorbě inkrustací v potrubí a na technologických zařízeních. Množství fosforu v odpadní městské vodě se pohybuje kolem 3 g na osobu/den, člověk močí vyloučí zhruba 1,5 g/den. Obsah fosforu ve vodách lze vyjádřit v mg/l celkového fosforu (Groda et al., 2007; Pitter, 2009).

## **4.2 Kvalita šedé vody a rizika**

Rizika šedých vod spočívají v obsahu různých látek a organismů, které mají negativní vliv na zdraví. Problematické je zejména zdravotní riziko spojené s kvalitou vody překračující hygienické limity pitné vody zejména mikrobiologické oživení a přítomnost patogenních zárodků, které se mohou šířit v aerosolu, nebo špatné propojení trubních systémů pitné vody s alternativním zdrojem vody (EurEau, 2021). Kvalita předčištěné vody je ovlivňována odtékající vodou z domácnosti, která je plná čisticích prostředků a dalších látek jako tělní odpady (stolice a moč), vlasy, šampon, kousky jídla, tuk, prací prášek, kondicionéry textilie, toaletní papír, chemikálie, čističí

prostředky pro domácnost, nečistoty, mikroorganismy (bakterie) a mnoho dalších (Amoatey, Bani, 2011).

Nejrizikovějším patogenem je nejčastěji určité množství *E. coli*. Další mikrobiální rizika představují *Salmonella* spp., *Norovirus*, *Enterovirus*, *Giardia*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridia* a *Rotavirus*, *legionely* a mykobakterie (Dalahmeh, 2016). Nesmí se zapomenout na rizika spojená s výskytem mikropolutantů (PPCPs – léky a produkty osobní péče), a také látek přítomných v produktech osobní hygieny (Kožíšek, 2013).

Primárně je tedy důležité určit, odkud voda pochází a k čemu bude vyčištěná voda používána. Poté se posoudí všechna zdravotní rizika a stanoví se hygienické cíle, které mají podobu definovaných požadavků na kvalitu vyčištěné vody, ale i požadavků na účinnost čištění vody a ověřování účinnosti čištění (Kožíšek, 2012). Autoři Shi, Wang a Jiang (2018) uvádí, že roční riziko spojené s opětovným použitím ošetřených a chlorovaných šedých vod pro zahradní zavlažování a splachování toalet nebylo výrazně vyšší než riziko spojené s použitím pitné vody pro stejné účely. Ve všech sledovaných případech bylo zdravotní riziko vyplývající z opakovaného použití upravených a chlorovaných vod v souvislosti s *Legionella* poměrně malé. Infekční rizika patogenních *E. coli* při splachování toalety upravenou šedou vodou jsou téměř za každé situace zanedbatelná (SZÚ, 2019). Na druhou stranu při použití vod nechlorovaných jsou zdravotní rizika už značně vyšší.

Z hlediska původu je k recyklaci nejméně vhodná šedá voda pocházející z kuchyňského prostředí. Je to z důvodu zvýšeného výskytu olejů, tuků a potravinových zbytků, které ukazují vysokou koncentraci BSK<sub>5</sub>, dusíku, fosforu, ale také zákalu, oproti šedým vodám z jiných zdrojů (Shi et al., 2018). V tabulce č. 3 jsou patrné velké rozdíly ve sledovaných hodnotách dle původu šedé vody.

Tabulka 3: Hodnoty BSK<sub>5</sub>, CHSK a plovoucích látek šedých vod na základě různého původu (Plotěný, 2011)

Zdroj šedé vody	Praní prádla	Sprchování, vany, umyvadla	Dřezy, myčky na nádobí
BSK <sub>5</sub> (mg/l)	45 - 582	19 - 200	569 - 659
CHSK (mg/l)	375	64 - 8000	26 - 1600
Plovoucí látky (mg/l)	79 - 280	7 - 120	134 - 1300

Zdravotní riziko se může vyskytnout i během využívání šedých vod pro potřeby zavlažování, jak při přímém kontaktu, tak i sekundárně (viz tabulka č. 4). Mackulák

(2016) dokázal, že některé mikropolutanty se dostávají skrze zavlažovanou půdu až do vypěstovaných plodin.

Dle legislativy v České republice je závlaha (i vyčištěnou odpadní vodou) brána jako vypouštění. Z tohoto důvodu se k ní vodoprávní úřady staví negativně a vyžadují vyjádření hydrogeologa (Plotěný, 2011). Je proto důležité zvážit citlivost podzemní vody, půdy a klimatických podmínek, kdy se jako vhodnější jeví zavlažování recyklovanou šedou vodou rychle rostoucí dřeviny a nově vysazované lesy (Hnátková, Šereš, 2016).

Například v Tunisku je zakázáno použít recyklovanou vodu na zavlažování a na Kypru se nesmí zavlažovat rostliny, které jsou určeny k okamžité konzumaci bez tepelné úpravy (Alcade-Sanz, Gavlik, 2017). Podle stanoviska EU (2016) jsou kyperské normy na recyklaci šedé vody zbytečně přísné, a pokud se v budoucnosti půjde cestou společných evropských standardů, usnadní se úprava a použití šedých vod i v této zemi. V tabulce č. 4 jsou zaznamenané možné dopady při zavlažování šedou vodou.

Tabulka 4: Možné způsoby vlivu při zavlažování šedou vodou (IGES, 2006)

Závlaha využitím recyklované	Způsob přenosu	Dopad
	Přímý kontakt, inhalace, požití	Pracovníci, farmáři, rezidenti, veřejnost
	Požítí patogenů na jedlé části rostliny	Spotřebitel
	Vstřebání kontaminantů rostlinou	Spotřebitel
	Akumulace, průsak do půdy, a povrchový odtok kontaminantů	Podzemní voda Povrchová voda Půda
	Průnik kontaminantů do abiotických a biotických složek životního prostředí	Podzemní voda Pitná voda
	Kontaminace pastvy, krmiva, potravy	Zvířata, Spotřebitel

Jedním z aktuálních rizik při využití šedé vody je šíření SARSCoV-2. V současnosti vzniklo doporučení o přesunutí šedé vody z nízko rizikového zdroje do vyšších kategorií právě z důvodu zvýšené možnosti infekce (Oliver et al., 2020). Jelikož se ale jedná o poměrně novou hrozbu, studie na rizikovost šíření SARSCoV-2 skrze vyčištěnou šedou vodu ještě nepřinesla relevantní data.

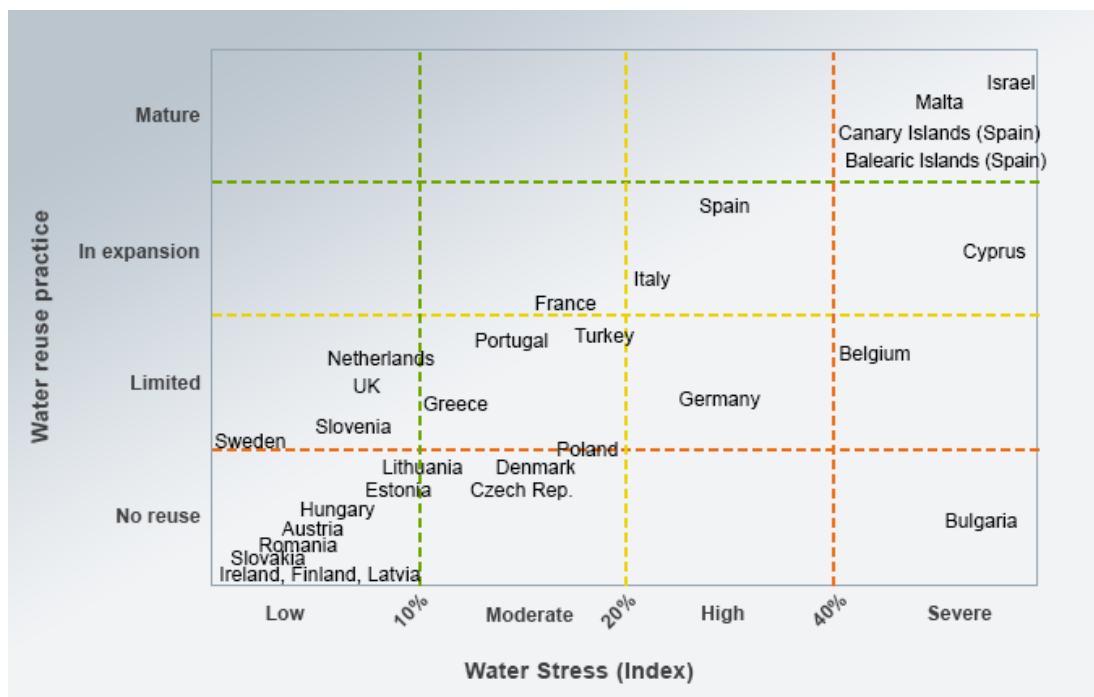
### 4.3 Porovnání legislativy a způsobů čištění ve vybraných státech

Čím dál více se v posledních desetiletích dostává do popředí využití recyklované vody. Nejedná se jenom o státy primárně trpící suchem, ale i o ty, které jsou

v současnosti řazeny do kategorie s dostatkem pitné a užitkové vody. Každým rokem se mnohem více států snaží přizpůsobit legislativu a případně i finančně podporovat znovuvyužití odpadní vody (ASIO, 2020). Jak s technologickým pokrokem, tak i s tlakem na šetrné využití vody se rizika využití šedých vod postupně snižují. Způsoby čištění se tak stávají ekologičtějšími, dostupnějšími a zejména levnějšími (Olanrewaju, Olubanjo, 2016).

Zájem o hledání způsobů využití šedé vody je vidět už od 70. let. První technologie čištění šedých vod spočívaly v principu mechanické fyzikální úpravy jako je hrubá filtrace nebo filtrace prostřednictvím membrány, která byla doplněná dezinfekcí (Pidou, 2006; Raček, 2016). V 80. a 90. letech se začaly používat technologie založené na biologickém čištění vody nebo různé jednoduché separátory založené na fyzikálním principu. Na konci 90. let se začaly objevovat pokročilé technologie, například membránový bioreaktor (Raček, 2016). S příklonem k environmentalismu se velké oblibě těší kořenové čistírny. Tyto systémy jsou ovšem náročné na plochu a nejsou schopny plnit tak přísné parametry čištění jako je tomu u membránových technologií (Pidou, 2006, Hnátková, Šereš, 2016).

Jedním z ukazatelů nutnosti recyklace a znovuvyužití vody ve státech je „water stress index (WSI)“, který ukazuje vztah mezi celkovým využitím vody a použitelnými zásobami vody (obr. 3). Čím je WSI vyšší, tím víc trpí stát nedostatkem vody (EU, 2016). Pokud se porovná WSI a praxe opětovného využití vody, lze vidět, že s narůstajícím WSI se zvyšuje i objem recyklované vody a její použití. Jelikož dostupnost vody je problematická, zvyšuje se snaha o využití maximálního množství již použité vody (Institute for Global Environmental Strategies, 2006).



Obrázek 3: Porovnání WSI indexu a znovuvyužití recyklované vody (IGES, 2006)

Legislativní ukotvení šedé vody a její recyklace je důležitým krokem pro možnosti využití této vody. V České republice ale stále chybí podrobnější předpis pro využití šedých vod. V dnešní době je šedá voda definována v normě ČSN EN 12056 o vnitřní kanalizaci z června 2001. V minulosti byla snaha o vypracování ČSN 75 6780 „Využití šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích“, která se měla komplexně zabývat problematikou využívání šedých a dešťových vod v budovách. Vydání této normy se ovšem nepovedlo, zejména díky problémům se SZÚ (Státní zdravotní ústav), a poté byly práce pozastaveny.

Mezitím byla vydána evropská norma v českém znění EN 16941-1 „*Systémy pro využití nepitné vody na místě – Část 1: Systémy pro využití srážkových vod*“ v lednu 2018. Na tuto normu by v budoucnu měla navázat i druhá část EN 16941-2 „*Zařízení pro využití upravených šedých vod*“ pro ČR jako norma ČSN EN 16941-2., která by se měla zabývat přímo využíváním šedých vod. V konečném návrhu 2. části normy se však vyskytovaly chyby, a proto se stále čeká na vydání konečného znění normy (ČNTL, 2020).

Norma ČSN EN 16941-1 je v současné době platná pro projektování, dimenzování, instalaci, označování, uvedení do provozu a údržbu zařízení pro využití srážkových vod. Norma předpokládá systém využívání srážkových vod, nádrže pro akumulaci srážkových vod, dalšího zařízení pro čištění srážkových vod, rozvodu a využití nepitné

vody pro závlahu, splachování záchodů, praní, úklid nebo technologické účely (TZB-info, 2021). Dříve se čerpalo v České republice hlavně ze zahraničních norem, které se preferují z tohoto důvodu dále.

Evropská unie (Alcalde-Sanz, Gawlik, 2017) se snaží definovat šedou vodu a související znovuvyužití odpadních vod. Zatím sice neexistují žádné konkrétní pokyny ani předpisy, jak s recyklovanou vodou nakládat, existuje však několik směrnic, které musí členské státy zohlednit při tvorbě vlastních národních zákonů a norem. Nejdůležitější je Směrnice č. 91/271/EHS, která mimo jiné požaduje opětovné používání upravené odpadní vody, kdykoliv je to možné a vhodné. V roce 2016 vydala EU zprávu o možnostech regulace recyklace odpadních vod „*EU - level instruments on water reuse – Final report to support the Commission’s Impact Assessment*“ (EU, 2016).

V tabulce č. 5 jsou uvedeny reprezentativní standardy pro znovuvyužití odpadních vod v různých státech. Je zřejmé, že normy jsou velice různorodé.

Tabulka 5: Reprezentativní standardy pro znovuvyužití vody (EU, 2016)

Stát	Normy a standardy
Velká Británie	BS 8525-1:2010 Greywater systems. Code of practice.
USA	NSF/ANSI 350 For water reuse treatment systems
Austrálie	Water Supply and Sewerage Performance Monitoring Report (NSW) - DEUS (Department of Energy, Utilities and Sustainability)
Itálie	D. M. 185/03
Japonsko	JSWA
Německo	USEPA
Slovinsko	Decree on the discharge and purification treatment of urban wastewater and rainwater
Jordánsko	Jordan standard 893
Čína	Několik standardů dle využití vody (Zhu et al., 2016)
Indie	Standard IS 10500-2012 (Hosseinzadeh et al., 2015)
Kanada	Guidelines for Canadian drinking water quality (Chaillou et al., 2011)

**Velká Británie** vydala během let dvě části jedné normy (BS 8525-1, 2010, BS 8525-2, 2011), které obsahují doporučení týkající se kvality šedých vod a jejího monitorování. BS 8525-1:2010 *Greywater systems: Code of practice* říká, že zachycování a používání šedé vody v místě vzniku je alternativou k zásobování pitnou vodou, a navíc má tato voda různá využití jak v domácnosti, na pracovišti, nebo pro údržbu zeleně na zahradě. Druhá část BS 8525-2:2011 *Greywater systems:*

*Domestic greywater treatment equipment. Requirements and test methods* specifikuje požadavky a navrhuje zkušební metody pro zařízení na úpravu šedé vody.

Systémy šedých vod podle této normy jsou navrženy tak, aby byla zajištěná vhodná výroba pro konkrétní účel, a nevznikne přitom riziko ohrožující zdraví lidí (Biela, 2011). Norma sleduje zejména výskyt *Escherichia coli*, střevních enterokoků, *Legionella pneumophila* a celkové koliformní bakterie (tab. 6). Kromě uvedených parametrů by dle ní měly být kontrolovány i nerozpuštěné látky a barva. Upravené bílé vody by měly být vizuálně čisté, bez plovoucích nečistot a barva by neměla být problematická pro žádné druhy použití (Vrána, Ošlejšková, 2011).

Ve Velké Británii vznikl také *Kodex pro udržitelné domy* (Code for Sustainable Homes (CSH, 2002), který na principu certifikace nových domů motivuje k recyklaci a znovuvyužití vod v domácnostech. Vnitřní spotřeba vody na osobu by měla být nižší než 80 l. Také technický průvodce pro udržitelné domy dle aktualizovaného britského stavebního řádu zavádí požadavek na maximální spotřebu vody 125 l na osobu. V zájmu dosažení tohoto parametru byla některá nařízení pozměněna, aby bylo možné využívat i méně kvalitní vodu pro splachování (Environment Agency, 2011).

Jedním z největších projektů recyklace šedé vody v Británii je O2 Arena v Londýně (Millenium Dome). Nacházejí se zde tři typy čištění pro znovupoužití ve více než 600 toaletách a 200 pisoárech (Hills et. al., 2001).

Tabulka 6: Požadavky na jakost bílé vody dle normy BS 8525-1 (2010)

Parametr (KTJ/100 ml)	Aplikace postřikem	Aplikace bez postřiku		
	Tlakové mytí, zahradní rozstřikovač, mytí vozidel	Splachování WC	Zavlažování zahrad <sup>1</sup>	Praní
<i>Escherichia coli</i>	Nezjišťuje se	250	250	Nezjišťuje se
<b>Střevní enterokoky</b>	Nezjišťuje se	100	100	Nezjišťuje se
<i>Legionella pneumophila</i>	10	Nelze aplikovat	Nelze aplikovat	Nelze aplikovat
<b>Koliformní bakterie celkem</b>	10	1000	1000	10

V **Kanadě** jsou legislativně šedé vody a jejich využití zahrnuty v „*The National Plumbing Code*“ (2012). Obsahuje informace o opětovném použití vody, recyklaci

<sup>1</sup> Pokud upravená bílá voda byla použita na zavlažování půdy zelenářských zahrad, pak by měly být informace o růstu těchto plodin před jejich spotřebou poskytovány uživatelům v předávací dokumentaci.



vody a sběru dešťové vody pro jiné než pitné účely, jako je splachování toalety a zavlažování. Je to v kompetenci provinční vlády, která se řídí místními předpisy o vodách, ale stále chybí komplexnější právní předpisy a pokyny.

První průlom vedoucí ke změně legislativy v USA pro využití recyklované šedé vody nastal až koncem 80. let v Kalifornii. Dlouhé období sucha vedlo k tomu, že na území státu vznikalo mnoho nelegálních systémů, které však byly zdravotně závadné. Jednalo se zejména o septiky se štěrkem a nezákonné domovní čistírny vznikaly i v Arizoně. V roce 1998 bylo zjištěno, že 13 procent obyvatel využívá šedou vodu (Jörg, 2011). Jelikož legislativa do té doby neřešila kvalitu a způsob čištění, sepisovala se první nařízení a návody k využití těchto domácích čistíren s ohledem na lidské zdraví a kvalitu vody. I když je využití recyklované vody v USA v 80 % států běžné, legislativa se mezi jednotlivými státy liší. Jedním z hlavních průkopníků je i sdružení „Greywater Action – For a Sustainable Water Culture“. Snahou organizace je osvěta pro širokou veřejnost o možnostech využití šedých vod v domácnosti, organizování workshopů. Dále se snaží o změnu nařízení a legislativy v USA (GREYWATERACTION, 2020). Dalším popularizátorem tématu šedých vod je výrobce speciálního piva IPA v Kalifornii. Bohužel ale kalifornská legislativa nedovoluje prodej tohoto piva a majitel ho tak v současnosti rozdává zdarma (WASTE360, 2020).

V roce 2011 byla alespoň vydána certifikace podle normy NSF 350 (2011), která konečně definovala kvalitu šedé a upravené vody i na americkém kontinentu. Od té doby se stala preferovanou a využívanou normou pro systémy na úpravu šedé vody po celém světě. Mnoho moderních systémů na čištění šedé vody má tak vedle britské normy i certifikaci NSF 350, jejíž parametry lze nalézt v tabulce číslo 7.

Tabulka 7: Kvalita šedé a upravené vody dle normy NSF 350 (2011)

	<b>Surová šedá vody (voda z koupelny a prádelny)</b>	<b>Upravená voda (průměrné hodnoty podle NSF 350)</b>
<b>N<sub>celk.</sub> (ppm)</b>	80 – 160	< 10
<b>CHSK (ppm)</b>	130 – 180	< 10
<b>Zákal (NTU)</b>	50 – 100	< 2
<b><i>Escherichia coli</i></b>	100 - 1000	< 2,2

Šedá voda v **Austrálii** je častokrát znovupoužita například na zalévání trávníků, splachování toalet atd., někdy bohužel i bez důkladného předčištění. V roce 2008 byla v Austrálii zaznamenána menší epidemie legionářské nemoci. Lidé ve věku

30 až 55 let se nakazili při mytí auta v myčce, která využívala recyklovanou vodu, a to vdechnutím drobného aerosolu, který se při mytí auta vytváří (Kožíšek, 2012).

Legislativa v Austrálii dovoluje využití šedých vod jenom v neodkanalizovaných oblastech. Toto nařízení je však upravováno lokálními nařízeními. Například v Západní Austrálii byl vydán dokument „*Code of Practice for the Reuse of Greywater in Western Australia*“ (2015), kde jsou podrobně rozepsány možnosti využití šedých vod, legislativní rámec, povolení atd. pro různá využití. Na jejich stránkách je také seznam certifikovaných produktů. Jižní Austrálie dovoluje výjimky využití šedých vod i v odkanalizovaných oblastech. Nejpokrokovějším se v současnosti stal Queensland, který definuje šedé vody jako alternativní zdroj vody (Emmerson, 1998).

První oficiální projekty na recyklaci šedé vody v **Německu** začaly již v roce 1989. Řada odborníků na hygienu nebyla však příliš nadšena. Recyklaci šedé vody považovali za návrat do časů cholery (Nolde, 1999, 2005). Legislativně se Německo drží zejména evropské normy a v případě recyklace šedých vod musí být tento systém zaznamenán na místně příslušném úřadě. Je to z důvodu označení systému a potrubí pitné a recyklované vody. Pro nakládání s recyklovanými vodami používá Německo normu DIN 1989 - *Regenwassernutzungsanlage* (Systémy pro sběr dešťové vody), která byla vydaná už v dubnu 2002 a pro bližší specifikaci pojmu odpadní voda využívá DIN 4045 – *Abwassertechnik– Grundbegriffe*.

Německo je považováno za leadera v oblasti zpracování a znovuvyužití šedých vod. Jedním z příkladů realizace může sloužit hlavní budova GIZ (Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit) v Eschbornu. Cílem projektu bylo poukázat na potenciál recyklace šedých vod v městských oblastech nejen v rozvojových ale i v rozvinutých státech (Löw, 2011). Systém na čištění šedých vod je založen na membránových bioreaktorech a metodě, která zaručuje velmi dobrou čistící schopnost ale i efektivnost v odstraňování nečistot. Metoda byla vyvinuta firmou HUBER SE a výsledná bílá voda splňuje nařízení EU 2006/7/ES pro koupací vody (Winker, Saadoun, 2011). Od začátku realizace (tj. rok 2005) se ukazuje, že membránová metoda čištění šedých vod je úspěšná. Zařízení zabírá minimum místa a výsledkem je vysoce kvalitní recyklovaná voda.

**Jordánsko** dlouhodobě trápí katastrofální úbytek pitné vody. Problémy s nedostatkem vody však nejsou způsobené jenom geografickou polohou Jordánska. Důležitým faktorem je i vojensko-politický konflikt, který se odráží také na vodním hospodářství. V současnosti je výzkum šedé vody financován především z IDRC (Mezinárodního výzkumného střediska pro rozvoj) a to zavedením malých mokřadních systémů v domácnostech (Surani, 2003). V roce 2010 Jordánsko (JISM – The Institution for Standards and Metrology) vydalo standardy (nejsou však legislativně ukotveny) pro znovuvyužití šedých vod, a to zejména z důvodu omezení využití nevhodných vod (Uleimat, 2010).

V **Číně** byla začátkem snahy o znovuvyužití šedých vod čínská vodní krize v roce 2004. Důvodem byl velký populační nárůst spojený s průmyslovým rozvojem (Zhu et al., 2016). V průběhu posledních let se v Číně patentovalo na tisíce nových technologií pro úpravu a recyklaci vody v různých odvětvích. Velkoměsta jako Peking prošla obrovskými renovacemi veškerých kancelářských a hotelových budov. V průběhu roku 2015 Čína oznámila svůj akční plán pro řešení znečištění vodních zdrojů. Plán rovněž počítá se znovuvyužitím vod a stanovuje vysoké pokuty při nedodržení regulativ (Biswat, Torjada, 2020). Čína rozeznává pět kategorií vody pro různé využití. Konkrétně se jedná o následující kategorie:

- Zemědělství, lesnictví, chov zvířat;
- Městské využití;
- Průmyslové využití;
- Využití v krajině;
- Vodní zdroje.

Pro každou kategorii existují standardy a konkrétní využití (Rodrigues, 2005).

Ve **Francii** je využití šedé vody rovněž aktuální problematikou. Francie zavádí suché pisoáry pro veřejnost, u Lyonského nádraží zkouší provoz dvou ekologických „květinových pisoárů“. Ty obsahují piliny nebo slámu, které přemění moč v hnojivo. Recyklační systém **FGWRS** (Firmus Grey Water Recycling Systém) lze nalézt například na tenisových kurtech Jeana Bouina, kde se odehrává Roland Garros. Systém dokáže recyklovat až 80 % šedých vod pro splachování toalet, sprchování a jiné spotřebiče (Peprah et al., 2018). V roce 2015 se do České republiky dostal i francouzský systém kořenové čistírny. Čistírna napustí odpadní vodu ve větším množství na celý povrch kořenové čistírny, která poté pomalu prosakuje dolů k drenáži

u dna filtru. Surová odpadní voda se bez předčištění v septiku čerpá na filtrační pole (dvě až tři paralelně zapojená pole vedle sebe) a následně dochází k nátoku vody. V pravidelných intervalech se pak voda přepojuje na každé z polí (periodicita odpočinku bez vody, kdy dochází mineralizaci zachyceného kalu na povrchu filtru a biofilmu uvnitř filtračního média). Kal se na povrchu usazuje 5 – 10 let a po této době je plně stabilizovaný (velmi kvalitní kompost). Účinnost je přes 90 % ve všech hlavních parametrech (Rous, 2015).

**V Nizozemsku** jako zemi nakloněné ekologii existuje široká celospolečenská diskuse o použití šedých vod a probíhá mnoho výzkumů (Hernandez Leal et al., 2010, 2011). V současnosti se pracuje na vhodných legislativních podmínkách pro využití šedých vod (AQUAFIN, 2020). Velkým krokem i z mezinárodního hlediska byl úspěšný startup **HYDRALOOP** (více kapitola 4.6.3). Jedná se o domácí čistírnu vod o velikosti šatní skříňe, která v roce 2020 vyhrála několik významných ocenění (Gkoumas, Christou 2020). Recyklovaná voda neslouží jako pitná voda, ale vrací se zpět do myček, praček, sprch, toalet atd. Zajímavým počinem v Nizozemsku je využití srážkové a recyklované vody pro vaření piva, který se postupně rozšiřuje do celého světa.

V tabulce č. 8 lze porovnat hodnoty jednotlivých ukazatelů dle výše uvedených aktuálních standardů a nařízení v různých zemích.

Tabulka 8: Hodnoty jednotlivých ukazatelů dle výše uvedených standardů a nařízení (Boano, et al., 2020)

Parametr	Nařízení							Směrnice						
	Velká Británie		USA		Austrálie		Itálie	Japonsko	Německo	Slovinsko	Jordánsko	Čína	Indie	Kanada
	Aplikace postřikem	Aplikace bez postřiku	Domácí využití	Komerční využití	Závlahy	Domácí využití								
<b>pH</b>	5–9.5	5–9.5	6–9	6–9	6	9	6–9.5	6–9	6–9	7–9	6–9	6–9	6–9	7–9
<b>Vodivost (µS/cm)</b>	–	–	–	–	–	–	3000	–	–	–	10,000	–	–	–
<b>BSK<sub>5</sub> (mg/L)</b>	–	–	<10	<10	<20	<20	20	<20	20	–	30–300	10–20	<30	200
<b>Chemická spotřeba kyslíku (mg/L)</b>	–	–	–	–	–	–	100	–	–	200	100–500	<15	<250	280
<b>Celkový obsah nerozpuštěných látek (mg/L)</b>	–	–	–	–	30	10	10	–	téměř nulový	80	50–150	10–50	<200	<100
<b>Zákal (NTU)</b>	<10	<10	<5	<2	–	–	–	čistý	téměř čistý	–	2–10	<10	–	<2
<b>Anionaktivní tenzidy (mg/L)</b>	–	–	–	–	–	–	0.5	30	–	1	30–100	0.5–1	<10	–
<b>Sodík (mg/L)</b>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	230	–	–	–
<b>Celkový dusík (mg/L)</b>	–	–	–	–	–	–	15	20–30	–	10	50–70	15–20	–	–
<b>Celkový fosfor (mg/L)</b>	–	–	–	–	–	–	2	1–4	–	1	30	1–5	–	–
<b>Bór (mg/L)</b>	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	1	–	–	–
<b>Bakterie indikující fekální znečištění (MPN/100 mL)</b>	Nezjištěno	25 ( <i>E.coli</i> )	~0	~0	<1	<4	100 ( <i>E.coli</i> )	<1·10 <sup>5</sup>	<10 (celkově) < 100 (fekální)	–	<1000 (fekální) 100 ( <i>E.coli</i> )	–	–	<1000 (celkově) 2–200 (fekální)

## 4.4 Systémy úpravy šedých vod

Systémy úpravy šedých vod lze dle Račka rozdělit následujícím způsobem (2016). Důležité je hledisko vybraného objektu a s ním spojený způsob čistícího procesu.

- jednoduchá úprava (např. mechanické předčištění a dezinfekce systému);
- chemická úprava (např. fotokatalýza, elektro-koagulace a koagulace);
- fyzikální úprava (např. pískový filtr, adsorpce a membrány);
- biologická úprava (např. biologické provzdušňované filtry, rotující kontaktní
- bioreaktor a membránový bioreaktor);
- přírodní postupy čištění (např. mokřady, kořenové čistírny, rákosová pole).

Většina z těchto technologií je zahájena předčištěním (sedimentací) a zakončena dezinfekcí jako posledním krokem po vlastním čištění. K dezinfekci vyčištěné šedé vody se používá UV záření nebo ozón. Nejčastěji používaná technologie na čištění šedých vod je biologická úprava, následovaná fyzikální úpravou a přírodními postupy čištění (Pidou, 2006, Groda et al., 2007, Sojka 2013).

### 4.4.1 Systém s jednoduchou úpravou

Systém s jednoduchou úpravou čištění šedých vod obvykle spočívá v základním čistícím procesu jako je sedimentace nebo hrubá filtrace, které jsou následně doplněné dezinfekcí (Raček, 2016). Účinnost těchto systémů využití šedých vod je značně omezena z hlediska organických a anorganických pevných látek. Tento typ systému se používá zejména v rodinných domech a všude tam, kde je šedá voda jen mírně znečištěna (voda ze sprch, van a umyvadel na mytí rukou). Využití dle metodického postupu (WHO, 2006) spočívá hlavně ve venkovním zavlažování rostlin, které nejsou určeny k přímé spotřebě a splachování toalet.

Tyto jednoduché systémy lze provozovat s nízkými náklady, ale návratnost trvá déle. Mezi další nevýhody se může počítat to, že chlór a ozón může tvořit toxické vedlejší produkty. Celkově lze tento způsob používat jen u málo znečištěné šedé vody a počítat s celkovou malou účinností čištění (Dřímál, Hoffman 2008). Systémy s jednoduchou úpravou se dělí na sedimentaci, filtraci, a kombinované systémy s jednoduchou úpravou.

**Sedimentace** neboli usazování slouží k separaci pevných látek a kapalin na základě vyšší měrné molekulové hmotnosti. K těmto procesům slouží sedimentační nádrže. Při jejich návrhu je potřeba zejména eliminovat možný vznik turbulence (Raček, 2016).

**Filtrace** je nejčastěji využívaná v systémech, ve kterých je voda spotřebovávaná v rámci jednoho dne. Výhodou filtrace je zejména to, že se jedná o jednoduchý proces s nízkými provozními náklady a snadnou údržbou. Hrubost filtrů může být různá (100-5 mikronů), dle požadavku kvality výsledné vody, ale záleží i na četnosti výměny filtru. Filtrační média mohou být ve formě písku, šterku, jemné síťoviny. Nevylučuje se ani využití oblázků velikosti až 2 cm v kombinaci s 12 cm hrubou střední vrstvou tvořenou z plastového filtračního média zakončenou 4 cm silnou vrstvou rašeliny (Gross et al., 2007). Filtr se může skládat také z borovicové kůry, uhlí a polyuretanové pěny (Dalahmeh et al., 2016) nebo i z kokosových slupek (Pangarar et. al., 2010). Problematická je u filtrace redukce patogenů, jelikož ty zcela neodstraňuje. V případě filtrace je nutno snížit hodnotu BSK<sub>5</sub> tak, aby umožňovala skladování po delší dobu a splňovala nařízené parametry (Plotěný, 2012).

Nejčastěji jsou využívány pískové a šterkové filtry s různou velikostí částic. V rámci porovnání Abdel-Shafy, Shehata (2014) pěti nejčastějších filtrů (viz tabulka č. 9 a 10) se jako nejúčinnější a nejlevnější jeví použití písku 1 - 2 mm se šterkem 2 - 4 mm a šterk 2 - 4 mm. Do porovnání se zvažuje i vliv primární sedimentace, ale neuvažuje se o ní jako plnohodnotném způsobu čištění.

Tabulka 9: Porovnání pěti nejčastějších filtrů (Abdel-Shafy, Shehata, 2014)

Filtrační médium	Zkratka	Tloušťka (m)
Šterk 2 - 4 mm	GFDF	1
Šterk 2 - 4 mm	GFUF	1
Písek 1 - 2 mm	SFDF	1
Písek 1 - 2 mm a šterk 2 - 4 mm	GFSF	0,3
Šterk 2 - 4 mm	HFSF	0,3

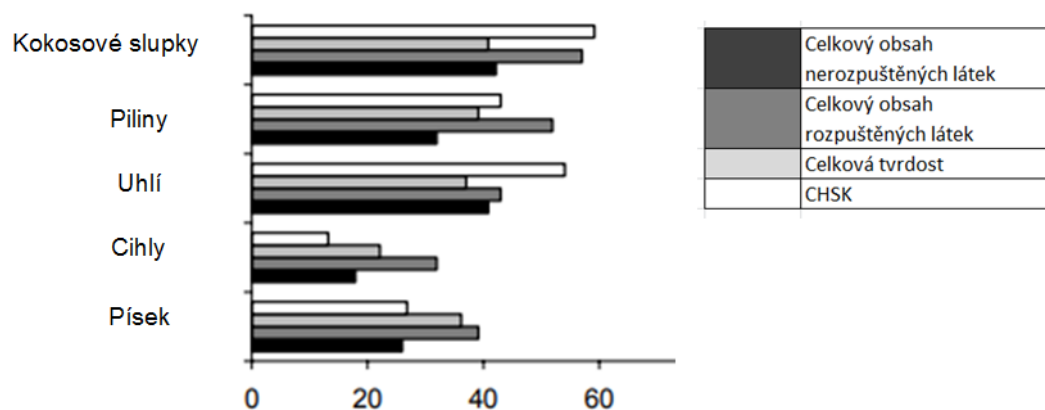
Tabulka 10: Porovnání pěti nejčastějších filtrů (Abdel-Shafy, Shehata, 2014)

	<b>CHSK</b>	<b>BSK<sub>5</sub></b>	<b>Celk. nerozpuštěné látky</b>	<b>Oleje a tuky</b>	<b>Celk. dusík</b>	<b>Amoniak</b>	<b>Fosfáty</b>	<b>Saponáty</b>
	mg O <sub>2</sub> /l	mg O <sub>2</sub> /l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
<b>Surová šedá voda</b>	481	260	124	150,5	19,8	14,5	12	25
<b>Primární sedimentace</b>	190,8	90,5	41,4	51	16,7	14,9	9	11
<b>GFDF</b>	112	51	19	33,5	13	9	5,5	7
<b>GFUF</b>	82	37	15	30	12	8	4,9	6
<b>SFDF</b>	50	22	7,5	25	9,8	6,7	4,3	5,6
<b>GFSF</b>	43	16	7,5	24	7	5,8	4,5	5,7
<b>HFSF</b>	40	17	9	20	8	5	4	5

Vysoká účinnost filtrace byla potvrzena i v podmínkách středního východu, kdy úspěšnost čištění (až 90%) byla dosažena pro organické látky, amoniak a celkové rozpuštěné látky. Zde byl použit pískový filtr výšky 2 m s využitím písku o velikosti 0,4 – 1 mm a dvě podpůrné vrstvy šterku o rozměrech 3 - 5 mm a 20 - 40 mm (Sabbah et al., 2003).

Obdobné výsledky byly dosaženy i ve studii, která demonstrovala znovuvyužití šedých vod z koupelen pro zavlažování a splachování v Indii. Surová šedá voda obsahovala 327 mg O<sub>2</sub>/l (CHSK) a po filtraci dosahovala průměrné hodnoty 58 O<sub>2</sub>/l. Celkový obsah nerozpuštěných látek klesl z hodnoty 184 mg/l na hodnotu 32 mg/l. Tato studie porovnávala i účinnost různých filtračních materiálů mezi sebou a to konkrétně kokosové slupky, piliny, uhlí, cihly a písek. Nejlepší vlastnost pro odstranění dusíku a fosforu mělo uhlí, nižší účinnost mělo při odstranění patogenních mikroorganismů. Na druhou stranu obsah *E. coli* u všech filtračních médií byl nedostatečný a pro člověka rizikový (Pangarkar et al., 2010). Pokud jde o recyklaci použitých filtračních materiálů, může být kůra a uhlí použité jako půdní hnojivo, použití písku je pro recyklaci problematictější (Dalahmer, 2016).





Obrázek 4: Procentuální účinnost (Pangarkar et al., 2010)

**Kombinované systémy s jednoduchou úpravou** jsou složeny zejména z třístupňového septiku, nádrže na kal a lapáku tuku. Voda ze septiku dále pokračuje skrze filtr s geotextilií, případně s umístěnou biologickou jednotkou pro přidání aerobních podmínek. Ukončení je v půdním pískovém loži. Osazení biologické jednotky případně pískového lože se projeví ve vyšších pořizovacích nákladech (Raček, 2016).

#### 4.4.2 Systém s chemickou úpravou

Mezi tyto systémy lze zařadit procesy založené na koagulaci a elektrokoagulaci, kdy se do šedé vody dávkuje chemikálie na bázi železa nebo hliníku. Mezi další metody patří čištění šedých vod hydroxylovými radikály (Raček, 2016).

**Fotokatalýza** je proces chemického rozkladu látek za přítomnosti fotokatalyzátoru a světelného záření. Využívá se zejména v prostředí, které je zatíženo těžko rozložitelnými organickými látkami (Asio, 2020). Účinnost fotokatalýzy je vysoká. Ukazuje se, že  $BSK_5$  byla odstraněna o 65 % a anionaktivní tenzidy z pracích prostředků a prostředků osobní hygieny byly odstraněny úplně (Sanches et al., 2010).

**Koagulace** (srážení) je proces, který nastává při dávkování koagulantu. Vysrážené látky se následně odstraňují sedimentací nebo filtrací, výrazným negativem je ovšem produkce kalu. U vod pocházejících ze sprchy, vany, umyvadla můžeme využívat také **elektrokoagulaci**, během které nastává srážení při průchodu mezi elektrodami ponořenými ve vodě (Leong et al., 2017).

Na základě pilotního experimentu (Lin et al., 2005) bylo dokázáno, že elektrokoagulace má výhody zejména z hlediska kompaktnosti a ekonomického

hlediska. V rámci porovnání ceny vody při splachování pitnou vodou a pročištěnou vodou nastala úspora o 0,11 dolaru (cca 2,41 korun českých). Problematické zde bylo ale odstranění CHSK. I při zvýšených dávkách hliníku nenastalo značné zlepšení. Jednalo se průměrně o 60% a záviselo to zejména na obsahu rozpustných kontaminantů na vstupu. Na druhou stranu pořizovací náklady systémů s elektrokoagulací jsou relativně vysoké (Raček, 2016), z tohoto hlediska je vhodnější využití této metody zejména v průmyslu, nebo větších zařízeních.

Studie uskutečněná na odpadních vodách z prádelen (Šostar-Turk et al., 2005) porovnávala koagulaci doplněnou adsorpcí na GAC (granulovaném aktivním uhlí). Koagulace samotná odstranila CHSK jenom o 36% a BSK<sub>5</sub> o 51%. Při doplnění koagulace aktivním uhlím, byly dosaženy hodnoty čištění v případě CHSK 93% a u BSK<sub>5</sub> 95%.

V porovnání s fyzikální úpravou jsou chemické procesy schopny redukovat organické složky. Pidou et al. (2008) dokázal, že koagulace je schopna dosáhnout vysoké účinnosti při odstraňování koliformních bakterií, ale nebyla schopna odstranit celkový dusík. Proces koagulace zaznamenával lepší výsledky při kyselejším pH, které se po skončení procesů muselo následně doupravit. Koagulace s využitím hliníkových solí neměla výraznější účinek a nedosahovala hodnot pro znovuvyužití. Při slabě znečištěných šedých vodách by ale proces koagulace mohl být řešením zejména pro závlahy, jelikož zde nejsou limitní hodnoty tak přísně nastavené (Pidou et al., 2008).

#### 4.4.3 Systém s fyzikální úpravou

Systémy s fyzikální úpravou mohou být rozděleny do dvou kategorií: písková filtrace a membránová filtrace (Raček, 2016). Můžou se používat jednotlivě, ale i v kombinaci. Zvýší se tak efektivita čistícího procesu. Pískový filtr se použije pro předúpravu, odstraní hrubší částice a následně se využije membránová filtrace a proces se dokončí použitím dezinfekce.

**Písková filtrace** je jednoduchý a účinný proces, náklady jsou adekvátní. Zachytí však jen některé znečištění, nedojde k úplnému odstranění a ještě se může ucpávat.

**Membránová filtrace** úspěšně odstraňuje rozpuštěné a nerozpuštěné látky, ale organické odstraní jen omezeně.

Podrobnou analýzou různých fyzikálních úprav šedé vody bylo zjištěno, že samotná fyzikální úprava je nedostatečná k zajištění adekvátní redukce organických látek, povrchově aktivních látek s výjimkou velmi slabé koncentrace znečištění. Pokud je šedá voda výrazně znečištěna lze použít další procesy, jako jsou RBC (Rotující kontaktní bioreaktor) a SBR (Sekvenční dávkový reaktor), při kterých se vyčištěné vody dostanou na hodnoty splňující standardy opětovného použití (Ward, 2000).

#### 4.4.4 Systém přírodního čištění

Za ekologicky preferovanou technologii jsou pokládány postupy přírodního čištění. Jsou finančně nenáročné na pořízení i na následný provoz. Přírodní systémy čištění šedé vody obvykle zahrnují umělé mokřady, rákosová pole a jezírka (Sojka, 2013, Raček, 2016).

**Přírodní mokřady** využívají řadu specializovaných organismů k odstranění nežádoucích znečišťujících látek. Podle typu použité vegetace se rozlišují na mokřady s:

- volně plovoucími rostlinami;
- rostlinami s volně plovoucími listy;
- submerzními (ponořenými) rostlinami;
- emerzními (vynořenými) rostlinami.

Rozlišovat lze také způsob proudění vody (průtok směrem nahoru, směrem dolů, případně kombinované systémy průtoku (Rozkošný, 2013). Nejčastěji vyskytující se rostlina v kořenových čistírnách vod je rákos obecný (*Phragmites australis*). Dále pak je to *Cyperus papyrus* a *Carex oshimensis*.

Mokřady mají vysoký potenciál v odstraňování BSK<sub>5</sub>, usazenin a těžkých kovů (Pepřah et al., 2018). Na druhou stranu jsou mokřady neschopny odstranit mikrobiální znečištění, jako jsou například *E. coli* (Pepřah et al., 2018). Zejména kořenové čistírny s kořenovými filtry s horizontálním podpovrchovým prouděním a s kontinuálním průtokem vykazují nízkou účinnost při odbourávání amoniakálního dusíku. To je dáno anaerobními podmínkami, které zde převládají (Rozkošný, 2013). Navíc se tento typ čištění vyžaduje výrazně větší plochu na realizaci a provoz je zejména v zimě poměrně komplikovaný (Hnátková, Šereš, 2016).

#### 4.4.5 Systém s biologickou úpravou

Jedná se o nejuniverzálnější systémy na úpravu šedé odpadní vody (Chudoba, 1991, Pytl et. al., 2004). Zahrnují různé procesy. Systémy s biologickou úpravou jsou doplněny o předúpravu mechanickým čištěním. Jedná se o hrubé předčištění na česlích nebo sítích při nátoku do sběrné nádrže, následuje sedimentační nádrž a filtrace v kombinaci se samotnou biologickou úpravou, nejčastěji prostřednictvím aplikace aktivační nádrže.

**Rotující kontaktní bioreaktor (RBC)** se skládá z rotujících disků namontovaných na vodorovném hřídeli, který je částečně ponořený a otáčí se při průchodu odpadní vody. Mikroby, které zajišťují čištění, rozkládají organické polutanty a nutrienty. Potenciál rotujících kontaktních bioreaktorů pro odstraňování bakterií a patogenů je vysoký. Jedná se zejména o odstranění koliformních bakterií, *Staphylococcus Aureus* sp., *Pseudomonas aeruginosa* sp. a *Clostridium perfringens* sp., které byly z 99 % odstraněny v případě použití navazující sedimentace (Friedler et al., 2011), případně UV dezinfekcí (Gilboa, Friedler, 2013).

**Membránový bioreaktor (MBR)** kombinuje biologické čištění, mikrofiltraci a UV dezinfekci. Jedná se o vhodné řešení čištění šedých vod v urbanizovaných oblastech s nedostatkem místa. Membránové bioreaktory dosahují výborných výsledků v kvalitě vyčištěných vod (Jong et al., 2010). Póry o velikosti 0,1  $\mu\text{m}$  jsou schopny zachytit koliformní bakterie a proces je schopen odstranit 80 – 95 % BSK<sub>5</sub> (Atanasova et al., 2017). Asio (2020) uvádí, že výsledná voda se svou kvalitou blíží spíše k vodě pitné, než šedé.

**Sekvenční dávkové/fázové reaktory** jsou typem procesu využívajícího aktivovaného kalu pro čištění odpadních vod. Všechny procesy se dějí v reakční nádrži. Jedná se o několik stupňů čistících procesů. V jedné části je nádrž v režimu provzdušňování a plnění. Některé nádrže obsahují bioselektory (stěny a přepážky které usměrňují tok), čímž pomáhají smíchat přitékající vodu a vrácený aktivovaný kal a tím zahájit proces biologického čištění (Lamine et al., 2007).

#### 4.4.6 Systém membránového čištění

Cesta současného moderního čistícího procesu odpadních vod vede k tzv. membránové technologii (Pidou, 2006, Raček 2016). Membránový proces

separace šedých odpadních vod je kombinací biologického čištění a velmi účinné separace pevné i tekuté fáze. Při zařazení membránové technologie přímo do aktivačního procesu nahrazuje membrána dosazovací nádrž. Jednou z hlavních výhod je, na rozdíl od dosazovacích nádrží, že kvalita odtoku není ovlivňována nedostatečnými sedimentačními vlastnostmi sekundárního kalu nebo nepříznivě vytvořené pěny na hladině (Ezugbe, Sudesh, 2020). Nevýhodami biomembránového čištění jsou vysoké pořizovací a provozní náklady, které jsou na druhou stranu vyvažovány vysokou účinností.

#### 4.5 Souhrnné porovnání systémů úpravy šedých vod

V současnosti je nabídka systémů úpravy šedých vod velice široká a přístupná i pro domácnosti. Hlavními faktory výběru jsou velikost zařízení, původ šedé vody a výsledná požadovaná kvalita s ohledem na finanční náročnost. Hlavním cílem při úpravě šedých vod je odstranění celkových rozpuštěných látek, organických složek a mikroorganismů kvůli jejich vlivu na hygienické hledisko. Porovnání mezi způsoby čištění ilustrují tabulky č. 11, 12, 13.

Tabulka 11: Porovnání základních způsobů chemické úpravy dle prostudované literatury <sup>2</sup>

		CHSK	BSK <sub>5</sub>	Celk. obsah nerozpuštěných látek	Celk. dusík	Celk. fosfor	Koliformní bakterie	Zákal
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	cfu/100ml	NTU
<b>Elektrokoagulace, dezinfekce<sup>1</sup></b>	IN	52	23	29	-		2x10 <sup>8</sup>	43
	OUT	22	9	9	-		2x10 <sup>6</sup>	4
<b>Koagulace, pískový filtr, GAC<sup>2</sup></b>	IN	280	195	35	-			
	OUT	20	10	pod 5	-			
<b>Koagulace (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>)<sup>3</sup></b>	IN	791	205	-	18	1,66		46,6
	OUT	287	23	-	15,7	0,09		4,28
<b>Koagulace FeSO<sub>4</sub><sup>3</sup></b>	IN	791	205	-	18	1,66		46,6
	OUT	272	33	-	15,3	0,91		8,14

<sup>2</sup> 1 Lin et al, 2005; 2 Šostar-Turk et al., 2005; 3 Pidou et al., 2008

Tabulka 12: Porovnání základních způsobů fyzikální úpravy dle prostudované literatury<sup>3</sup>

		CHSK	BSK <sub>5</sub>	Celk. obsah nerozpuštěných látek	Celk. dusík	Celk. fosfor	Koliformní bakterie	Zákal
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	cfu/100 ml	NTU
<b>Pískový filtr, membrána, dezinfekce<sup>1</sup></b>	IN	65	23					18
	OUT	18	8					0
<b>Filtrace, dezinfekce<sup>2</sup></b>	IN	157					2x10 <sup>5</sup>	21
	OUT	47					13	7
<b>Sedimentace, multimediální filtr, ozon<sup>3</sup></b>	IN	-	130	67				82
	OUT	-		21				26
<b>Hrubý filtr a dezinfekce<sup>4</sup></b>	IN	-						
	OUT	166	40	35				40
<b>Sedimentace, dezinfekce<sup>5</sup></b>	IN	171		44	11,4			20
	OUT	78		19	7,1			17
<b>Půdní filtr<sup>6</sup></b>	IN	271	477	105	20,7	3,8		
	OUT	40,6	81	23	4,4	0,6		
<b>UF membrána (400 kDa)<sup>7</sup></b>	IN	146						18
	OUT	80						1,4
<b>UF membrána (200 kDa)<sup>7</sup></b>	IN	146						17
	OUT	74						1
<b>UF membrána (30 kDa)<sup>7</sup></b>	IN	165						24
	OUT	51						0,8
<b>UF membrána<sup>8</sup></b>	IN	280	195	35				
	OUT	130	86	18				
<b>NF membrána<sup>8</sup></b>	IN	226		28				30
	OUT	15		0				1
<b>RO membrána<sup>8</sup></b>	IN	130	86	18				
	OUT	3	2	0				
<b>Filtrace, aktivní uhlí, pískový filtr, dezinfekce<sup>9</sup></b>	IN	51		9				13
	OUT	35		4				6
<b>UF membrána<sup>10</sup></b>	IN	451	274					
	OUT	117	53					

<sup>3</sup> 1 Ward, 2000; 2 Brewer et al., 2000; 3 CHMC, 2000; 4 Hills et al., 2003; 5 March et al., 2004; 6 Itayama et al., 2004; 7 Ramon et al., 2004; 8 Sostar-Turk et al., 2005; 9 Prathapar et al., 2006; 10 Birks, 1998

Tabulka 13: Porovnání základních způsobů biologické úpravy a membránové úpravy dle prostudované literatury<sup>4</sup>

		<b>CHSK</b>	<b>BSK<sub>5</sub></b>	<b>Celk. obsah nerozpuštěných látek</b>	<b>Celk. dusík</b>	<b>Celk. fosfor</b>	<b>Koliformní bakterie</b>	<b>Zákal</b>
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	cfu/100ml	NTU
<b>Sedimentace, RBC, UV dezinfekce<sup>1</sup></b>	IN	100-430	50-250		5-10	0,2-0,6	10 <sup>4</sup> -10 <sup>8</sup>	
	OUT		pod 5				pod 10 <sup>3</sup>	
<b>Reaktor s fluidním ložem, UV dezinfekce<sup>1</sup></b>	IN	113-633	70-300				10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup>	
	OUT		pod 5				pod 10 <sup>4</sup>	
<b>RBC, písková filtrace, chlorování<sup>2</sup></b>	IN	158	59	43		4,8		46
	OUT	40	2,3	7,9		2		7,9
<b>MBR<sup>3</sup></b>	IN	130-322	99-221					
	OUT	18	pod 5					
<b>MBR<sup>4</sup></b>	IN	493			21	7,4		
	OUT	24			10	3,5		
<b>MBR<sup>5</sup></b>	IN	109	15		15,2	1,6		
	OUT	15	59		5,7	1,3		
<b>UASB<sup>6</sup></b>	IN	682	456,9		27,3	9,9		
	OUT	456,9			24	8,9		
<b>Mokřad<sup>7</sup></b>	IN	839	157	158	34,3	22,8		158
	OUT	157	466	3	10,8	6,6		3
<b>SBR SRT=378, HRT = 5,9h<sup>8</sup></b>	IN	827	100		29,9	8,5		
	OUT	100			26,5	5,8		

Základní procesy jako jsou hrubá filtrace a půdní filtrace nejsou schopny odstranit fyzikální, chemické ani mikrobiologické složky na takovou úroveň, aby byly splněny normy a standardy pro využití (Li et al., 2009). Nejsou proto pro čištění vod doporučovány. Na druhou stranu mohou figurovat v procesu jako fáze předčištění. Použitím mikrofiltrace a ultrafiltrace se dosahuje nižší účinnosti čištění pro rozložené organické složky, ale naopak vykazuje vynikající hodnoty při celkových nerozpuštěných látkách, zákalu a patogenů. UF membrány přinášejí problematické výsledky zejména při odstraňování BSK<sub>5</sub>, kdy ani v jednom případě nesplňovaly hodnoty určené normou. Celkově chemické procesy čištění šedé vody se odvíjí od stupně znečištění vstupní vody. Jenom proces koagulace, po kterém následovala

<sup>4</sup> 1 Nolde, 1999; 2 Friedler et al., 2005; 3 Liu et al., 2005; 4 Lesjean, Gnirss, 2006; 5 Merz et al., 2007; 6 Elmitwalli et al., 2007; 7 Gross et al., 2007; 8 Hernandez et al., 2008.

filtrace a dezinfekce byla schopna odstranit rozpuštěné látky a organické substance na úroveň splňující normy a standardy. Chemické procesy jsou proto vhodné zejména pro jednotlivé domácnosti s nižšími hodnotami znečištění šedé vody (Pidou et al., 2008).

Jako nejvhodnějším způsobem vyčištění šedých vod se tedy jeví kombinace aerobních biologických procesů s fyzikální filtrací a dezinfekcí viz tabulky číslo 14 a 15. Tento proces splňoval hodnoty stanovené normou, ale byl také ekonomicky nejvýhodnější a udržitelný. RBC systémy se stávají ekonomicky výhodné v případě, že velikost budovy dosahuje minimálního počtu 28 bytů (Friedler, Hadari, 2006).

I mokřady však mají své nezpochybnitelné výhody spočívající v nízkých výdajích a zároveň se jedná o jedno z ekologicky nejvhodnějších řešení. Na druhou stranu vyžadují mnoho místa, takže jejich využití je ve městech problematické.

Z porovnávaných technologií jedině membránový bioreaktor přinášel uspokojivé hodnoty v odstranění látek, kontaminantů i bez nutnosti následné dezinfekce (tab. 15). Z hlediska nízké produkce kalu a s velmi dobrými hodnotami čištění se MBR stávají atraktivním technickým řešením zejména v rezidenčních oblastech měst (Lazarova et al., 2003). Z ekonomického hlediska dosahovaly při využití MBR dle studie Friedlera a Hadariho (2006) nejlepších ekonomických výsledků budovy o velikosti minimálně 128 bytů.



Tabulka 14: Porovnání měřených hodnot, které byly získány při různých metodách čištění šedých vod dle uskutečněných studií

Popis procesu s konkrétní účinnou látkou					Původ šedých vod
1	Chemické	Koagulace	FeSO <sub>4</sub>		Sprcha + umyvadla
2		Koagulace	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>		Sprcha + umyvadla
3		Elektro-koagulace (EC)	Kombinace elektrod		Sprcha + umyvadla + kuchyně
4		Elektro koagulace (EC/O <sub>3</sub> )	pH = 7.0, Ozón = 47.4 mg/L, CD = 15 mA/cm <sup>2</sup>		Sprcha + umyvadla
5		Elektro koagulace (EC/O <sub>3</sub> /UV)	pH = 7.0, Ozón = 47.4 mg/L, CD = 15 mA/cm <sup>2</sup> , UV		Sprcha + umyvadla
6		Fotokatalitické čištění (PFC)			Prádelna
7	Fyzikální	Filtrace	Recyklovaný vertikální průtokový bioreaktor		Prádelna + vana + kuchyně
8		Filtrace	Filtr o velikosti zrna 0.8–6.3 mm; D <sub>10</sub> = 1.4 mm, D <sub>60</sub> = 3.1 mm; koeficient rovnoměrnosti= 2.2.	Borová kůra	Vana + prádelna
9		Filtrace	Filtr o velikosti zrna 0.8–6.3 mm; D <sub>10</sub> = 1.4 mm, D <sub>60</sub> = 3.1 mm; koeficient rovnoměrnosti= 2.2.	Aktivní uhlí	Vana + prádelna
10		Filtrace (HRT=24)	Hrubá filtrace		Sprcha + myčka v domácnostech
11		Filtrace (HRT=24)	Vrstva 1: kokosové skořápky, Vrstva 2: piliny, Vrstva 3: uhlí, cihly, písek		Kuchyně
12		Filtrace (HRT= 30-40d)	Sedimentační nádrž a pískový filtr		Kuchyně

13		Filtrace (HRT= 30-40d)	Sedimentační nádrž s granulovaným aktivním uhlíkem		Kuchyně
14	Fyzikálně-chemické	Elektrochemický reaktor	Hybridní granulovaný aktivní uhlík a elektrochemický systém		Sprcha
15	Biologické	Rotující biologický stykač (RBC)			Prádelna + vana + kuchyně
16		Biofilmový reaktor s nosičem biomasy ve vznosu (MBBR)			Prádelna + vana
17		Membránový bioreaktor (MBR)	Plocha membrány 120 cm <sup>2</sup>		Prádelna + vana + kuchyně
18		Membránový bioreaktor (MBR)	UF membrána		Sprcha
19		SBR			Sprcha
20		Zkrápěné anaerobní filtry (UASB)			Sprcha
21		Biologicky aktivovaný membránový bioreaktor (BAMB)			Koupelna + umyvadla

Tabulka 15: Hodnota efektivity čištění při využití různých systémů uvedených v tabulce č. 14

Popis procesu		Efektivnost čištění (%)																
		BSK <sub>5</sub>	CHSK	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Celk. dusík	Celk. fosfor	Celk. org. uhlík	<i>E. coli</i>	Zákal	Celkový obsah nerozpuštěných látek	Celkový obsah rozpuštěných látek	Anionaktivní tenzidy	pH	Sodík	Vodivost
1	Koagulace	85,37	65,59		8,98			0,56	96,39									
2	Koagulace	88,28	63,72		14,93			12,78	94,58									
3	Elektro-koagulace (EC)		95															
4	Elektro koagulace (EC/O <sub>3</sub> )		85							70								
5	Elektro koagulace (EC/O <sub>3</sub> /UV)		95							87	96							
6	Fotokatalitické čištění (PFC)	55	55			75						88						
7	Filtrace			96,92	48,57	16,67			73,68		97,5		93,48	98,37				
8	Filtrace	98													7,8-6,1			7,14
9	Filtrace	97																11,7
10	Filtrace (HRT=24)		20			17,74					98,31			14,21			4,9	
11	Filtrace (HRT=24)		82,26		68,66	73,42	100						69,98	82,61				
12	Filtrace (HRT= 30-40d)		25									20						
13	Filtrace (HRT= 30-40d)		27									25						
14	Elektrochemický reaktor		68							70								
15	Rotující biologický stykač (RBC)	52,42	60,36										bez změny	11,08				
16	Biofilmový reaktor s nosičem biomasy ve vznosu (MBBR)	59	70						12			66		87,07				
17	Mebránový bioreaktor (MBR)	93,37										98						
18	Membránový bioreaktor (MBR)	93,22	86,24			72,03		62,05	18,75			98,28			96,66			
19	SBR		90															
20	Zkrápěné anaerobní filtry (UASB)		51	37		47	50											
21	Biologicky aktivovaný membránový bioreaktor (BAMB)									95								

V tabulce č. 14 se porovnávaly naměřené hodnoty, které byly získány při různých metodách čištění šedých vod, a tabulka č. 15 pak reflektuje efektivnost tohoto čištění při využití různých systémů. V rámci chemického čištění šedých vod (tabulka 15) vychází nejlépe z dosažených hodnot koagulace a flotace. Procenta odstranění sledovaných parametrů byla u BSK5 85-89%, CHSK 64%, a *E. coli* nad 99% (Ghaitidak, Yadav, 2013). Fyzikální čištění vod s použitím konvenčních technik dosahovalo účinnosti BSK5 89-98%, CHSK 37-94%, a *E. coli* 100% (Noutsopoulos et al., 2018). V posledních letech se membránové čistící systémy optimalizovali k standardům čištění odpadních vod. Konkrétně membránový bioreaktor dosahoval účinnost 98–99.9% zákalu, 100% celkových rozpuštěných látek, 93–97% BSK5, a 86–99% CHSK.

Se zajímavým experimentem přišla americká společnost Kohler (2012), kdy v rámci studie „*Is gray-water reuse ready for prime time?*“ porovnála čtyři různé způsoby čištění šedé vody.

- 1) Filtrace a chlórování;
- 2) Pokročilá oxidace ( $H_2O_2 + UV$ );
- 3) Membránový bioreaktor (MBR);
- 4) Biologické čištění s filtrem.

Výsledkem studie bylo porovnání chemických a biologických složek společně s nerozpuštěnými látkami a porovnání jejich hodnot s normou NSF 350. Systém jedna a dva nesplnily požadavky určené normou NSF 350 (konkrétní hodnoty viz tab. 16 a obr. 5).

Tabulka 16: Porovnání čtyř způsobů čištění, červeně neprošlo normou, zeleně – vyhovuje normě, NT – netestováno (Kohler, 2012)

	Celkové množství rozpuštěných látek (mg/L)	Zákal (NTU)	BSK5 (mg/L)	<i>E. coli</i>	pH	Chlór (mg/L)
NSF 350 ST	pod 10	pod 5	pod 10	pod 14	6,5-8,5	0,5-2,5
Voda ze sprchy - beze změny	38	62,3	51,6	1203	7,4	NT
Systém 1 - filtrace a chlórování	10,6	5,6	16,4	8,2	7,4	0,5
Systém 2 - pokročilá oxidace	10,2	8,3	13,3	pod 1	7,5	NT
Systém 3 - membránový bioreaktor	pod 1	0,2	pod 4,3	pod 1	7,8	pod 1,0
Systém 4 - biologický filtr	pod 1,2	0,5	pod 2,4	pod 1	7,6	pod 1,0

#### DOPAD VYUŽITÍ ŠEDÉ VODY NA SPLACHOVACÍ NÁDRŽKU TOALETY

Kvalita upravené šedé vody byla nejvíce patrná na ventilech a stěnách splachovací nádržky toalety.

	18. DEN	60. DEN	90. DEN	1 ROK	KVALITA VODY/ STÍŽNOSTI UŽIVATELŮ
<b>KONTROLA</b> MĚSTSKÁ VODA					Dobrá vizuální kvalita vody. Žádné stížnosti od uživatelů.
<b>SYSTÉM 1</b> FILTRACE A CHLORACE					Stěny nádrže kvůli nízkému dávkování chloru zčernaly. Stížnosti na zápach.
<b>SYSTÉM 2</b> POKROČILÁ OXIDACE (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + UV)					Ve WC míse se objevil sliz.
<b>SYSTÉM 3</b> MEMBRÁNOVÝ BIOREAKTOR (MBR)					Dobrá vizuální kvalita vody. Žádné stížnosti od uživatelů.
<b>SYSTÉM 4</b> BIOLOGIE S FILTREM					Dobrá vizuální kvalita vody. Žádné stížnosti od uživatelů.

Obrázek 5: Kvalita upravené šedé vody na příkladu nádržky toalety (Kohler, 2012)

Z hlediska nejčastěji používaných čistících metod lze tedy souhrnně uvést primární výhody a nevýhody.

**Pískový filtr** – Písek případně hrubá kůra nebo mulč zachycují a adsorbují kontaminanty při průtoku šedé vody.

- + jednoduchý proces;
- + nízké provozní náklady;
- + snadná údržba;
- - vysoké pořizovací náklady;
- - redukuje patogeny, ale zcela je neodstraňuje;
- - možnost zatopení, přetečení, ucpání.

**Membránový bioreaktor** – Aerobní biologické čištění s filtrací ke zvýšení odbourávání organických kontaminantů a filtrace všech patogenů.

- + vysoká účinnost;
- + možnost přizpůsobení čištění dle množství a kvality šedé vody;
- + možnost uchování čištěné vody dlouhodobě;
- - vysoké pořizovací náklady;
- - vysoké provozní náklady;
- - zajišťování různých operačních požadavků.

**Aktivní uhlíkový filtr** – Je ošetřen kyslíkem, který otevírá miliony drobných pórů mezi atomy uhlíku. Tyto filtry absorbují zapáchající a zbarvené substance (plyny/tekutiny).

- + jednoduchá operace;
- +aktivovaný uhlík je částečně vhodný k zachycení organických látek ale i anorganických složek jako chlór;
- - vysoké pořizovací náklady;
- - některé látky nejsou uhlíkem zachyceny (sodík, dusičnany, ..);
- - účinnost aktivovaného uhlíku po zaplnění vodou přestane fungovat.

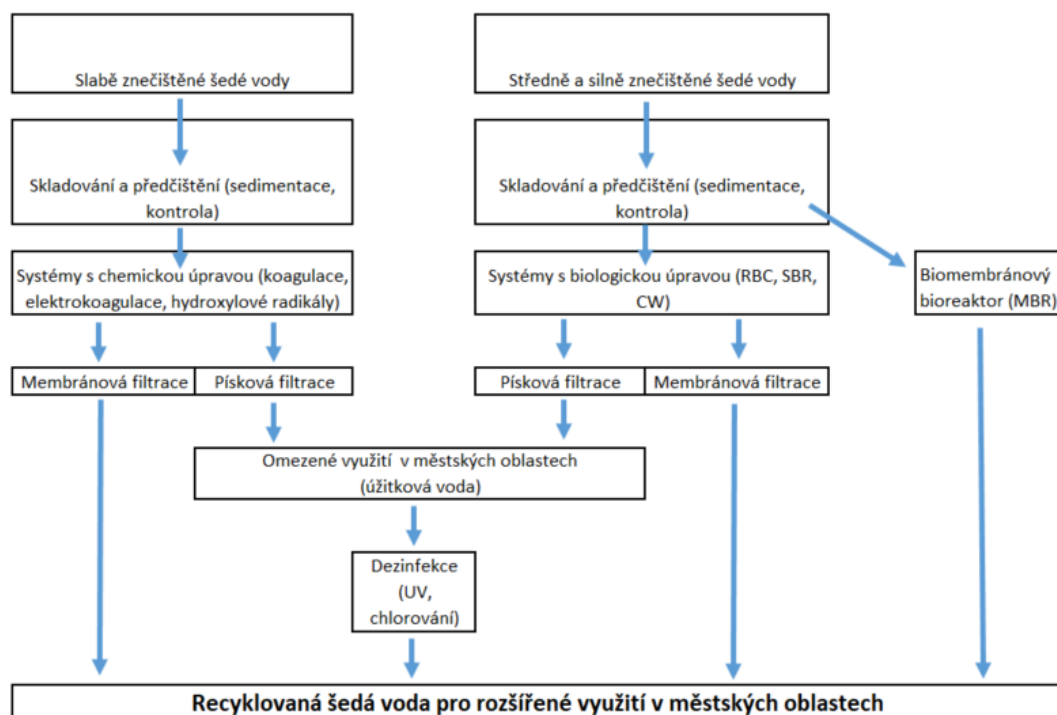
**Dezinfekce** – Chlór, ozón nebo UV.

- + vysoce účinné v zabíjení bakterií;
- + není potřeba zkušeného uživatele;
- - chlór a ozón mohou vytvářet toxické produkty.

**Aerobní biologické čištění** - Vzduch je hnán do šedé vody. Bakterie konzumují rozpuštěný kyslík a organické kontaminanty a tím snižují jejich koncentraci.

- + vysoký stupeň přizpůsobení procesu dle šedé vody;
- + možnost uskladnění vody dlouhodobě;
- - vysoké pořizovací náklady;
- - vysoké provozní náklady;
- - komplexní operace neodstraňují všechny patogeny.

Obrázek č. 6 znázorňuje koncept recyklace šedých vod pro využití v městských oblastech. Je zřejmé, že ideální by byla situace, kdy by fungovaly různorodé systémy založené na všech výše popsaných principech recyklace vod a vzájemně by se doplňovaly.



Obrázek 6: Schéma čištění šedých vod (Li et al. 2009)

## 4.6 Porovnání konkrétních produktů

### 4.6.1 Ecoplay

Nejčastěji využívaným způsobem čištění vody ve Velké Británii je „**Ecoplay**“ (ECOPLAY, 2021). Recyklační zařízení Ecoplay je typickým příkladem drobného zařízení pro znovuvyužití šedé vody. Systém funguje na principu zachytávání šedé vody z koupelny do čistícího zařízení. Zde odstraní vlasy, mýdlo, pěnu a další lehké části, zatímco těžké klesají procesem sedimentace do odpadního potrubí. „Čistá voda“

je dále přečerpána do sběrného zařízení o kapacitě 100l, což stačí přibližně na patnáct spláchnutí WC. Negativem zařízení je zejména nemožnost prodloužení doby skladování a malý objem, ale také nepraktická výška 2,3 m.

#### **4.6.2 Aquacycle**

V současnosti je v Německu několik set funkčních systémů s rozličnými koncepty. Jedním z průkopníků je Německá společnost Pontos GmbH, která nainstalovala i recyklační zařízení **Aquacycle** do jednoho z největších českých modelových domů: Mosaic House, který byl během instalace teprve druhou budovou na světě, kde byl tento systém instalován (MOSAIC HOUSE, 2021). Systém je založen na několika stupních čištění (UCEM, 2015).

##### **Předfiltrace**

Šedá voda vstupuje do zařízení skrz filtr, který zachycuje hrubé částice (například textilní zbytky, vlasy atd.). Filtr se automaticky čistí v pravidelných intervalech a zachycené části odstraňuje do odpadního potrubí.

##### **Biologické čištění**

Čištění dále pokračuje dvojestupňovým biologickým čištěním. V první fázi se voda upravuje pod přívodem atmosférického kyslíku. Mikroorganismy na povrchu nosného materiálu odbourávají biologický obsah. Po několika hodinách se voda čerpá ze stupně jedna do stupně dva, kde podruhé prochází stejným procesem.

##### **Sedimentace**

Produkty z biologického čištění jsou pomocí sedimentace odváděny do odpadního potrubí.

##### **UV dezinfekce**

Posledním krokem je dezinfekce pomocí UV lampy pro sterilizaci. Po tomto kroku je voda schopná dlouhodobějšího skladování. V případě, že je vygenerováno více vody, než je zařízení schopné uchovat, je voda odváděna do odpadního potrubí, aby se zabránilo přelití.



### 4.6.3 Hydraloop

Vítěz několika ocenění, zejména v kategorii inovace, nizozemský startup **HYDRALOOP** si v poslední době vysloužil velkou pozornost. Jedná se o systém domácí čistírny vod, kdy recyklovaná voda neslouží jako pitná voda, ale vrací se zpět do myček, praček, sprch, toalet atd. Certifikace této čistírny je v souladu s normou na pitnou vodu 258/2000 Sb., vyhláškou 252/2004 Sb., a britskou normou BS 8525 – 1 – EN 16941 – 1.

Způsob čištění systému Hydraloop je bez použití filtrů, membrán nebo chemikálií. Jedná se o čistící proces složený z pěti technologií – sedimentaci, provzdušňování, nadnášení pevných částic, fraktaci pěny a aerobní bioreaktor. Šestou technologií je dezinfekce pomocí UV.

Systém HYDRALOOP využívá tři moduly a to Hydraloop HOME, Hydraloop GARDEN, Hydraloop POOL. Kapacita všech modulů je 300 l denně, maximální kapacita zpracování je 530 l. V případě využití v ubytovacích zařízeních lze centrálně využít modul Hydraloop Kaskáda a shromáždit vodu z umyvadel, van a sprch a znova používat.

**Velikost a prostorová náročnost:** Rozměry hlavní čistící jednotky jsou o velikosti šatní skříně (obr. 7).



Obrázek 7: Hydraloop v barevných variantách ( HYDRALOOP, 2021)

**Kvalita vstupní a výstupní vody:** Zdroje vody, které lze použitím HYDRALOOP recyklovat, jsou zejména vany, sprchy a případně pračky (nutno objednat speciální modul Pračka Xtra). Předčištěnou vodu lze využít na splachování toalety, praní, zavlažování zahrady a práce kolem domu či napouštění bazénu.

Tabulka 17: Hodnoty dosažené čištěním pomocí Hydraloop (HYDRALOOP, 2021)

	<i>Escherichia coli</i> (MPN/100ml)	BSK <sub>5</sub> (mg/L)	CHSK (mg/L)	pH
<b>Hydraloop</b>	pod 14	pod 10	pod 10	6-9

**Životnost a údržba:** Přístroj je samočisticí a nepotřebuje pravidelné čištění nebo servis. Očekávaná životnost UV lampy je 4 roky, ale výrobce doporučuje ji vyměnit každé 3 roky. Je vhodné nechat provést každoroční preventivní údržbu odborníkem.

**Dostupnost v České republice/potažmo EU:** V České republice se začíná rozšiřovat.

**Finanční náročnost:** Při výběru systému Hydraloop je možnost o zažádání dotace programu dešťovka na pokrytí 50 % nákladů.

Cena bytové studny Hydraloop model home se dvěma výstupy na splachování a praní je 95 600 Kč bez DPH. Výstupní modul na napuštění bazénu/zahrada stojí 5 585 Kč bez DPH a nerezový podsvícený čelní LED panel stojí 5 585 Kč bez DPH:

#### 4.6.4 Aqualoop

Jedním z dalších projektů, který se postupem času dostává do všech koutů světa je zařízení **AQUALOOP** společnosti Intewa z Německa (ASIO, 2011-2021). Jedná se o systém pro úpravu a recyklaci šedé vody. Produkuje vysoce kvalitní provozní vodu bez ohledu na to, zda vstupní voda pochází z povrchových vod, podzemních vod, odtokové vody z ČOV, průmyslových odpadních vod nebo z šedých vod z rodinných domů nebo větších producentů). Vestavba systému v hotelech, kempech, komerčních objektech, průmyslových podnicích, veřejných budovách i v rodinných domech dopomáhá snižovat spotřebu vody. Zařízení je v souladu s normou NSF/ANSI 350 pro všechny předepsané požadavky jako vyhovující.

Systém AQUALOOP (obr. 7) se skládá z několika komponentů:

- AQUALOOP - filtr mechanické předčištění;
- AQUALOOP - nosiče biomasy;
- AQUALOOP - membránová jednotka s řídicím systémem;

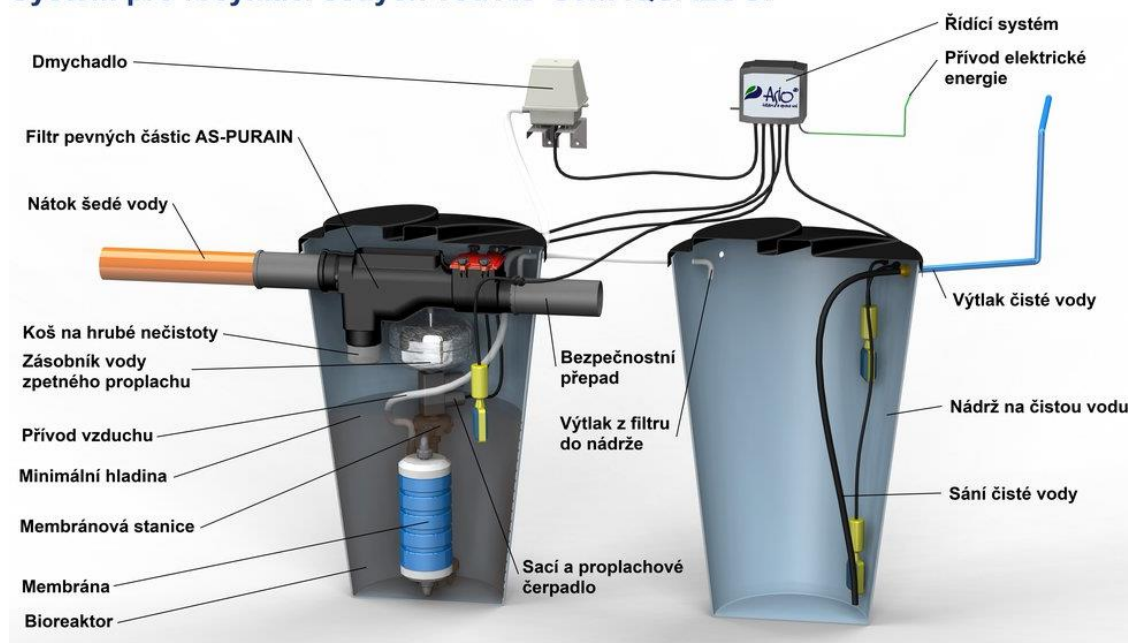
- AQUALOOP - membránové moduly;
- AQUALOOP – dmychadlo.

**Kapacita čištění:** Jelikož rozpětí objemu akumulace provozních vod systému AQUALOOP je od 300 – 2400 l, jedná se o systém, který je možno využít jak v domácnosti (běžný rodinný dům využívá průměrně 600 l/den), tak i v hotelech, wellness centrech, sportovních areálech nebo v komerčních a průmyslových budovách.

**Velikost a prostorová náročnost:** Rozměry jsou určeny konkrétní velikostí (dle počtu EO – tabulka č. 18).

**Doba průběhu:** Celková denní produkce šedých vod není rozdělená rovnoměrně – viz tabulka č. 19.

### Systém pro recyklaci šedých vod AS-GW/AQUALOOP



Obrázek 8: Čistiřna šedých vod AS-GW/AQUALOOP s popisem (ASIO, 2011-2021)

Tabulka 18: Tabulka jednotlivých typů AQUALOOP ČOV a objem akumulace vod (ASIO, 2011-2021)

Typ ČOV	Počet EO	Maximální denní nátok (l/den)	Objem akumulace šedé vody (l)	Objem akumulace provozní vody (l)
AQUALOOP 6	6	300	300	300
AQUALOOP 12	12	600	600	600
AQUALOOP 18	18	900	900	900
AQUALOOP 24	24	1200	1200	1200
AQUALOOP 30	30	1500	1500	1500
AQUALOOP 36	36	1800	1800	1800
AQUALOOP 48	48	2400	2400	2400

Tabulka 19: Tabulka časových intervalů a procentní podíl denního objemu (ASIO, 2011-2021)

Časový interval (v hodinách)	Procentní podíl denního objemu %
6 – 9	30
9 – 12	15
12 – 18	0
18 – 20	40
20 – 23	15
23 - 6	0

**Kvalita vstupní a výstupní vody:** Voda je mechanicky předčištěna, poté biologicky čištěna a přes membránový modul je čistá voda čerpána do nádrže. Systém je možné osadit výměníkem pro rekuperaci tepla z šedé vody. Primárně se jedná o recyklaci vod ze sprch, umyvadel, praček a technologických procesů neobsahujících fekálie a moč. Parametry a výsledky testů systému AQUALOOP jsou uvedeny v tabulce č. 20.

**Životnost a údržba:** Doba životnosti je závislá zejména na zatížení a údržbě zařízení. V pravidelných intervalech dochází k regeneraci membrán 1 % roztokem kyseliny citrónové. Regeneraci provádí odborná firma dle pokynů výrobce jednou za 15 let.

Tabulka 20: Tabulka nátokových parametrů a výsledky testů AQUALOOP po vyčištění (ASIO, 2011-2021)

Parametr	Nátokové parametry vody	Požadavky vyčištěné vody dle NSF/ANSI 350-2014 Class C		AQUALOOP Výsledky testu NSF třída C	
		Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota
CHSK <sub>5</sub>	130-180 mg/l	-	-	-	-
BSK <sub>5</sub>	-	10 mg/l	25 mg/l	5 mg/l	17 mg/l
NL	80-100 mg/l	10 mg/l	30 mg/l	2 mg/l	7,8 mg/l
Zákal (NTU)	50-100 NTU	2 NTU	5 NTU	0,57 NTU	3,89 NTU
<i>E. coli</i>	102-104 ktj/100 ml	2,2 MPN/100 ml	200 MPN/100 ml	1,0 MPN/100 ml	13,0 MPN/100/ml
pH	6,5-8,0	6,0 - 9,0	neaplikovatelné	7,38	neaplikovatelné
Pcelk.	1,0-3,0 mg/l	-	-	-	-
TKN	3,0-5,0 mg/l	-	-	-	-
Barva	-	měřeno a hlášeno	NA	měřeno a hlášeno	NA
Zápach	-	neagresivní	NA	neagresivní	NA
Olejový film a pěna	-	nezjistitelné	nezjistitelné	nezjistitelné	nezjistitelné

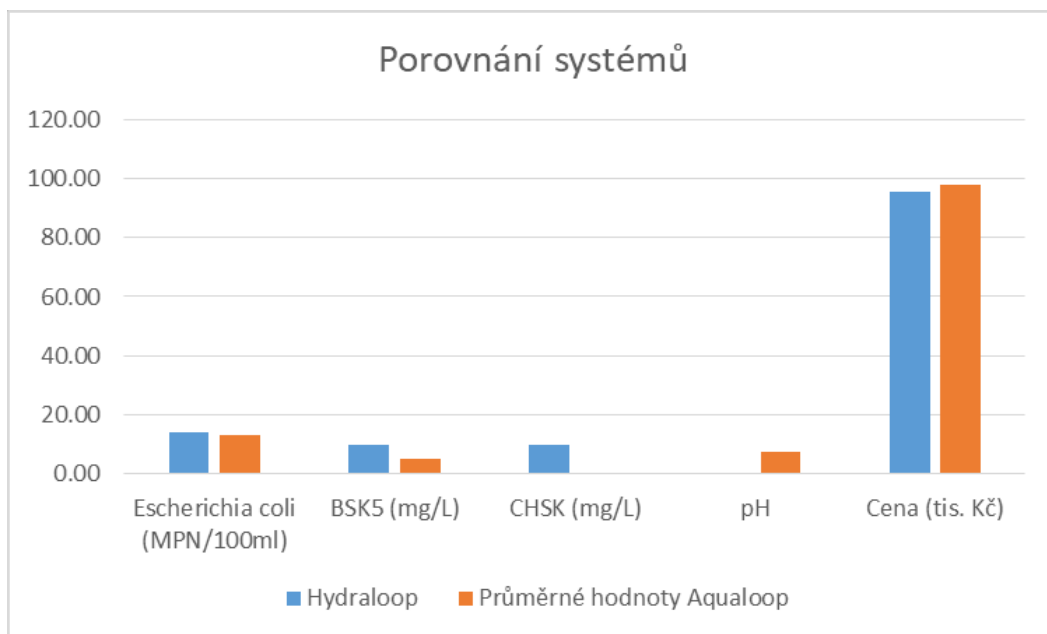
**Dostupnost v České republice/potažmo EU:** V České republice velmi rozšířená.

**Finanční náročnost:** Při výběru systému AQUALOOP je možnost o zažádání dotace programu dešťovka až na pokrytí 50 % nákladů.

Cena domovní ČOV AS-GW/AQUALOOP 6 je 97 890 Kč.

**Výskyt modelových příkladů použití v České republice/potažmo EU:** Wellness Olomouc, Galant Mikulov (ASIO, 2011-2021).

Z hlediska nejpoužívanějších systémů v České republice si zaslouží pozornost systémy Hydraloop a Aqualoop. Jsou téměř ve všem srovnatelné (obr. 9), i když o něco lepší je zřejmě nizozemský produkt. Hydraloop má výhodu nižší hlučnosti a uživatelského prostředí. Vykazuje i lepší výsledky v hodnotách BSK<sub>5</sub> a CHSK.



Obrázek 9: Porovnání systémů Hydraloop a Aqualoop

## 5. Diskuse

Bakalářská práce se snaží o ucelený obraz problematiky šedých vod. Znovuvyužití šedých vod se řeší obvykle ze dvou hledisek: environmentálního a finančního. Recyklace šedých vod pracuje jednak s ekologickým aspektem, kdy se šetří zásoby vzácné pitné vody, a zároveň díky těmto systémům lze uspořit nemalé finanční prostředky. Navíc se může získat a využít teplo, které vzniklo z ohřevu vody. Nabízí se tak lákavá možnost úspor dalších finančních nákladů.

Po prostudování problematiky, různých zahraničních i tuzemských studií a článků, bych navrhoval se zaměřit na tři oblasti tématu šedých vod a jejich znovuvyužití v českém prostředí.

- **Legislativa**

Základním krokem k celospolečenskému rozšíření využití šedých vod je dotační a legislativní podpora. Bylo by nápomocné inspirovat se v okolních zemích a přizpůsobit možnosti pro Českou republiku. Inspiraci lze nalézt například v kategorizaci šedých vod obdobně jako v Číně a to na kategorie šedých vod podle využití (v zemědělství, lesnictví, pro chov zvířat, pro městské využití, průmyslové využití, a využití v krajině). Pokud bude vhodně nastavena legislativa tj. správně nadefinovány pojmy a limity, může být dále pracováno na vytvoření metodických pokynů, možností využití atd. Návrh konkrétních limitujících hodnot by mohl být stanoven na základě výzkumu/ komplexní studie v prostředí České republiky.

Dalším logickým krokem by byl správný dotační program od MŽP ČR. V současnosti stále běží program Dešťovka (až do října 2021 na 50% nákladů), kde figuruje i možnost využívat šedé vody. Avšak pokud by chtěl příjemce dotace používat šedé vody i k zalévání (což se dá předpokládat), legislativa navazující na dotační titul je nastavena tak komplikovaně s množstvím příkázání a povinností, co vše musí žadatel splnit, že se prakticky vylučuje aktivní využití tohoto dotačního programu.

Realizace všech systémů čištění šedé vody je závislé na motivaci uživatelů. Jelikož jsou v současnosti nejlepší motivací finance, bylo by přínosné nechat celostátně vypracovat „kodex pro udržitelné domy“. Lze vidět na příkladu Británie, že to funguje poměrně dobře. Po splnění podmínek na aplikaci systému čištění šedých vod, by stavebník/investor mohl být finančně nebo jiným způsobem odměněn. Na druhou

stranu nelze recyklaci šedých vod „přikázat“ nebo určovat kolik šedé vody musí být v rámci domácnosti nebo podniku využito.

- **Propagace**

Pokud nebude na trhu dostatečná informovanost o využití systémů čištění odpadních vod, nebude šedým vodám nikdy věnována taková pozornost, jakou by si zasloužily. Primárně by se mělo v celospolečenském měřítku zaměřit na kvalitní informační kampaně pro obce a jejich obyvatelstvo, případně připravit výukové programy pro školy. Například v brožuře: „*Pili byste odpadní vodu?*“ (EU, 2002) jsou šedé vody zmíněny jen okrajově. Zajímavé vzdělávací programy (týkající se odpadních vod) pro školy už nabízejí Pražské vodovody a kanalizace – *Voda hrou* (PVK, 2020) nebo různé neziskové organizace (Ekocentrum Koniklec, 2017). Výukové programy pro školy by mohly být později doplněny kurzy zabývající se problematikou šedých vod a metodami jejich znovuvyužití i pro širší veřejnost.



Obrázek 10: Využitelný design i pro propagaci znovuvyužití šedých vod (EU, 2002)

Neméně podstatnou složkou se v dnešní době stává i design a v době chytrých domácností i uživatelská možnost připojení aplikace a vzdáleného přístupu. To je patrné zejména u systému Hydraloop, který již využívá barevné rozlišení modulů a dálkový přístup. Je to jedna z dalších možností, jak nalákat nové uživatele na moderní zařízení na čištění šedých vod.

Také je v prostředí České republiky možné aplikovat suché pisoáry pro veřejnost obdobně jako ve Francii, případně využít šedé vody na vaření piva, což by určitě českého spotřebitele zaujalo a problematika šedých vod by se dostala i do nejširšího povědomí veřejnosti.



- **Široká nabídka systémů a produktů**

V současnosti je nabídka systémů úpravy šedých vod docela obsáhlá a přístupná i pro obyčejné domácnosti, i když se jedná o produkty ze zahraničí a ryze český systém chybí.

Hlavními faktory pro volbu správného zařízení jsou velikost, původ šedé vody a výsledná požadovaná kvalita s ohledem na finanční náročnost. V posledních letech se systémy recyklace a čištění vod v celosvětovém měřítku významně posouvají dopředu. Také je patrná snaha o využívání ekologických produktů a udržitelný způsob života, který nezpůsobuje tak silně znečištěné šedé vody, a systémy úpravy dosahují lepších hodnot. Největší rozmach zaznamenávají membránové čistící systémy. Konkrétně membránový bioreaktor dosahuje vysoké účinnosti. MBR se stávají atraktivním řešením zejména v rezidenčních oblastech měst, kde mají svá opodstatnění i z ekonomického hlediska.

V domácnostech se přistupuje spíše k chemickým a fyzikálním způsobům čištění. Limitující je hlavně prostor a ekonomická udržitelnost. Z tohoto důvodu jsou šedé vody v domácnostech využívány nejčastěji na splachování toalet. Účinnost chemických procesů je závislá na stupni znečištění vstupní vody a jsou z tohoto hlediska nejvhodnější pro domácnosti.

Nejvhodnějšími systémy, které by byly vhodné u rezidenčních bytů nebo soustavy bytových jednotek, se zatím jeví aerobní biologické procesy s filtrací a dezinfekcí. Tento proces splňoval hodnoty stanovené normou, ale byl také ekonomicky výhodný a udržitelný. RBC systémy se ekonomicky vyplatí už v případě, že velikost budovy dosahuje minimálního počtu 28 bytů.

Nelze zapomenout ani na mokřady a kořenové čistírny odpadních vod. Tento systém čištění představuje ekonomicky nejvhodnější řešení, ale na druhou stranu vyžaduje velký prostor pro realizaci. Mokřady však mohou tvořit i ekologicky hodnotné prostředí a jsou důležitým bodem v budoucí modro-zelené infrastruktuře města.

Další možností využití šedé vody (tj. pomyslné vytvoření další kategorie pro stanovení limitních hodnot) je zavlažování, které by bylo vhodné aplikovat i dále v zemědělství.

## 6. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo na základě literární rešerše zmapovat metody čištění šedých vod a následně vyhodnotit vhodnost jednotlivých metod pro šedé vody různého původu. Souhrnně byly porovnávány realizované výzkumy a studie, ze kterých vyplynuly výhody a nevýhody jednotlivých metod a systémů používaných na čištění šedých vod. Česká republika se v rámci Implementace Agendy 2030 (MŽP, 2017) pro udržitelný rozvoj zavázala v bodě SDG 6 do roku 2030 zlepšit kvalitu vody snížením jejího znečištění, zamezením vyhazování odpadů do vody a minimalizací vypouštění nebezpečných chemických látek. Stát by měl snížit na polovinu podíl znečištěných odpadních vod a podstatně zvýšit recyklaci a bezpečné opětovné využívání vody. Z tohoto důvodu by bylo přínosné legislativně kategorizovat šedé vody a na základě dalšího využití definovat jednotlivé limitní hodnoty. Měly by vzniknout standardy a doporučení k využití jednotlivých systémů. Do legislativního rámce lze zapojit dotační programy a následně spustit informační kampaň pro veřejnost. Veřejnost v České republice by se měla naučit používat jednoduché systémy, ve kterých je bílá voda krátkodobě skladována a slouží například ke splachování toalet. A později by se lidé mohli začít zajímat o ty komplikovanější metody recyklace šedé vody, odkud by kvalitně vyčištěná voda putovala do průmyslu nebo by se využívala k zavlažování.

## 7. Přehled literatury a použitých zdrojů

- Abdel-Shafy H. I., El-Khateeb M. A., Shehata M., 2014: Greywater treatment using different designs of sand filters. *Desalination and Water Treatment* 52. P. 28-30.
- Amoatey P., Bani R., 2011: Wastewater Management. In: Einschlag F. S. G.: *Waste Water - Evaluation and Management*. INTECH, UK. P. 379- 398.
- Alcalde-Sanz L., Gawlik B. M., 2017: Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge—towards a legal instrument on water reuse at EU level. *Publications Office of the European Union*, Luxembourg, 63 p.
- Atanasova N., Dalmau M., Dalmau M., Comas J., Poch M., Rodriguez-Roda I., Buttiglieri G., 2017: Optimized MBR for greywater reuse systems in hotel facilities. *Journal of Environmental Management* 193. P. 503-511.
- Bartoník A., Holba M., Vrána J., Ošlejšková M., Plotěný K., 2012: Šedé vody – možnosti využití jejich energetického potenciálu. *Vodní hospodářství* 2. S. 60-64.
- Biela R. 2011: Kvalita šedých vod a možnost jejich využití. *TZB- info*, vol. 13., no. 49. S. 1-5.
- Birks R., 1998: *Biological aerated filters and membranes for greywater treatment*. MSc, Thesis, Cranfield University.
- Biswat A., Tortajada C., 2020: China's water revolution. *The Water Network* (online) [cit. 2020.11.04], dostupné z <https://thewaternetwork.com/article-FfV/chinas-water-revolution-t9S1K-bES4gBuRQ8iVtKgQ>.
- Brewer D., Brown R., Stanfield G., 2001: *Rainwater and greywater in buildings: project report and case studies*. Technical Note TN 7/2001, BSRIA Ltd., Bracknell, UK (online) [cit. 2020.11.08], dostupné z [https://www.waterwise.org.uk/wp-content/uploads/2018/02/Brewer-et-al.-2001\\_Rainwater-and-Greywater-in-Buildings\\_Project-and-Case-Studies.pdf](https://www.waterwise.org.uk/wp-content/uploads/2018/02/Brewer-et-al.-2001_Rainwater-and-Greywater-in-Buildings_Project-and-Case-Studies.pdf).

- Boano F., Caruso A., Costamagna E., Ridolfi L., Fiore S., Demichelis F., Galvão A., Piscoiro J., Rizzo A., Masi F., 2020: A review of nature-based solutions for greywater treatment: Applications, hydraulic design, and environmental benefits. *Science of The Total Environment* 711. P. 1- 26.
- Dalahmeh S. S., Lalander C., Pell M., Vinneras B., Jonsson H., 2016: Quality of greywater treated in biochar filter and riskassessment of gastroenteritis due to household exposure during maintenance and irrigation. *Journal of Applied Microbiology* 121. P. 1427—1443.
- Dřimal P., Hoffman J., 2008: Automatizovaný systém kontinuálního sledování aerobního biologického rozkladu látek ve vodním i půdním prostředí. *Chemické listy* (102). S. 139-147.
- Emmerson G., 1998: Every drop is precious: Greywater as an alternative water source. Queensland Parliamentary Library Publications and Resources Section, Brisbane. P. 39-43.
- Elmitwalli T. A., Otterpohl R., 2007: Anaerobic biodegradability and treatment of grey water in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *Water Res* 41(6). P. 1379-1387.
- Elmitwalli T. A., Shalabi M., Wendland C., Otterpohl R., 2007: Grey water treatment in UASB reactor at ambient temperature. *Water Sci Technol* 55 (7). P. 173–180.
- Ezugbe E. O., Rathilal S., 2020: Membrane Technologies in Wastewater Treatment: A Review. *Membranes* 10(5):89. 28 p.
- Friedler E., Yardeni A., Gilboa Y., Alfiyaet Y., 2011: Disinfection of greywater effluent and regrowth potential of selected bacteria. *Water Sci Technol* 63(5). P. 931–940.
- Friedler E., Hadari M., 2006: Economic Feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings. *Desalination* 190. P. 221-234.
- Ghaitidak D. M., Yadav K. D., 2013: Characteristics and treatment of greywater-- a review. *Water Sci Technol* 67(7). P. 1403-1424.

- Gilboa Y., Friedler E., 2008: UV disinfection of RBC-treated light greywater effluent: kinetics, survival and regrowth of selected microorganisms. *Water Research* Volume 42, Issues 4–5. P. 1043-1050.
- Gao X., Schlosser G., A., Fant C., Strzepek K., 2018: The Impact of Climate Change Policy on the Risk of Water Stress in Southern and Eastern Asia. *Environmental Research Letters* Volume 13, Number 6. P. 1-10.
- Gkoumas K., Christou M., 2020: A Triple-Helix Approach for the Assessment of Hyperloop Potential in Europe. *Sustainability* 12. 20 p.
- 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, MZ ČR, Brno, 57 s.
- Gross A., Shmueli O., Oron G., Ronen Z., Raveh E., 2007: Recycled vertical flow constructed wetland (RVFCW) - a novel method of recycling greywater for irrigation in small communities and households. *Chemosphere* 66/5. P. 916-923.
- Herka M., 2014: Monitoring obsahu fosforu a dusíku v odpadních vodách. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Brno. 80 s. (online) [cit. 2020-08-24], dostupné z <http://hdl.handle.net/11012/31093>.
- Herčík M., Dirner V., 2007: Základy environmentalistiky. Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Ostrava, 109 s.
- Hernandez Leal L., Temmink H., Zeeman G., Marques A., Buisman J. N. C., 2010: Comparison of three systems for biological grey water treatment. *Water* 2. P. 155-169.
- Hernandez Leal L., Zeeman G., Buisman C. J. N., 2011: Grey water treatment concept integrating water and carbon recovery and removal of micropollutants. *Water Practice and Technology* Vol 6 No 2. P. 1-9.
- Hills S., Smith A., Hardy P., Birks R., 2001: Water recycling at the Millennium Dome. *Water Sci Technol* 43(10). P. 287-94.

- Hills S., Birks R., Diaper C., Jeffery P., 2003. An evaluation of single-house greywater recycling systems. In: Proceedings of the IWA 4th International Symposium on Wastewater Reclamation & Reuse, Mexico City, Mexico.
- Hnátková T., Šereš, M., 2016: Kořenové čistírny odpadních vod a využití přečištěných odpadních vod – opatření pro snižování rizik sucha a eutrofizace povrchových zdrojů vody v návaznosti na zemědělskou výrobu. Vodní hospodářství Roč. 66, č. 8, s. 19–21.
- Hosseinzadeh M. Nabi R., Torabian A., Mehrdadi N., Pourabdullah M., 2015: A new flat sheet membrane bioreactor hybrid system for advanced treatment of effluent, reverse osmosis pretreatment and fouling mitigation. Bioresource Technology Volume 192. P. 177 - 184.
- Hulme M., Jenkins G. J., Lu X., Turnpenny J. R., Mitchell T. D., Jones R. G., Lowe J., Murphy J. M., Hassell D., Boorman P., McDonald R., Hill S., 2002: Climate Change Scenarios for the United Kingdom: The UKCIP02 Scientific Report, Tyndall Centre for Climate Change Research, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, UK, 120 p.
- Chaillou K., Gérente C., Andrès Y., Wolbert D., 2011: Bathroom Greywater Characterization and Potential Treatments for Reuse. Water Air Soil Pollut 215, P. 31–42.
- Chudoba J., Dohányos M., Wanner J., 1991: Biologické čištění odpadních vod. SNTL, Praha, 465 s.
- Itayama T., Kiji M., Suetsugu A., Tanaka N., Saito T., Iwami N., Mizuochi M., Inamori Y., 2004: On site experiments of the slanted soil treatment systems for domestic gray water. Water Sci Technol 53(9). P 193-201.
- Jong J., Lee J., Kim J., Hyun K., Hwang T., Park J., Choung Y., 2010: The study of pathogenic microbial communities in graywater using membrane bioreactor. Desalination Vol. 250, Issue 2. P. 568-572.

- Kožíšek F., Paul J., Datel J., 2013: Zajištění kvality pitné vody při zásobování obyvatelstva malými vodárenskými systémy. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha, 114 s.
- Kožíšek F., 2012: Šedé vody z pohledu hygienika a legislativy. SOVAK – Časopis oboru vodovodů a kanalizací 21(2). S. 46.
- Kučerová R., Fečko P. Lyčková B., 2010: Úprava a čištění vody (online) [cit. 2020.05.20], dostupné z [http://homen.vsb.cz/hgf/546/materialy/radka\\_2010/info.html](http://homen.vsb.cz/hgf/546/materialy/radka_2010/info.html).
- Lamine M., Bousselmi L., Ghrabi A., 2007: Biological treatment of grey water using sequencing batch reactor. Desalination 215. P. 127–132.
- Leong J. Y. Ch., Kai S. O., Chong M. N., Phaik E. P., 2017: Prospects of hybrid rainwatergreywater decentralised system for water recycling and reuse: A review. Journal of Cleaner Production Vol. 142. P. 3014 – 3027.
- Lesjean B., Gnirss R., 2006: Grey water treatment with a membrane bioreactor operated at low SRT and low HRT. Desalination 199(1). P. 24-28.
- Li F., Wichmann K., Otterpoh R., 2009: Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. Science of The total environment 407. P. 3439–3449.
- Linton J., 2004: Global Hydrology and the Construction of a Water Crisis. The Great Lakes Geographer. Vol. 11, No. 2. P. 1-13.
- Lin Ch. J., Lo S. L., Kuo Ch. Y., Wu Ch. H., 2005: Pilot-scale electrocoagulation with bipolar aluminium electrodes for on-site domestic greywater reuse. Journal of Environmental Engineering 131. P. 491-495.
- Liu R., Huang X., Chen L., Wen X., Qian Y., 2005: Operational performance of a submerged membrane bioreactor for reclamation of bath wastewater. Process Biochemistry 40. P. 125–130.

- Löw K., 2011: An innovative greywater treatment system for urban areas - International transferability of a German approach, installed in GIZ's headquarters in Eschborn. Nürtingen-Geislingen University, Germany Master's Thesis (online) [cit. 2020.05.20], dostupné z [https://www.susana.org/\\_resources/documents/default/2-1469-thesisinterueberkatharinaloew.pdf](https://www.susana.org/_resources/documents/default/2-1469-thesisinterueberkatharinaloew.pdf).
- Mackulák T., Brandeburová P., Grecíková A., Žemlička L., Tichý J., Bodík I., Grabic R., Kiss, E., 2016: Možný prienik liečiv a drog zo stabilizovaného kalu priamo do rastlín. *Slovak*, roč. 25, č. 6. S. 4–5.
- Makropoulos C. K., Morley M., Memon F. A., Butler D., Savic D., Ashley R., 2006: A decision support framework for sustainable urban water planning and management in new urban areas. *Water Science & Technology* Vol 54 No 6–7. P 451–458.
- March J. G., Gual M., Orozco F., 2004: Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain). *Desalination* Volume 164, Issues 3. P. 241-247.
- Merz C., Scheumann R., Hamouri B. E., Kraume M., 2007: Membrane bioreactor technology for the treatment of greywater from a sports and leisure club. *Desalination* Volume 215, Issues 1–3. P. 37-43.
- Nolde E., 1999: Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings—over ten years experience in Berlin. *Urban Water* 1. P. 275–284.
- Nolde, E., 2005: Greywater recycling systems in Germany – results, experiences and guidelines. *Water Science and Technology* 51 (10), 203–210.
- Noutsopoulos C., Andreadakis A., Kouris N., Charchousi D., Mendrinou P., Galani A., Mantziaras I., Koumaki E., 2018: Greywater characterization and loadings - Physicochemical treatment to promote onsite reuse. *Journal of Environmental Management* 216. P 337-346.



- Olanrewaju O. O., Olubanjo O. O.: 2016: The Costs and Benefits of Greywater Reuse in a University Academic and Residential Building. *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology* Volume 3, Issue 5. P. 1-8.
- Oliver M. M. H., Hewa G. A., Pezzaniti D., Haque M. A., Haque S., Haque M M., Moniruzzaman, M., Rahman M. M., Saha K. K., Kadir M. N., 2020: COVID-19 and Recycled Wastewater Irrigation: A Review of Implications D-19 and Recycled Wastewater Irrigation: A Review of Implications. *Preprints* (online) [cit. 2021.01.10], dostupné z <https://www.preprints.org/manuscript/202006.0105/v1>.
- Pangarkar B. L., Parjane S. B., Sane B. G., 2010: Design and Economical Performance of gray water treatment plant in rural region. *International Journal of Civil and Environmental Engineering* Vol. 2, No. 1 P. 1-5.
- Pavlíková, I., 2014: *Environmentální aspekty ochrany vod a půd*. Nakladatelství EPIKA, Jindřichův Hradec, 114 s.
- Peprah M. O., Acheampong M. A., deVries N. K., 2018: Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception—a Review. *Water Air Soil Pollut* 229. P. 255-271.
- Pidou M., 2006: Hybrid membrane processes for water reuse. PhD Thesis. Cranfield university, School of Applied Science, Cranfield, 256 p. (online) [cit. 2020.08.18] dostupné z [https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/handle/1826/4372/Pidou\\_Thesis-PhD-2006.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/handle/1826/4372/Pidou_Thesis-PhD-2006.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Pidou M., Avery L., Stephenson T., Jeffrey P., Parsons S.A., Liu S., Memon F.A., Jefferson B., 2008: Chemical solutions for greywater recycling. *Chemosphere* 71. P. 147-155.
- Pitter P., 2009: *Hydrochemie*. Vydavatelství VŠCHT, Praha, 579 s.
- Plotěný K., 2011: Dělení vod, bílé a šedé vody – nové poznatky a možnosti využití. In: *Sborník semináře Vodohospodářské chuťovky*. ASIO, Brno. S. 21 – 27.

- Pytl, V., 2009: Příručka provozovatele čistírny odpadních vod. SOVAK ČR, Praha, 209 s.
- Raček J., 2016: Metodika návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno, 198 s. (online) [cit. 2020-03-15], dostupné z [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=156912](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=156912).
- Ramon G., Green M., Semiat R., Dosoretz C., 2004: Low strength greywater characterization and treatment by direct membrane filtration. *Desalination* 170(3). P. 241–250.
- Rodrigues S., 2005: China Reclaimed Water Reuse Regulations. Yunnan Water Industry Investment and Development Co, Ltd. P. 11 (online) [cit. 2020.07.15], dostupné z [https://www.iwa-network.org/filemanager-uploads/WQ\\_Compendium/Cases/China%20Reclaimed.pdf](https://www.iwa-network.org/filemanager/uploads/WQ_Compendium/Cases/China%20Reclaimed.pdf).
- Rozkošný M., 2013: Umělé mokřady pro čištění vod z malých a difuzních zdrojů. In: Křiška, M.: Sborník přednášek z odborného semináře ČOV pro objekty v horách – Přírodní řešení nebo high tech? Asociace pro vodu a VUT, Brno. S. 65–76.
- Ručka, J., Tuhovčák, L., Kadlecová, V., 2009: Zákal ve vodovodní síti: Metody predikce jeho vzniku a šíření. In *Voda Zlín, Moravská vodárenská*, s. 39 – 44.
- Sabbah I., Drouby, N., Sabbah S. Retel-Rude N., Merciert M., 2003: Quality of Life in rural and urban populations in Lebanon using SF-36 Health Survey. *Health Quality of Life Outcomes* 1/30. P. 1-14.
- Sanchez M., Rivero M. J., Ortiz I., 2010: Photocatalytic oxidation of grey water over titanium dioxide suspensions. *Desalination Volume 262, Issues 1–3*. P. 141-146.
- Shalinee N., Ademola O., 2014: Treated Wastewater Effluent as a Source of Microbial Pollution of Surface Water Resources. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 11(1). P 249–270.

- Shi K. W., Wang C. W., Jiang S. C., 2018: Quantitative microbial risk assessment of Greywater on-site reuse. *Science of The Total Environment* Volume 635. P. 1507-1519.
- Sojka J., 2013: Čistírny odpadních vod. Grada Publishing, Praha, 96 s.
- Surani E., 2003: Research influence on policy: the greywater reuse of Jordan, final report. (online) [cit. 2020.10.18] dostupné z <https://www.idrc.ca/sites/default/files/sp/Documents%20EN/greywater-reuse-jordan.pdf>.
- Šostar-Turk S., Petrinić I., Simonič M., 2005: Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration. *Resour Conserv Recycl Resources, Conservation and Recycling* Volume 44, Issue 2. P. 185-196.
- Uleimat, A. A., 2012: Wastewater Production, Treatment, and Use in Jordan. In: *Second Regional Workshop Safe Use of Wastewater in Agriculture*. New Delhi, India, 19 p.
- Vrána J., Ošlejšková M., 2011: Britská norma BS 8525-1 a zásady navrhování zdravotně technických instalací při recyklaci vod v budovách. In: *Sborník semináře Energie z odpadních vod*. ASIO, Brno. S. 5-10.
- Watkins K. [ed.], 2006: *Human Development Report 2006. Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis*. UNDP, New York, 440 p.
- Ward, M., 2000: *Treatment of domestic greywater using biological and membrane separation techniques*. MPhil thesis, Cranfield University, UK.
- Winker, M., Saadoun, A., 2011: Urine and brownwater separation at GTZ main office building Eschborn, Germany - Case study of sustainable sanitation projects. *Sustainable Sanitation Alliance* (online) [cit. 2020.11.18] dostupné z [https://www.susana.org/\\_resources/documents/default/2-63-en-susana-cs-germany-eschborn-haus1-16122011-docx.pdf](https://www.susana.org/_resources/documents/default/2-63-en-susana-cs-germany-eschborn-haus1-16122011-docx.pdf).

Zhu J., Wagner M., Cornel P., Chen H., Dai, X., 2016: Feasibility of on-site grey-water reuse for toilet flushing in China. *Journal of Water Reuse and Desalination* 8 (1). P. 1–13.

### **Legislativní zdroje**

ČSN EN 12056-1 až 5: Vnitřní kanalizace – Gravitační systémy – část 1 až 5. Český normalizační institut, Praha 2001. 14 s, 35 s, 36 s, 22 s, 12 s.

ČSN EN 16941-1 Zařízení pro využití nepitné vody na místě - Část 1: Zařízení pro využití srážkových vod.

Zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). *Zákony pro lidi* [online] ©2010-2021 [cit. 2020.05.08], dostupné z <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254?text=>.

Nariadení vlády č. 401/2015 Sb. 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. *Zákony pro lidi* (online) ©2010-2021 [cit. 2020.05.08], dostupné z <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-401>.

Směrnice č. 91/271/EHS, Rada Evropské unie, 1991: s. 40-52 (online) [cit. 2021.03.15], dostupné z <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=31991L0271>.

BS 8525-1:2010 Greywater systems - code of practice. London: British Standards Institution, 2010: 54 p. (online) [cit. 2020.05.08], dostupné z <https://www.thenbs.com/PublicationIndex/documents/details?Pub=BSI&DocId=294669>.

BS 8525-2:2011 Greywater systems - domestic greywater treatment equipment, Requirements and test methods. London: British Standards Institution, 2011: 54 p. (online) [cit. 2020.05.08], dostupné z <https://www.thenbs.com/PublicationIndex/documents/details?Pub=BSI&DocId=294669>.

NSF/ANSI, 2011: Standard 350 for water reuse treatment systém (online)  
[cit. 2020.05.08], dostupné  
z [https://d2evkimvhatqav.cloudfront.net/documents/ww\\_nsf\\_ansi350\\_qa\\_insert.pdf](https://d2evkimvhatqav.cloudfront.net/documents/ww_nsf_ansi350_qa_insert.pdf).

### **Online zdroje**

AQUAFIN, ©2020 Legislativa v Nizozemsku (online) [cit. 2020.09.13], dostupné  
z <https://www.aquafin.be/nl-be/nieuws/onderzoek-naar-de-opwaarding-van-gezuiverd-afvalwater>.

ASIO ©2012: Znovuvyužití šedých vod (online) [cit. 2021.02.14], dostupné  
z <https://www.asio.cz/cz/110.znovuvyuziti-sedych-a-destovych-vod-v-budovach>.

ASIO © 2011-2021: Čistírny šedých vod AS-GW/AQUALOOP (online)  
[cit. 2021.01.05], dostupné z <https://www.asio.cz/cz/as-gw-aqualoop>.

ASIO ©2020: (online) [cit. 2020.06.14], dostupné z <https://www.asio.cz/cz/sede-vody>.

CSH, ©2009: Code for Sustainable Homes (online) [cit. 2021.02.07], dostupné  
z [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/7787/1161997.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/7787/1161997.pdf).

CMHC (Canada Mortgage and Housing Corporation), ©2002: Final assessment of conservation Co-op's greywater system. Technocal series 02–100, CHMC, Ottawa, Canada (online) [cit. 2020.05.08], dostupné z <https://www.cmhc-schl.gc.ca/en/data-and-research/publications-and-reports>.

CNTL (České nakladatelství technické literatury), ©2020: Nová evropská norma pro využití šedých vod (online) [cit. 2021.02.22], dostupné z <https://cntl.cz/nova-evropska-norma-pro-vyuziti-sedych-vod/>.

Department of Health, ©2010: Code of Practice for the Reuse of Greywater in Western Australia (online) [cit. 2021.02.08], dostupné  
z [https://ww2.health.wa.gov.au/-/media/Files/Corporate/general-documents/water/PDF/Code\\_of\\_practice\\_for\\_the\\_reuse\\_of\\_greywater\\_in\\_WA\\_10\\_v2\\_130103.pdf](https://ww2.health.wa.gov.au/-/media/Files/Corporate/general-documents/water/PDF/Code_of_practice_for_the_reuse_of_greywater_in_WA_10_v2_130103.pdf).

EA (Environment Agency), ©2011: Annual Report and Accounts 2010-2011 (online) [cit. 2021.03.03], dostupné z [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/229249/1269.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/229249/1269.pdf) .

ECOPLAY ©2021: (online) [cit. 2021.01.05], dostupné z [http://www.feeltheheatuk.com/downloads/ecoplay\\_full\\_brochure.pdf](http://www.feeltheheatuk.com/downloads/ecoplay_full_brochure.pdf).

Ekocentrum Koniklec ©2017: Vodní škola (online) [cit. 2021.01.07], dostupné z <https://www.ekocentrumkoniklec.cz/vodni-skola/>.

ENDRES, ©2020: (online) [cit. 2020.10.06], dostupné z <https://www.cz.endress.com/cs> .

EU (Evropská unie), ©2012: Pili byste odpadní vodu? Brožura o vodě určená mladým lidem 32 s. (online) [cit. 2021.01.06], dostupné z [https://ec.europa.eu/environment/pubs/children/pdf/waste\\_water/cs.pdf](https://ec.europa.eu/environment/pubs/children/pdf/waste_water/cs.pdf).

EU (European Union), ©2016: EU-level instruments on water reuse Final report to support the Commission's Impact Assessment (online) [cit. 2021.02.10], dostupné z [https://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/EU\\_level\\_instruments\\_on\\_water-2nd-IA\\_support-study\\_AMEC.pdf](https://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/EU_level_instruments_on_water-2nd-IA_support-study_AMEC.pdf).

EUREAU, ©2020 Souhrnné stanovisko EUREAU k použití recyklované šedé vody a využití alternativních zdrojů vody v domácnosti (online) [cit. 2021.01.05], dostupné z <https://www.eureau.org/about/our-sector>.

EUROCLEAN, ©2020 Úprava vody pro průmysl i domácnosti (online) [cit. 2020.09.12], dostupné z [www.euroclean.cz/problemy-vody/konduktivita](http://www.euroclean.cz/problemy-vody/konduktivita).

GREYWATER ACTION, ©2020 (online) [cit. 2020.09.13], dostupné z <https://greywateraction.org>.

HYDRALOOP ©2021 (online) [cit. 2021.01.07], dostupné z <https://www.hydraloop.cz/>.

- iDNES, ©1999–2021: Rozstřel Richard Brabec (online) [cit. 2021.01.12], dostupné z [https://tv.idnes.cz/domaci/rozstrel-richard-brabec-cely-zaznam.V170117\\_104227\\_ekonomikah\\_krr](https://tv.idnes.cz/domaci/rozstrel-richard-brabec-cely-zaznam.V170117_104227_ekonomikah_krr) .
- IGES (Institute for Global Environmental Strategies), 2006: International Symposium on Community Activities for the Conservation of Water Environment: Lessons Learned from Community Activities (online) [cit. 2020.10.21], dostupné z <https://www.iges.or.jp/en/pub/international-symposium-community-activities/en> .
- INTEWA, ©2021: (online) [cit. 2021.01.07], dostupné z <https://www.intewa.com/en/home/>.
- KOHLER, 2002: Is gray water reuse ready for prime time? (online) [cit. 2020.12.15], dostupné z [https://www.us.kohler.com/webassets/kpna/pressreleases/2012/KOHLER-GRAYWATER\\_111412.pdf](https://www.us.kohler.com/webassets/kpna/pressreleases/2012/KOHLER-GRAYWATER_111412.pdf).
- MOSAIC HOUSE, ©2020 (online) [cit. 2020.11.13], dostupné z <https://www.mosaichouse.com/cs/>.
- MŽP (Ministerstvo životního prostředí), ©2017 Agenda 2030 pro udržitelný rozvoj (online) [cit. 2020.11.01], dostupné z [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/agenda\\_2030/\\$FILE/OUR\\_ImplementationAgendy2030\\_20190121.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/agenda_2030/$FILE/OUR_ImplementationAgendy2030_20190121.pdf).
- NSCP, ©2012: The National Standard Plumbing Code (online) [cit. 2021.02.08], dostupné z <https://www.iapmo.org/nspc> The National Standard Plumbing Code.
- PVK (Pražské vodovody a kanalizace), ©2020: Spotřeba vody PVK (online) [cit. 2021.02.24], dostupné z <https://www.pvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/>.
- Plotěný K., 2015: NASS – Nekonvenční aranžování sanitárních systémů, ASIO, (online) [cit. 2021.02.21], <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/13478-nass-nekonvencni-aranzovani-sanitarnich-systemu>.

- Rous, V., 2015: GRANIA: Francouzský systém kořenové čističky (online) [cit. 2021.01.06], dostupné z [www.grania.cz/blog/francouzsky-system-korenove-cisticky/](http://www.grania.cz/blog/francouzsky-system-korenove-cisticky/)).
- SCVK (Severočeské vody a kanalizace), ©2021 Spotřeba vody v České republice (online) [cit. 2020.12.13], dostupné z [www.scvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody](http://www.scvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody).
- SZU, ©2020 Státní zdravotní ústav – charakteristiky a rizika některých vybraných látek (online) [cit. 2020.11.03], dostupné z [www.szu.cz](http://www.szu.cz).
- TZB-info, ©2021: Komentář normy Zařízení pro využití srážkových vod na webinári Novinky v ZTI (online) [cit. 2021.02.20], dostupné z <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/21745-komentar-normy-zarizeni-pro-vyuziti-srazkovych-vod-na-webinari-novinky-v-zti>.
- UCEM (The University College of Estate Management), ©2015: Grey water for UK housing (online) [cit. 2020.09.16], dostupné z <https://www.ucem.ac.uk/wp-content/uploads/2013/10/grey-water-final.pdf>.
- WASTE360, ©2020 California brewer using grey water make beer (online) [cit. 2020.09.12], dostupné z [www.waste360.com/generators/california-brewer-using-grey-water-make-beer](http://www.waste360.com/generators/california-brewer-using-grey-water-make-beer).
- WHO/CEHA (World Health Organisation), ©2006 Guidelines for greywater reuse for different purposes. Library Cataloguing-in-Publication Data Guidelines for drinking-water quality (online) [cit. 2020.01.12], dostupné z [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/en/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/en/).
- WHO, ©2016 Progress on Wastewater Treatment (online) [cit. 2021.01.12], dostupné z <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/275967/9789241514897-eng.pdf?ua=1>



## 8. Seznam obrázků a tabulek

### Seznam obrázků

Obrázek 1: Rozdělení vod v domácnosti (Plotěný, 2015).....	4
Obrázek 2: Spotřeba vody v domácnosti (ASIO, 2012). .....	7
Obrázek 3: Porovnání WSI indexu a znovuvyužití recyklované vody (IGES, 2006)	15
Obrázek 4: Procentuální účinnost (Pangarkar et al., 2010).....	26
Obrázek 5: Kvalita upravené šedé vody na příkladu nádržky toalety (Kohler, 2012) .....	38
Obrázek 6: Schéma čištění šedých vod (Li et al. 2009).....	40
Obrázek 7: Hydraloop v barevných variantách ( HYDRALOOOP, 2021) .....	42
Obrázek 8: Čistírna šedých vod AS-GW/AQUALOOP s popisem (ASIO, 2011- 2021).....	44
Obrázek 9: Porovnání systémů Hydraloop a Aqualoop.....	47
Obrázek 10: Využitelný design i pro propagaci znovuvyužití šedých vod (EU, 2002) .....	49

### Seznam tabulek

Tabulka 1: Základní charakteristiky šedých vod různého původu (Li et al., 2009).....	8
Tabulka 2: Základní charakteristiky šedých vod na základě různého původu (WHO, 2016).....	10
Tabulka 3: Hodnoty BSK <sub>5</sub> , CHSK a plovoucích látek šedých vod na základě různého původu (Plotěný, 2011) .....	12
Tabulka 4: Možné způsoby vlivu při zavlažování šedou vodou (IGES, 2006) .....	13
Tabulka 5: Reprezentativní standardy pro znovuvyužití vody (EU, 2016) .....	16
Tabulka 6: Požadavky na jakost bílé vody dle normy BS 8525-1 (2010) .....	17
Tabulka 7: Kvalita šedé a upravené vody dle normy NSF 350 (2011).....	18
Tabulka 8: Hodnoty jednotlivých ukazatelů dle výše uvedených standardů a nařízení (Boano, et al., 2020) .....	22
Tabulka 9: Porovnání pěti nejčastějších filtrů (Abdel-Shafy, Shehata, 2014).....	24
Tabulka 10: Porovnání pěti nejčastějších filtrů (Abdel-Shafy, Shehata, 2014).....	25
Tabulka 11: Porovnání základních způsobů chemické úpravy dle prostudované literatury .....	30

Tabulka 12: Porovnání základních způsobů fyzikální úpravy dle prostudované literatury .....	31
Tabulka 13: Porovnání základních způsobů biologické úpravy a membránové úpravy dle prostudované literatury .....	32
Tabulka 14: Porovnání měřených hodnot, které byly získány při různých metodách čištění šedých vod dle uskutečněných studií .....	34
Tabulka 15: Hodnota efektivnosti čištění při využití různých systémů uvedených v tabulce č. 14.....	36
Tabulka 16: Porovnání čtyř způsobů čištění, červeně neprošlo normou, zeleně – vyhovuje normě, NT – netestováno (Kohler, 2012).....	38
Tabulka 17: Hodnoty dosažené čištěním pomocí Hydraloop (HYDRALOOP, 2021) .....	43
Tabulka 18: Tabulka jednotlivých typů AQUALOOP ČOV a objem akumulace vod (ASIO, 2011-2021).....	45
Tabulka 19: Tabulka časových intervalů a procentní podíl denního objemu (ASIO, 2011-2021) .....	45
Tabulka 20: Tabulka nátokových parametrů a výsledky testů AQUALOOP po vyčištění (ASIO, 2011-2021) .....	46