

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE



**Problematika šedých vod a možnosti jejich opětovného
využití na letním dětském táboře**

The issue of grey water and the possibilities of their reuse
at the summer children's camp

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

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

Bakalant: Pavel Michálek

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pavel Michálek

Krajinářství

Územní technická a správní služba

Název práce

Problematika šedých vod a možnosti jejich opětovného využití na letním dětském táboře

Název anglicky

The issue of grey water and the possibilities of their reuse at the summer children's camp

Cíle práce

Cílem této práce je formou rešerše zmapovat problematiku šedých vod, jejich základní dělení, možnosti a způsoby jejich čištění a opětovného použití.

V experimentální části pak na základě získaných poznatků navrhnout řešení filtrace šedých vod vznikajících při běžném provozu letního dětského stanového tábora při různých aktivitách a sledovat jejich základní fyzikálně-chemické ukazatele kvality.

Metodika

1. Na základě literární rešerše zmapování problematiky (termíny, druhy vod, obecné možnosti využití).
2. Návrh a praktická realizace řešení filtrace a využití šedých vod vznikajících při různých aktivitách v rámci provozu letního dětského stanového tábora
3. Sledování základních fyzikálně-chemických ukazatelů kvality vody na vstupu do filtračního zařízení a na jeho konci
4. Posoudit účinnost filtračního zařízení při odstraňování vybraných polutantů

Doporučený rozsah práce

45 stran

Klíčová slova

šedá voda; opětovné využití; dětský tábor; kvalita vody; zemní pískový filtr

Doporučené zdroje informací

- Bartoník A., Holba M., Plotěný K., Vrána J., Ošlejšková M., 2012: Znovu využití šedých vod a jejich energie. Sborník semináře Vodárenská biologie 2012. Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r.o, Praha. ISBN 978-80-86832-65-4.
- De Gisi S., Casella P., Notarnicola M., 2017: Encyclopedia of Sustainable Technologies. Elsevier. ISBN: 978-012804677-7;978-012804792-7.
- Gross A., Maiomon A., Alfiya Y., Friedler E., 2015: Greywater reuse. Taylor & Francis Group, LLC. ISBN 978-1-4822-5505-8.
- Ramprasad C., Smith C. S., Memon F.A., Ligy P. 2017: Removal of chemical and microbial contaminants from greywater using a novel constructed wetland: GROW. Ecological Engineering, 106 (Part A), 55-65
- Santos C., Taveira-Pinto F., Cheng C.Y., Leite D. 2012: Development of an experimental system for greywater reuse. Desalination, 285, 301-305
- Siegel S. M., 2016: Budiž voda: izraelská inspirace pro svět ohrožený nedostatkem vody. Aligier s.r.o, Praha. ISBN 978-80-906420-0-3.
- Šálek J., Žáková Z., Hrnčíř P., 2008: Přírodní čištění a využívání vody v rodinných domech a rekreačních objektech. ERA group spol. s.r.o., Brno. ISBN 978-80-7366-125-0.
- Šálek J., 2012: Voda v domě a na chatě: využití srážkových a odpadních vod. Grada, Praha. ISBN 978-80-247-3994-6.
-

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

prof. RNDr. Dana Komínková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 23. 11. 2019

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 25. 11. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 07. 03. 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Problematika šedých vod a možnosti jejich opětovného využití na letním dětském táboře“ 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. 121/2000Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním 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 její 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 dne 31. 3. 2020

.....
(podpis autora práce)

Poděkování

Rád bych poděkoval manželce a svým dětem za velkou trpělivost a podporu, které se mi při psaní této práce dostalo a kamarádům z tábora za pomoc při realizaci zemního filtru. Především bych chtěl však poděkovat vedoucí práce prof. RNDr. Daně Komínkové, Ph.D. za její vstřícný, pozitivní přístup, ochotu a odborné rady.

Abstrakt

Cílem této práce bylo formou rešerše zmapovat problematiku šedých vod, jejich základní dělení, možnosti a způsoby jejich čištění a opětovného použití.

V experimentální části pak bylo na základě těchto poznatků navrženo řešení filtrace šedých vod vznikajících při běžném provozu letního dětského stanového tábora při různých aktivitách a sledování jejich základních fyzikálně chemických ukazatelů kvality.

Po zbudování zemního pískového filtru a jeho napojení na jednotlivé táborové provozy (mytí nádobí, sprchování, mytí rukou a čištění zubů) byly odebírány vzorky vody před filtrem a na jeho výtok, které byly později v laboratoři analyzovány. Dále byl proveden test klíčivosti. Na základě výsledků pak bylo konstatováno, že voda vytékající z filtru odpovídá normě vody vhodné pro závlahy a ve většině sledovaných parametrů došlo z hlediska kvality k jejímu zlepšení.

Klíčová slova:

šedá voda; opětovné využití; dětský tábor; kvalita vody; zemní pískový filtr

Abstract

The aim of this thesis is to map grey waters, their basic division, possibilities and ways of their cleaning and reuse.

In the experimental part, on the basis of these findings, a solution was proposed for the filtration of grey waters originating from the normal operation of the summer children's tent camp during various activities and monitoring their basic physical-chemical quality indicators.

After the construction of the ground sand filter and its connection to individual camp operations (washing dishes, showering, washing hands and cleaning teeth), water samples were taken in front of the filter and at its outlet, which were later analyzed in the laboratory. A germination test was also performed. Based on the results, it was stated that the water flowing out of the filter corresponds to the standard of water suitable for irrigation and in most of the monitored parameters it has improved in terms of quality.

Keywords:

grey water; reuse; children's camp; water quality; ground sand filter

Obsah

1.	Úvod	1
1.1	Voda jako vyčerpatelný zdroj	2
1.2	Udržitelný rozvoj	3
2.	Literární rešerše	5
2.1	Druhy odpadních vod	5
2.1.1	Základní dělení odpadních vod	7
2.1.2	Složení a kvalita jednotlivých odpadních vod	8
2.2	Šedé vody	9
2.2.1	Dělení šedých vod, jejich zdroje a složení	9
2.2.2	Obecné možnosti využití šedých vod	15
2.2.3	Metody čištění šedých vod	16
2.2.4	Legislativa	23
3.	Metodika experimentální části	26
3.1	Zájmová lokalita	26
3.2	Současný stav	26
3.3	Navržené řešení	27
3.3.1	Realizace zemního pískového filtru	29
3.3.2	Realizace odvodnění sprchy	31
3.3.3	Napojení ostatních provozů	32
3.4	Monitoring účinnosti	32
3.4.1	Odběr vzorků	32
3.4.2	Laboratorní zpracování vzorků	34
4.	Výsledky	34
5.	Diskuze	39
6.	Závěr	42
7.	Přehled literatury a použitých zdrojů	44
7.1	Literární zdroje	44
7.2	Internetové zdroje	45

7.3	Legislativní zdroje	47
8.	Příloha - Fotodokumentace.....	48
8.1	Realizace experimentálního řešení krok za krokem	48
8.2	Práce v laboratoři	56

1. Úvod

„Vodu neoceníme, dokud nám nevyschne studna“. Tento citát amerického státníka a přírodovědce Benjamina Franklina je v dnešní době čím dál víc aktuální. A nejen v oblastech, které se s nedostatkem vody potýkají od nepaměti, ale i v místech, kde dříve byl vody relativně dostatek. Situace se mění. Celý svět, včetně ČR, čelí hrozbě velké vodní krize. Otázkou tak zůstává ne to, zda vůbec krize nastane, ale kdy (Siegel, 2016).

V řadě zemí již museli přistoupit k opatřením pro šetření s vodou, mnohdy dokonce k velice drastickým a restriktivním. Problematika stále většího sucha postihuje státy rozvojové, stejně jako ekonomicky vyspělé. Některé z nich již dokonce různými legislativními nástroji svým občanům šetření s vodou přímo nařizují formou zákonů či vyhlášek, jiné jdou zatím jen formou různých doporučení, lokálních nebo časově omezených opatření. Pitná voda ubývá. Ať už přímo či nepřímo vlivem antropogenních vlivů, nebo v přímé souvislosti se současnými klimatickými podmínkami, kdy zejména v posledních letech spolu s intenzivním využíváním krajiny a vodních zdrojů dochází k postupnému úbytku podzemní vody. Velký vliv na současnou situaci má i snížení přirozených vlastností krajiny zadržet a vsakovat vodu, což se projevuje zejména na zemědělských plochách, ale i na zastavěném území. S celosvětově rostoucí populací jsou problémy se znečišťováním vodních zdrojů, kontaminací povrchových i podzemních vod, nebo s vědomým i nevědomým vyčerpáváním podzemních zásob a zvodní. Je potřeba postupně změnit myšlení lidí. Někde se to daří, někde méně. Například v Izraeli již od 30. let 20. století neúnavně pracují na tom, aby se z původně neúrodné a vyprahlé části Země stala oblast s dostatkem kvalitní vody jak na pití, tak na zavlažování. V americkém státě Kalifornie již několik desetiletí vylepšují svůj zákon CPC (California Plumbing Code), ve kterém jsou například řešeny aplikace alternativních nepitných vodních zdrojů (California Plumbing Code, 2016). Všechny tyto snahy mají společného jmenovatele a tím jsou šedé vody, potažmo čištění odpadních a splaškových vod a jejich následné znovu využití, nebo i využití mořské vody k odsolování. Je potřeba například toalety splachovat pitnou vodou? Nebo zavlažovat zahrady, parky či jinou veřejnou zeleň drahocennou tekutinou, které se jinde nedostává? Jak může i jeden člověk bez možnosti ovlivňování celonárodních investičních plánů či vizí něco změnit ve svém okolí a přispět tak k trendu, kterým se bude nutno v budoucnu ubírat? To jsou otázky, které vedly k sepsání této práce i k rozhodnutí pokusit se převést některé nabyté poznatky přímo do praxe formou realizace vybraného řešení v rámci experimentální části. Cílem první části je tak formou literární rešerše zmapovat

problematiku šedých vod, jejich základní dělení, možnosti a způsoby jejich čištění a opětovného použití. Ve druhé, experimentální části pak na základě získaných poznatků navrhnout řešení filtrace šedých vod vznikajících při běžném provozu letního dětského stanového tábora při různých aktivitách a sledovat jejich základní fyzikálně chemické ukazatele kvality.

1.1 Voda jako vyčerpatelný zdroj

Voda je nezbytným zdrojem lidského života, veškerých zemských ekosystémů a světové ekonomiky (De Gissi et al., 2017) a pokrývá více než 71 % zemského povrchu. Z celkového množství vody na planetě je slaná voda zastoupena přibližně 97,5 % (nejvíce ve formě moří a oceánů), sladká voda pak cca 2,5 %. Z toho téměř 70 % sladké vody je vázáno v ledovcích a trvalých sněhových pokrývkách a cca 30 % pak v povrchových a podzemních vodách. Z celkového množství vody na zemi je pouze 1 % k dispozici pro lidské potřeby a průmysl. Na zavlažování plodin v zemědělství, jehož produkty slouží jako hlavní zdroj potravy pro lidstvo, se spotřebuje cca 70 % dostupné sladké vody, průmyslový sektor spotřebuje téměř 20 % a zbytek se využívá pro domácí účely (Calderón-Preciado et al., 2010).

Podle údajů Světové zdravotnické organizace (WHO) bude do roku 2025 polovina světové populace žít v oblastech s nedostatkem vody. Již nyní více než 785 milionů lidí postrádá základní služby spojené s dodávkou pitné vody včetně 144 milionů lidí, kteří jsou závislí pouze na povrchových vodách. Na celém světě žije přes 2 miliardy lidí, kteří používají zdroj pitné vody kontaminovaný stolicí, což může mít za následek přenášení nemocí, jako je průjem, cholera, úplavice, tyfus a dětská obrna. Odhadem způsobuje kontaminovaná pitná voda každoročně 485 000 průjmových úmrtí (WHO, 2020). Dle aktuální zprávy The Global Risks Report 2020, kterou vydává Světové ekonomické fórum, se téma vodní krize (zde zařazené do oblasti problémů spíše společenských, než environmentálních) již řadu let drží na předních pozicích, ať už z hlediska pravděpodobnosti výskytu, tak dopadu na lidstvo (The Global Risks Report, 2020). Celá řada významných národních a regulačních organizací (např. Světová zdravotnická organizace „WHO“, Organizace spojených národů „OSN“ či jejich část Dětský fond „UNICEF“ aj.) pracuje na konkrétních cílech, jak odhalit a snížit problémy spojené s vodou (Reddy, 2017).

V současné době se množství vody na Zemi nemění. Při předpokladu zachování základních hydrologických cyklů a současném růstu populace nám rovnice

jednoznačně říká, že pitné vody je a bude nedostatek, že tedy voda je zdrojem neobnovitelným a podle toho se k ní musíme všichni chovat.

1.2 Udržitelný rozvoj

Potřeba zaměřit se na otázky čisté vody byla zdůrazněna v posledních letech na několika summitech o udržitelném rozvoji, které stanovily jasné cíle pro řešení této zhoršující se situace. Cílem je především snížit plýtvání pitnou vodou. Dále jsou prozkoumávány alternativní zdroje, zejména pak využívání odpadních vod a slané vody z moří a oceánů. U států s přístupem ke slané vodě je jednou z klíčových technologií odsolování pracující většinou na principu reverzní osmózy či termální destilace. V roce 2015 bylo například dokončeno v kalifornském městě Carlsbad největší odsolovací zařízení v USA Carlsbad Desalination Plant s denní kapacitou téměř 190 000 m³ pitné vody (Carlsbad Desalination Plant, 2020). Odsolování však bude i vzhledem k rostoucímu znečištění moří technologicky stále náročnější. Dalším z alternativních zdrojů je využívání vyčištěných odpadních vod jak ze zemědělských či průmyslových provozů, tak přímo z městských ČOV. I tady, podobně jako u oceánské vody, však dochází k velké kontaminaci škodlivými látkami, přičemž vysoké koncentrace či stopové množství nebezpečných látek znemožňují její další použití. Zejména se jedná o různé syntetické chemikálie (např. léky) a látky používané v každodenním životě. Je proto nezbytné pochopit, jaké látky znečišťují různé typy vod a vyvíjet vhodné technologie pro čištění a dekontaminaci (Reddy, 2017).

Opětovné použití vyčištěných odpadních vod se nejvíce využívá v zemědělství pro zavlažování a hnojení, v průmyslovém odvětví pak přímo či nepřímo, např. jako chladicí technologická voda či voda pro potřeby výrobních činností. V městských oblastech by měly být vyčištěné odpadní vody využívány zejména pro zavlažování krajiny, parků a ostatní zeleně v obytných zónách či k doplňování vodních recipientů. Alternativním využitím by mohlo být např. využití této vody pro protipožární účely, klimatizace či jako transportní prostředek při splachování toalet (De Gisi et al., 2017).

Světovou velmocí v hospodaření s vodou a ve vodohospodářských technologiích je stát Izrael. V roce 2015 tam činila celková poptávka po vodě asi 2,2 miliardy metrů krychlových. Využitelné množství povrchových vod v témže roce představovalo 1,2 miliard metrů krychlových. Izraeli se podařilo tento obrovský deficit zaplnit kombinací tří hlavních faktorů: šetřením vodou, opětovným využitím odpadních vod a odsolováním mořské a brakické vody, čímž se nabídka zvýšila ročně o více jak 1 miliard metrů krychlových a stát tak přestal být závislý výhradně na obnovitelných

zdrojích sladké vody. V důsledku toho celková spotřeba sladké vody na obyvatele dramaticky poklesla z původních 504 milionů metrů krychlových v roce 1967 až na 98 milionů metrů krychlových v roce 2015. V témže roce již Izrael upravoval a recykloval 86 % svých odpadních vod pro použití v zemědělství, čímž se zařadil na první příčku na světě v oblasti recyklování vod (Ministerstvo zahraničních věcí státu Izrael, 2020).

Dalšími státy s významným podílem využití recyklované vody jsou zejména evropský lídr Španělsko, dále pak Austrálie, Itálie, Řecko, USA, Velká Británie nebo Singapur. Ekonomicky bohatší státy zejména na Blízkém východě pak řeší vodní deficity ponejvíce odsolováním mořské vody, zejména např. Kuvajt, který je na takto upravenou vodu plně odkázán (Vodárenství, 2009).

Celosvětový je také trend postupného snižování spotřeby vody na obyvatele i když i tady existují výjimky. Zatímco například v USA je spotřeba na obyvatele a den cca 300 litrů, v Kanadě dokonce 700 litrů, naopak v rozvojových zemích je to pouhých 10 litrů. V České republice se průměrná spotřeba pohybuje kolem 90 litrů na obyvatele a den, což je v porovnání například s dobou před třiceti lety až o téměř 50 % méně. V kontextu České republiky, která leží v srdci Evropy v oblasti evropského rozvodí a je prakticky odkázána na množství spadlých srážkových vod, je důležité využít veškerou dostupnou vodu a zabránit jí v rychlém odtoku z našeho území. Dalším krokem je pak ušetřit zdroje pitné vody jejich opakovaným využitím všude tam, kde je to alespoň trochu možné. V první řadě to je využití slabě znečištěných vod pro další činnosti nebo opětovné využití vyčištěných odpadních vod, které za použití vhodných technologií mohou dosáhnout lepší kvality, než vody povrchové (Beránková et al., 2017).

Ve všech pádech se v současnosti skloňuje např. DESAR (z anglického Decentralized Sanitation and Reuse), SuSanA (Sustainable Sanitation Alliance) nebo ROSA (Resource Oriented Sanitation), tedy jednotlivé koncepty, které se zabývají decentralizovaným čištěním a maximálním znovuvyužitím surovin z odpadní vody. Je všeobecně známo, jak se dá v rámci obyčejných domácností šetřit vodou. Používat úsporné, popř. separační toalety, sprchové hlavice i nástavce na vodovodní baterie, omezit koupání v napuštěných vanách, zavírat vodu při čištění zubů, zachytávat dešťovou vodu a používat ji třeba k zavlažování. Ve veřejných provozech, např. hotelových provozech či školách, k tomu můžeme přičíst třeba také využívání bezvodých pisoárů.

Ne vždy se všechna navrhovaná řešení a opatření jeví jako ekonomicky výhodná, je ale načase si zároveň položit otázku, zda je nutné vše přepočítávat pouze na peníze. Bylo by potřeba, aby se lidé zamýšleli také nad tím, zda to neudělat zkrátka pro to, že je to správné a že se nám to v budoucnu vrátí. Převzít odpovědnost za budoucnost naší planety a klást si otázky, jak může každý jedinec sám přispět. V současné době, kdy má lidstvo znalosti, technologie a prostředky jak lépe nakládat s přírodními zdroji při neustále celosvětově rostoucí populaci, by bylo trestuhodné a pro budoucnost zkázonosné, toto nevyužívat.

2. Literární rešerše

2.1 Druhy odpadních vod

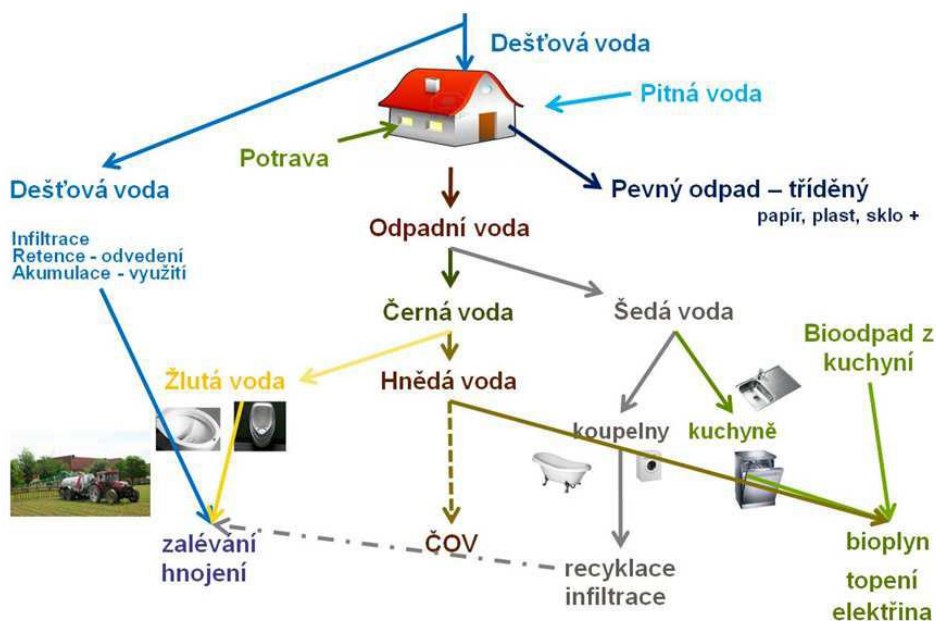
Zatímco dříve byly odpadní vody brány hlavně jako odpad, nyní se na ně pohlíží spíše jako na surovinu využitelnou pro další zpracování. Ať už jsou to doposud málo využívané možnosti v rámci rekuperace tepla z odpadních vod, kdy při průměrné teplotě 21-26 °C je zde velký prostor pro vývoj energeticky úsporných ohřívacích systémů např. pro budovy (Seybold et Brunk, 2013), tak i možnosti dalšího použití po jejich vyčištění a sanitaci.

V současnosti se nakládání s odpadními vodami řeší ze dvou různých úhlů pohledu, na centralizované a decentralizované. Každý systém má svá specifika, nedá se říct, že by bylo vhodné prosazovat pouze jeden z nich. Například v Německu plány o tom, že všechny komunální vody budou čištěny centrálně, byly nahrazeny pragmatickými řešeními, kde se posuzovala každá varianta z ekonomického hlediska. Decentralizované zneškodňování odpadních vod se tak stalo alternativou centralizovaného čištění, které v mnoha případech není optimální variantou nejen z ekologického, ale ani ekonomického pohledu. Základní rozdíly mezi



Obrázek 1: Centralizovaný systém nakládání s odpadními vodami (Komínková, 2015).

centralizovaným a decentralizovaným nakládáním s odpadními vodami jsou zachyceny na Obrázcích 1 a 2.

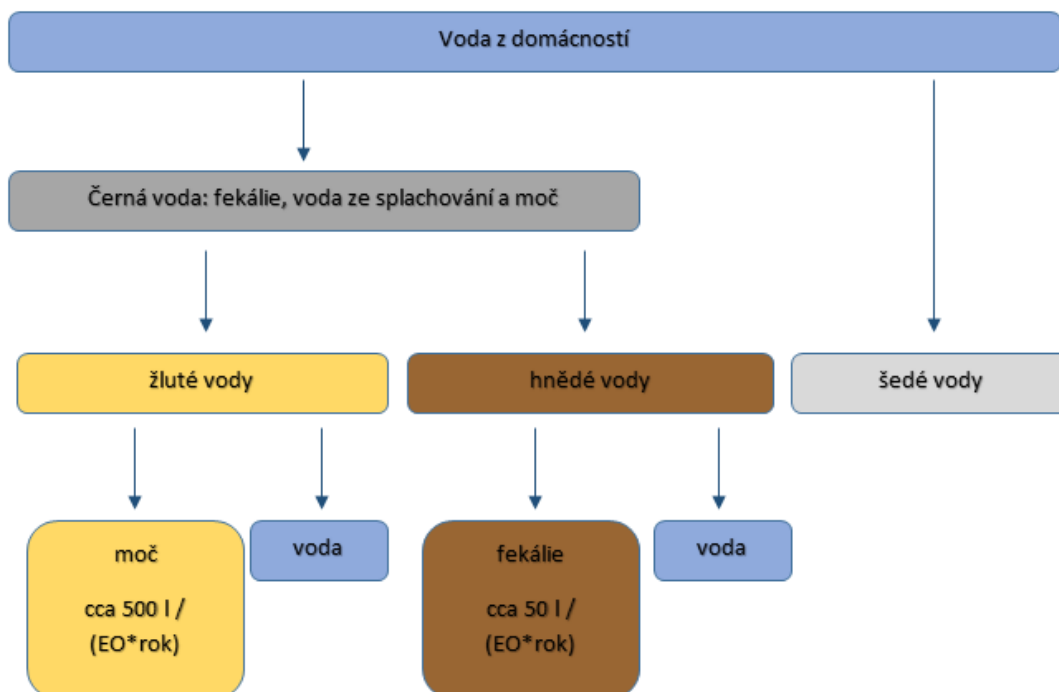


Obrázek 2: Decentralizovaný systém nakládání s odpadními (Komínková, 2015).

Decentralizované odvádění a opětovné využití odpadních vod se v zahraničí označuje zkratkou DESAR (DEcentralised Sanitation And Reuse). Jeho použití je vhodné zejména na úrovni menších uzavřených systémů, například v rodinných domech, rekreačních objektech apod. Princip je založený na separaci znečištění hned u zdroje, na odděleném čištění odpadních vod, jejich opětovném použití a na efektivním hospodaření s dešťovou vodou, to vše na základě různých DESAR konceptů, které udržují jednotlivé druhy odpadních vod blízko místa vzniku, a tak umožňují zkrácení a uzavření vodního cyklu v domácnostech. Z toho pak plynou úspory jak pitné vody, tak financí. Vyvíjejí se nové způsoby sanitační i využívání zdrojů, které se v odpadních vodách vyskytují (v rámci dané lokality se dají například využít kaly jako hnojivo v zemědělství, šedé vody na zavlažování nebo jako užitková voda v domácnostech, separace dusíku, fosforu a draslíku ze žlutých vod pro účely hnojení aj.). Vždy je však potřeba zvážit a posoudit vhodnost řešení individuálně pro každou lokalitu zvlášť (Beránková, 2016).

2.1.1 Základní dělení odpadních vod

Podle složení se odpadní vody dělí na černé (které zahrnují vody žluté a hnědé), dále pak šedé a bílé. Schéma produkce odpadních vod v rámci domácnosti ukazuje Obrázek 3 (Plotěný, 2017).



Obrázek 3: Schéma produkce odpadních vod z domácnosti (Plotěný, 2017).

Myšlenky na separaci a využívání jednotlivých druhů odpadních vod se v Evropě objevily již 70. a 80. letech 20. stol., kdy například ve Švédsku byly v prázdninových domech se suchými toaletami osazovány kompostovací komponenty s oddělováním moči. V letech 1996 až 1999 byl následně vyvíjen a ve školách instalován separační systém na principu dělicích (no-mix) toalet a suchých pisoárů bez použití vody, tzv. waterless (Lhotáková, 2014).

Zatímco žluté odpadní vody tedy tvoří moč, popř. voda, hnědé se generují z toalet, obsahují tedy fekálie, moč, toaletní papír a transportní vodu použitou při splachování. Šedé odpadní vody neobsahují fekálie, ani moč. Tvoří se při běžném provozu např. domácností, hotelů, stravovacích zařízení a dalších jako voda odtékající ze sprch, van, umyvadel, praček, myček, kuchyňských dřezů, výlevků, mycích strojů apod. Po náležitě úpravě je možné využívat jich jako vodu provozní (tzv. bílou vodu) pro splachování záchodů, pisoárů a zalévání zahrad (Beránková, 2016). Někdy se

k šedým vodám přiřazuje i voda dešťová, protože spolu mohou být využívány jako vody užitkové. Legislativně je však tato část řešena odděleně.

2.1.2 Složení a kvalita jednotlivých odpadních vod

Žluté vody se skládají z vodného roztoku metabolických odpadů, hlavně močoviny, rozpuštěných solí a dalších organických látek. Obsahují velké množství dusíku (N), fosforu (P) a draslíku (K), dále síru, bór a další prvky. Skutečné složení se liší v závislosti na provozu, kde je voda separována a na stravě osob užívajících zařízení. Svým složením a poměrem jednotlivých nutrientů je moč podobná s průmyslovým hnojivem NPK, kdy se používá při ředění v poměru 1:8 s vodou. Průměrně člověk vyprodukuje ročně přibližně 500 l moči (Beránková, 2016).

Hnědé vody obsahují především uhlík ve formě organické hmoty, dále pak dusík, fosfor, draslík, vápník, hořčík a železo. Jeden člověk vyprodukuje ročně kolem 50 l fekálií.

Pokud se při separaci žlutých a hnědých vod docílí toho, aby byly málo zředěné, je možné je přeměnit na přírodní hnojivo, kterým se můžou nahradit syntetické produkty pro využití zejména v zemědělství.

U šedých vod je nejvýznamnějším znečištěním přítomnost detergentů z pracích prášků, šamponů, mýdel, zubních past a podobně. Pro vysokou koncentraci znečištění bývají někdy odpadní vody z kuchyňských umyvadel a z drtičů odpadů pro další využití vyjímány a zachází se s nimi jako s vodami černými (Beránková, 2016). V Tabulce 1 je možno porovnat zastoupení hlavních živin v jednotlivých druzích vod.

Prvky	Produkce [kg/obyv./rok ⁻¹]	Šedé vody	Žluté vody (moč)	Hnědé vody (fekálie)
N	3,2 - 5	3 - 8 %	80 - 87 %	7 - 13 %
P	0,48 - 0,75	10 - 28 %	35 - 55 %	25 - 40 %
K	0,33 - 1,8	13 - 34 %	54 - 60 %	12 - 27 %

Tabulka 1: Zastoupení hlavních živin v jednotlivých odpadních vodách (Beránková, 2016).

Podle údajů vodohospodářské společnosti Pražské vodovody a kanalizace byla průměrná denní spotřeba pitné vody v Praze v roce 2019 na osobu 114 litrů, tedy 41,6 m³ za rok (v ostatních regionech ČR je spotřeba vody na osobu a den nižší). Cena vody v roce 2019 byla pro Pražany 94,09 Kč za 1 m³ vody. Nejvíce utratí

za vodu použitou na osobní hygienu (téměř 4 Kč za den), hned pak za používání splachovacích toalet (skoro 2,50 Kč za den), jak ukazuje Tabulka 2 (PVK, 2020). Z toho je patrné, že zejména v oblasti znovu využití šedých vod by mohlo dojít i k zajímavým finančním úsporám.

Provoz	Průměrné denní hodnoty [l]	Průměrné denní hodnoty [Kč]
WC	26	2,45
Os.hygiena, sprchování	42	3,95
Praní, úklid	18	1,69
Příprava jídla, mytí nádobí	10	0,94
Mytí rukou	6	0,56
Zalévání	5	0,47
Pití	2	0,19
Ostatní	5	0,47
CELKEM	114	10,72

Tabulka 2: Průměrná denní spotřeba vody z jednotlivých provozů domácnosti v porovnání s aktuální cenou (PVK, 2020).

2.2 Šedé vody

2.2.1 Dělení šedých vod, jejich zdroje a složení

Jak bylo již výše popsáno, obecně je šedá voda definována jako městská odpadní voda bez jakéhokoliv vstupu z toalet (bez fekálií a moči), tudíž její organické zatížení je nižší a mikrobiální kvalita vyšší, než u ostatních odpadních vod. Svě pojmenování dostala podle svého typického zabarvení. Lze ji rozdělit do 4 základních kategorií (Biela, 2012):

- šedé vody z kuchyní a myček
- šedé vody z praček, prádelen
- šedé vody ze sprch, umyvadel, van
- neseparované šedé vody

Jako provozní, tzv. bílá voda, se nejlépe využívá vyčištěná šedá voda ze sprch, umyvadel a van. Tato voda je nejvhodnější k recyklaci (Plotěný, 2019).

Množství produkce šedých vod se v celosvětovém měřítku velmi liší v závislosti na specifikách země a jejich obyvatel, možnosti přírodních zdrojů a řadě dalších faktorů. Její množství kolísá od 20–30 litrů na osobu a den v regionech s nízkou spotřebou pitné vody až po 90–120 litrů v oblastech, kde o vodu zatím nouze není (Morel et Diener, 2006). Zatímco v domácnostech kolísá množství vyprodukované

šedé vody okolo 75 litrů /EO/den, v provozech typu hotelů, saun, bazénů apod. se produkce výrazně zvyšuje (např. ve tříhvězdičkovém hotelu je to cca 150 l/EO/den, v pětihvězdičkovém dokonce až 1000 l/EO/den) (Bartoník et al., 2012).

Za opětovné využití šedých vod lze považovat situaci, kdy se voda použije nejméně 2x (počáteční využití, místní recyklace), v některých případech může být voda získána i pro třetí použití (zavlažování v zemědělství), což by umožnilo snížit celkovou spotřebu pitné vody ve městech o téměř 20 %. Tento celkový pokles poptávky by vedl i ke snížení nákladů na úpravu a dodávky pitné vody, zmenšila by se potřeba čerpání podzemních vod prostřednictvím hloubkových studní, což by mělo i pozitivní environmentální dopad. Navíc by se snížil objem odpadních vod, tím i náklady na jejich transport a čištění. Navzdory všem těmto výhodám není opětovné využití šedých vod bez rizik a do budoucna skýtá ještě řadu výzev. Šedé vody obsahují řadu solí, organických sloučenin a patogenů, které by bez řádné úpravy a hygienizace měly dopad na lidské zdraví, mohly by poškodit rostliny nebo časem změnit vlastnosti půdy v případě zavlažování (Gross et al., 2015).

Šedá voda z jednotlivých provozů má různé složení. Kuchyňská voda obsahuje čisticí prostředky, části potravin, oleje, tuky. Ve vodě z praní prádla jsou fosfáty, sodík, povrchově aktivní látky, amoniak z pracího prášku, vlákna i koliformní bakterie. Voda z koupelen obsahuje mýdlo, šampon, barviva na vlasy, zubní pastu, čisticí prostředky, vlasy a zákal. V poslední době roste i úloha mikropolutantů, sloučenin vytvářejících environmentální problémy i při nízkých koncentracích, které jsou obsaženy i v šedých vodách (De Gisi et al., 2017). Fyzikálně-chemické vlastnosti šedých vod ve sledovaných parametrech přehledně ukazuje Tabulka 3.

Teplota a pH – teplota z praček se pohybuje v rozmezí 28 až 32 °C, z umyvadel, sprch a van 18 až 38 °C. Zatímco u komunálních vod je průměrné pH kolem 7,5, u šedých vod z praček je to 9,3-10, z koupelen a kuchyní pak 5-8,6, podobně jako neseparovaná šedá voda.

Zákal, plovoucí látky – zatímco u vod z praček je vyšší množství plovoucích látek, tak u vod z koupelen jsou naopak vyšší hodnoty barvy a zákalu. Nejvyšší hodnoty plovoucích látek lze však sledovat u kuchyňských provozů z důvodu zbytků jídla, což bývá příčinou problémů při úpravě šedých vod z těchto zdrojů.

Chemická a biochemická spotřeba kyslíku – poměr CHSK a BSK₅ je v šedých vodách zhruba 4:1, což ukazuje na vyšší podíl hůře odbouratelných organických látek, oproti komunálním vodám, kde se tento poměr pohybuje okolo 2:1. Nejméně zatíženy jsou vody z koupelen, nejvíce naopak z kuchyňských provozů (Biela, 2012).

Fyzikálně-chemické parametry	Jednotky	Pračky	Vany, sprchy, umyvadla	Kuchyně, myčky	Neseparovaná šedá voda
pH	[-]	9,3 – 10	5 – 8,6	6,3 – 7,4	6,1 – 8,4
Teplota	[°C]	28 – 32	18 – 38	–	–
Barva	[Pt/C]	50 – 70	60 – 100	–	–
Zákal	[NTU]	14 – 296	20 – 370	–	–
Plovoucí látky	[mg/l]	79 – 280	7 – 120	134 – 1 300	–
Rozpuštěné látky	[mg/l]	–	126 – 599	–	–
Vodivost	[μS/m]	190 – 1400	82 – 22 000	–	360 – 520
Alkalita (jako CaCO ₃)	[mg/l]	83 – 200	24 – 136	20 – 340	–
Tvrdost (jako CaCO ₃)	[mg/l]	–	18 – 52	–	–
BSK ₅	[mg/l]	48 – 682	19 – 200	669 – 756	41 – 194
CHSK	[mg/l]	375	64 – 8 000	26 – 1 600	495 – 623
TOC	[mg/l]	100 – 280	15 – 225	–	–
SO ₄ ²⁻	[mg/l]	–	12 – 40	–	39,8 – 88,5
Cl ⁻	[mg/l]	9 – 88	3,1 – 88	–	16,3 – 33,4
Oleje a tuky	[mg/l]	8,0 – 35	37 – 97	–	–

Tabulka 3: Fyzikálně-chemické vlastnosti šedých vod ve sledovaných parametrech (Bartoník et al., 2012).

Dusík se v šedých vodách vyskytuje převážně jako organicky vázaný, koncentrace amoniakálního, resp. oxidovaných forem dusíku (dusitany, dusičnany) jsou v porovnání s koncentrací organického dusíku zanedbatelné. Na používání detergentu obyvatelstvem záleží množství fosforu, nejvíce je ho obsaženo v mycích přípravcích do myček na nádobí. Jednotlivé koncentrace vybraných nutrientů jsou znázorněny v Tabulce 4 a mikrobiologické zatížení šedých vod v Tabulce 5.

Nutrienty [mg/l]	Pračky	Sprchy, umyvadla, vany	Kuchyně, myčky nádobí	Neseparované šedé vody
N-NH ₄	<0,1 – 3,47	<0,1 – 25	0,2 – 23	–
N-NO ₂	0,1 – 0,31	<0,05 – 0,2	–	–
N-NO ₃	0,4 – 0,6	0 – 4,9	–	–
P-PO ₄	4 – 32	0,34 – 35	0,4 – 14	0,6 – 7,4
Ncelk	6 – 21	0,6 – 46,4	13 – 60	8 – 11
Pcelk	0,06 – 57	0,11 – 2,2	3,1 – 10	3,3 – 11

Tabulka 4: Koncentrace nutrientů v šedých vodách (Bartoník et al., 2012).

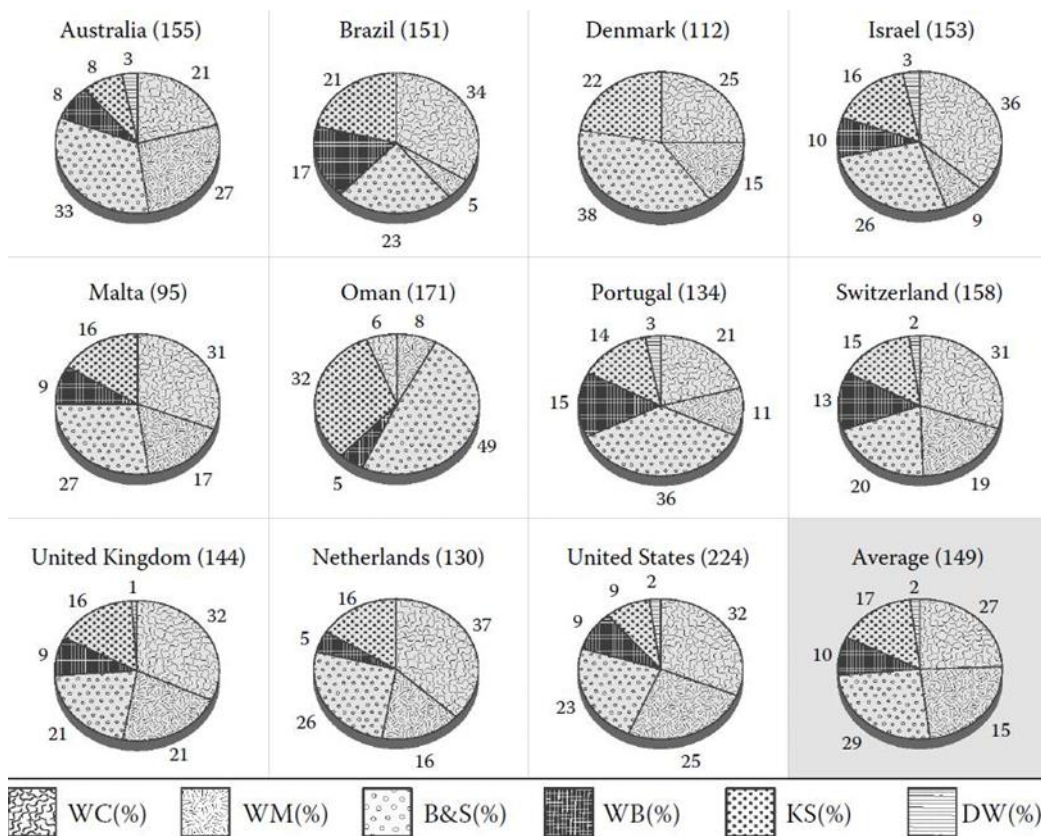
Mikrobiologické parametry [KTJ/100ml]	Pračky	Sprchy, vany, umývadla	Kuchyně, myčky nádobí	Neseparované šedé vody
Fekální koliformy	$10^1 - 10^4$	$10^1 - 10^6$	–	$10^2 - 10^6$
Celkové koliformy	$10^1 - 10^8$	$10^1 - 10^9$	–	$10^5 - 10^8$
<i>E.coli</i>	$10^1 - 10^6$	$10^1 - 10^7$	$10^5 - 10^8$	$10^1 - 10^2$
Streptokoky	$10^1 - 10^7$	$10^1 - 10^6$	$10^3 - 10^8$	102
Celkový počet kolonií	–	$10^2 - 10^8$	–	–
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	–	n.n. – 10^3	–	$10^2 - 10^5$
<i>Salmonella</i>	n.n.	n.n.	–	–
<i>Cryptosporidium</i>	n.n.	n.n.	–	n.n.
<i>Giardia</i>	n.n.	n.n.	–	–

Tabulka 5: Mikrobiologické zatížení šedých vod (Bartoník et al., 2012). Pozn.: n.n. = neznámý údaj.

Ačkoli se dá říct, že je šedá voda méně znečištěná než celková odpadní voda domácností, přesto kontaminace fekáliemi a množstvím pevných látek a tuků je velmi významná. Koncentrace znečišťujících látek jsou někdy v šedých vodách dokonce vyšší, protože nedochází k jejich velkému naředění vodou jako při splachování toalet.

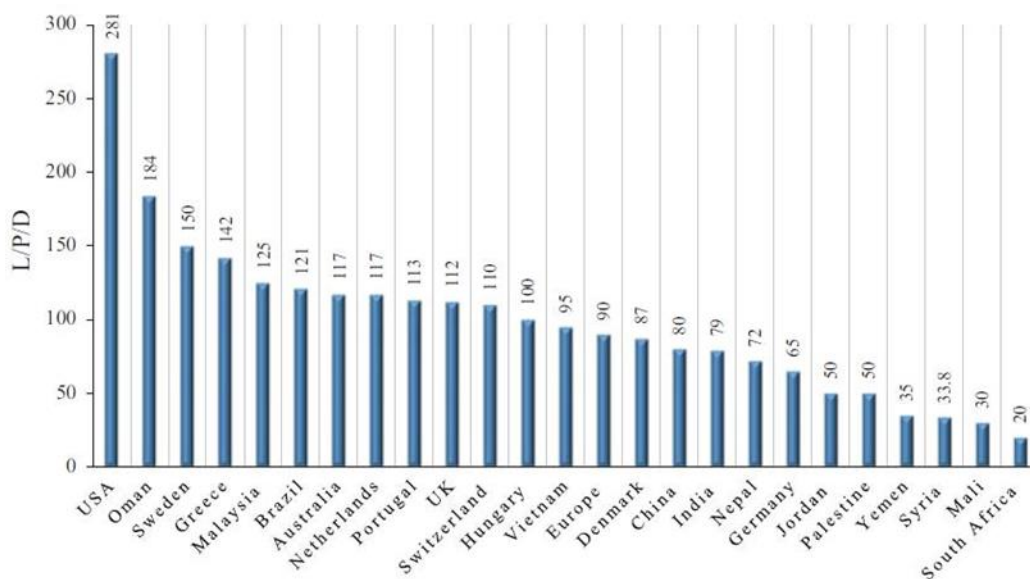
Dalšími faktory, které ovlivňují charakter šedé vody jsou např. zda se jedná čistě o vodu z koupelen, z kuchyní, nebo smíšenou, zda jde o byt, činžovní dům, hotel, veřejné sprchy, jaké jsou návyky obyvatelstva co se týká spotřeby vody, používání domácích chemikálií, pracích prostředků, prostředků a výrobků osobní péče, jaká je věková skladba obyvatelstva a samozřejmě i vlivy klimatické a geografické (denní spotřeba, sezónní spotřeba). Dále také záleží na kvalitě přírodního potrubí, zdrojové vody s koncentrací různých prvků, pH apod. Všechny tyto faktory pak určují celkovou charakteristiku šedých vod a pomáhají při navrhování vhodných řešení pro jejich čištění a možnosti jejich opětovného využití.

Obrázek 4 ukazuje, jak se liší spotřeba vody v domácnostech podle použití v různých zemích světa. Čísla v závorkách označují průměrnou denní spotřebu vody na obyvatele a den (Gross et al., 2015).



Obrázek 4: Spotřeba vody v domácnostech různých zemí (v %), WC - splachování toalet, WM - praní prádla, B&S - koupelna (sprcha, vana), WB - umyvadlo, KS - kuchyňský dřez, DW - myčka nádobí (Gross et al., 2015).

V celosvětovém kontextu představují šedé vody vytvořené z domácích provozů 50–80 % celkové spotřeby vody. Poměr šedé a černé vody se v rozvojových a vyspělých zemích liší. Zatímco ve Velké Británii je množství vyprodukovaných šedých vod oproti ostatním odpadním vodám stejné, tak například v Jordánsku či Ománu představuje šedá voda až 70–80 % celkové domácí produkce odpadních vod. V Jihoafrické republice se šedá voda pohybuje v rozmezí 65-85 % z celkového počtu spotřebované vody v domácnosti. Vysvětlení těchto rozdílů spočívá zejména v odlišném životním stylu. Různou produkci šedých vod ve vybraných zemích ukazuje Obrázek 5. Objevují se úvahy, že i například využívání tzv. arabských toalet by mohlo být spojováno s vysokou produkcí šedé vody, zatímco využití klasických západních toalet s úsporným splachovacím systémem by mohlo vést naopak ke zvýšené produkci černé vody. Odhad množství a procentuálního zastoupení šedé vody oproti vodě černé je v rozvojových zemích skutečně obtížný, šedé a černé vody se tam často nerozlišují (Al-Gheethi et al., 2019).

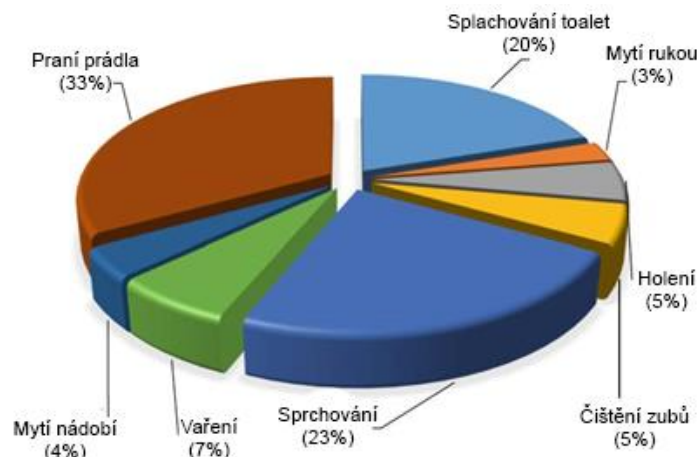


Obrázek 5: Produkce šedé vody ve vybraných zemích (l/os/den) (Al-Gheethi et al., 2019).

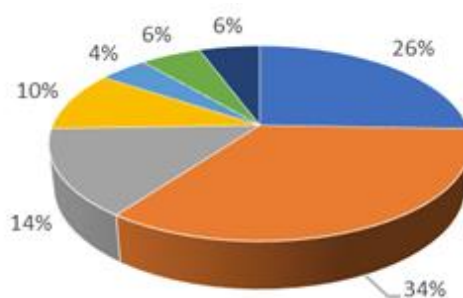
Liší se také generované množství šedé vody ve velkých městech (120–130 l/os/d) a v malých vesnicích (50–70 l/os/d). Na základě Obrázku 5 by se mohlo zdát, že množství šedé vody generované domácnostmi závisí na úrovni vyspělosti jednotlivých států, ale to může být i trochu matoucí, protože řada vyspělých států se naopak snaží snížit produkci šedých vod nejrůznějšími opatřeními. Množství šedé vody v zemích, které čelí nedostatku pitné vody, jako např. Jemen (35 l/os/d), Sýrie (33,8 l/os/d) a Mali (30 l/os/d) je menší ve srovnání se zeměmi, které mají dostatek vodních zdrojů, jako je Malajsie (125 l/os/d). Při porovnání dvou zemí se zhruba stejným klimatem, např. Jordánsko a Omán, je celkové množství šedé vody v poměru 5:18, což pravděpodobně souvisí i s odsolováním mořské vody v Ománu. Nízká produkce šedé vody v Jižní Africe (20 l/os/d) může být zase způsobena životním stylem lidí, kteří k praní oblečení využívají řeky, stejně jako například k mytí nádobí nebo osobní hygieně. Oproti tomu v Malajsii připadá nejvíce vody na koupání, průměrně více jak 50 % z celkové šedé vody, což je zapříčiněno častým sprchováním osob (více než třikrát denně). S tím samozřejmě souvisí tamní horké a vlhké počasí. Dalším zjištěním bylo, že produkce šedých vod během víkendu je oproti pracovním dnům vyšší, a to zejména kvůli vaření a častějšímu mytí rukou (Al-Gheethi et al., 2019).

V České republice se průměrná spotřeba vody v domácnosti pohybuje okolo 90 litrů na osobu a den (SČVK, 2019). Procentuální rozdělení spotřeby vody podle použití ukazuje Obrázek 7. Z něj je patrné, kolik šedé vody v rámci běžného provozu domácností vzniká a zároveň kde by se daly vyčištěné šedé vody přeměněné na bílou

provozní vodu uplatnit. Při porovnání procentuálního zastoupení jednotlivých vod v domácnostech lze z obrázků 6 a 7 zjistit, že asi největší rozdíl je ve spotřebě vody na praní, která je v ČR o 19 % nižší oproti průměru.



Obrázek 6: Průměrná spotřeba vody domácností ve světě (Al-Gheethi et al., 2019).



■ WC ■ Osobní hygiena ■ Praní, úklid ■ Příprava jídla, mytí nádobí ■ Pití ■ Mytí rukou ■ Zalévání, ostatní

Obrázek 7: Průměrná spotřeba vody domácností v ČR (SČVK, 2019).

2.2.2 Obecné možnosti využití šedých vod

Dostatečně vyčištěná a hygienizovaná šedá voda má celou řadu uplatnění. V praxi se lze setkat například s různými systémy certifikace budov z hlediska snižování vlivu na životní prostředí, jako je nejpopulárnější certifikace ekologického stavitelství na světě LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), nebo BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), které mají motivovat projektanty využívat technická řešení, která by redukovala spotřebu energií a vypouštění odpadních vod mimo budovy (Asio, 2020).

V rámci ČR již také existuje celá řada již realizovaných projektů, např. hotel Mosaic House v Praze, ve kterém byla jako vůbec v prvním developerském projektu v ČR použita v takové míře recyklace a rekuperace šedé vody a který v roce 2012 obdržel certifikaci BREEAM. Tento hotel disponuje systémem recyklace šedé vody ze sprch a umyvadel, která se odvádí do specializovaného zařízení v suterénu, kde se filtruje a čistí. Následně je tato voda použita ke splachování WC a v úklidových komorách. Veškerá distribuce šedých vod je realizována instalovaným dvojitým, od sebe odděleným systémem vodovodních a kanalizačních trubek. V hotelu je instalována i rekuperační jednotka, která zpětně z odpadní šedé vody získává teplo, které je ihned dále využito (Ekolist.cz, 2010).

Využití šedé vody se však může týkat i bytových domů, jak ukazuje vůbec první projekt tohoto typu na území ČR s názvem Botanica K v pražských Jinonicích. Odpadní voda z koupelen je zde svedena do vyrovnávacích nádrží v technickém zázemí budovy, kde je instalována čistírna šedých vod (více viz kapitola 2.2.3 Metody čištění šedých vod). Upravená „bílá voda“ je pak rozváděna zpět ke splachování toalet a využita i jako voda pro zavlažování. V případě potřeby se šedá voda může doplnit vodou srážkovou (Facility Manager, 2018). Díky tomuto systému se spolu s úspornými zařízovacími předměty v bytových domech Botanica ušetřilo jen za první rok provozu cca 26% běžné spotřeby pitné vody (SKANSKA, 2019).

Kromě projektů pro bytové potřeby najde šedá voda své uplatnění zejména v průmyslu, v zavlažování v zemědělství a krajiny, zasakování do podzemních vod, mytí ulic aj.

Aby se dosáhlo zvýšení využití šedé vody, jsou nutná tři hlavní opatření:

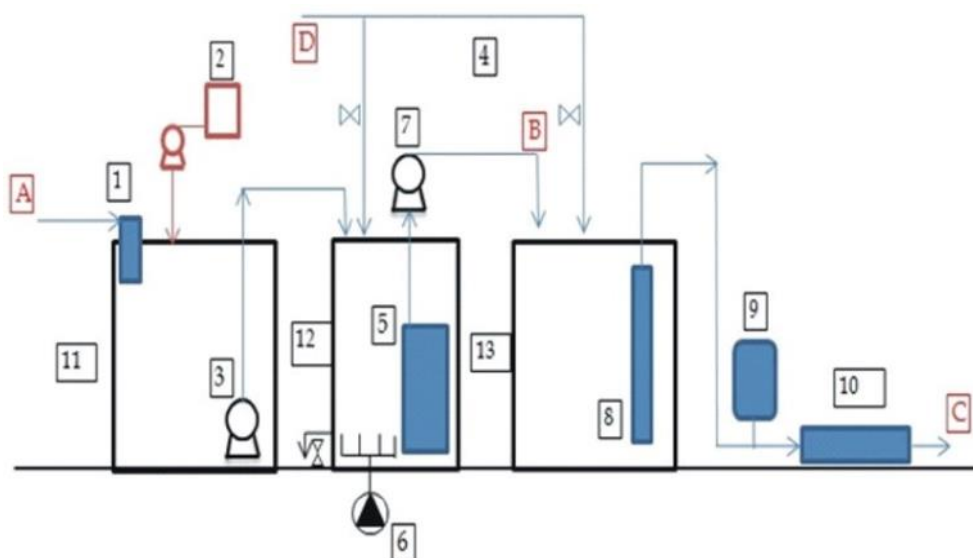
- finanční podpora na úrovni státu a platná legislativa
- uživatelsky přívětivé informace a vzdělávací programy
- rozšíření levných domácích čistíren šedé vody (Santos et al., 2011).

2.2.3 Metody čištění šedých vod

Metod na čištění šedých vod je celá řada, od těch jednoduchých dvoustupňových, zahrnujících hrubou filtraci a dezinfekci pomocí UV záření nebo sloučenin obsahujících chlór, přes fyzikální metody (kam patří filtrace pomocí náplňových filtrů, filtrační lože, pískové filtry, membránové filtrace), fyzikálně chemické až po biologické procesy, které zpravidla doplňují membránové čištění a při kterých se vedle

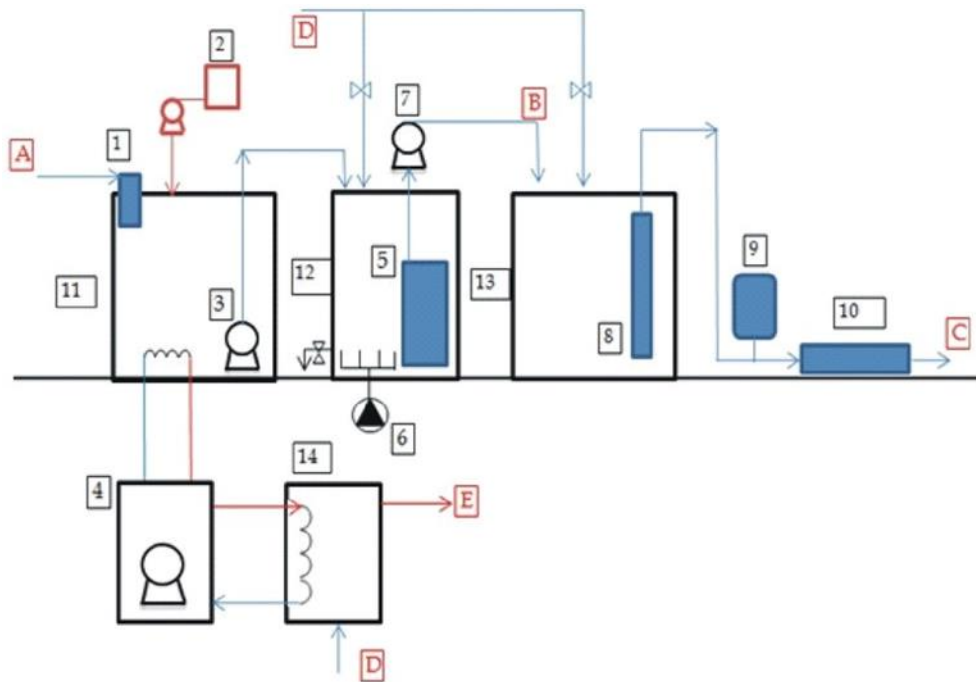
aktivačních procesů používají i biofiltry. Nejlepší kvality vyčištěných šedých vod lze dosáhnout kombinací výše zmíněných procesů (Bartoník et al., 2012).

Čistírny šedých vod obsahují kompletní řešení pro výrobu tzv. bílé vody. Skládají se z mechanického předčištění šedé vody, akumulace, biologického čištění a filtrace, čerpání vody do rozvodného systému a doplňování pitné vody v případě nedostatku produkce šedých vod. Technologie využívá aerobní biologické procesy a je rovněž vybavena membránovou technologií pro odstranění většiny virů a bakterií. Šedá voda natéká přes filtr mechanických nečistot do vyrovnávací (akumulační) nádrže. Tato nádrž má za funkci zachytit nerovnoměrnosti při napouštění šedé vody do systému. Z vyrovnávací nádrže je voda čerpána čerpadlem do aktivační nádrže, tam se voda biologicky čistí. V aktivační nádrži je osazen membránový modul. V jeho spodní části se nachází aerační systém, který slouží ke vhánění kyslíku do aktivační nádrže a k čištění membrán. Nad membránovým modulem je umístěno čerpadlo, které pod tlakem odsává vodu přes filtrační membrány a odvádí již vyčištěnou vodu do akumuláční nádrže vyčištěné vody. Voda z akumuláční nádrže je čerpána pomocí automatické tlakové stanice s membránovou tlakovou nádobou do systému rozvodu provozní vody. Za čerpací stanicí je umístěna membránová tlaková nádoba. Jako poslední je zařazena UV lampa sloužící k dezinfekci vody. Všechny nádrže jsou opatřeny havarijním přepadem a možností doplňování pitnou vodou do akumuláční nádrže vyčištěné vody v případě nedostatku šedých vod. Technologické schéma čištění šedých vod je na Obrázku 8.



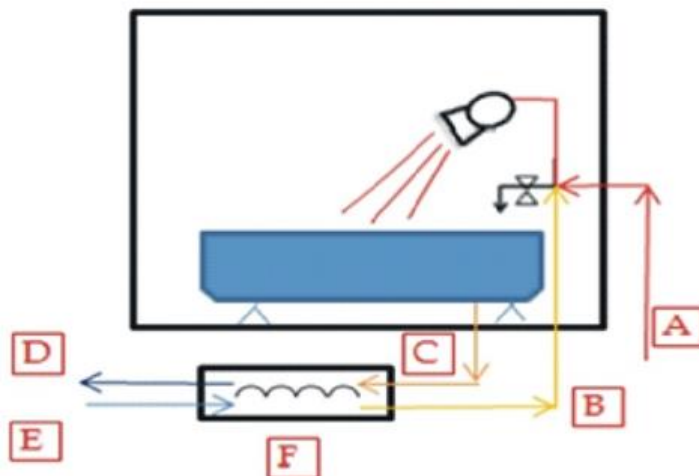
Obrázek 8: Technologické schéma čistírny šedých vod (Bartoník et al., 2012). Legenda:
 1) Jemné síto, 2) Dávkování NaOH, 3) Přečerpávání šedé vody do aktivační nádrže,
 4) Přívod pitné vody, 5) Membránový modul, 6) Dmychadlo, 7) Čerpadlo permeátu, 8)
 Ponorné čerpadlo, 9) Membránová tlaková nádoba, 10) UV lampa, 11) Vyrovnávací nádrž,
 12) Aktivační nádrž, 13) Akumulační nádrž, A) Šedá voda, B) Permeát, C) Vyčištěná šedá
 voda do spotřebiště, D) Pitná voda.

Z šedých vod je vzhledem k jejich tepelnému potenciálu možné využívat i odpadní teplo, a to dvěma základními způsoby, buď centrálně, nebo lokálně. Obrázek 9 ukazuje možné zapojení centrálního systému do akumulace, oproti tomu lokální zapojení přehřátí vody pro okamžitou spotřebu je na Obrázku 10.



Obrázek 9: Schéma zapojení centrálního systému akumulace tepla v rámci čistírny šedých vod (Bartoník et al. 2012).

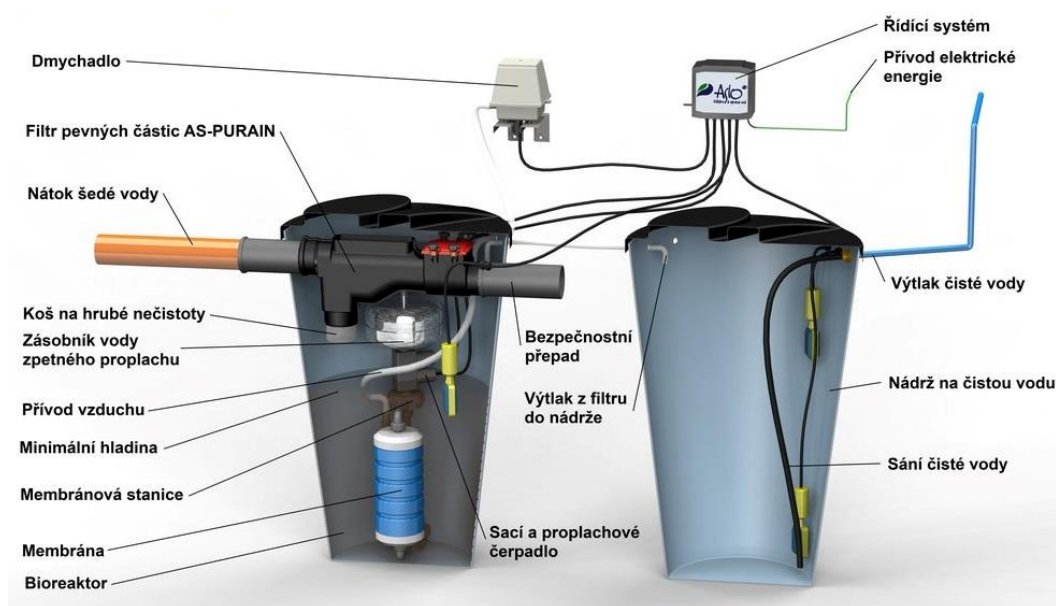
Legenda: 1) Jemné síto, 2) Dávkování NaOH, 3) Přečerpávání šedé vody do aktivací nádrže, 4) Přívod pitné vody, 5) Membránový modul, 6) Dmychadlo, 7) Čerpadlo permeátu, 8) Ponorné čerpadlo, 9) Membránová tlaková nádoba, 10) UV lampa, 11) Vyrovnávací nádrž, 12) Aktivační nádrž, 13) Akumulační nádrž, 14) Zásobník TUV, 15) Tepelný výměník, A) Šedá voda, B) Permeát, C) Vyčištěná šedá voda do spotřebiště, D) Pitná voda, E) Teplá užitková voda (TUV).



Obrázek 10: Lokální zapojení přehřevu vody pro okamžitou spotřebu (Bartoník et al., 2012).
Legenda: A) TUV, B) Přehřátá studená voda, C) Teplá odpadní voda, D) Ochlazená odpadní voda, E) Studená voda, F) Výměník tepla.

Obecně je možno říct, že lokální systémy odběru tepla jsou vhodnější pro rodinné domy, ve kterých je nižší průtok. Tomu odpovídají i nižší investice celého řešení. Naproti tomu centrální systémy jsou sice finančně náročnější, ale lze u nich dosáhnout vyšších teplot a hodí se tedy pro větší provozy. Návratnost u těchto zařízení je tak kratší. Mezi největší zdroje patří kromě hotelů, škol, restaurací a ubytoven také administrativní budovy, wellness centra, bazény, nemocnice či lázně (Bartoník et al., 2012).

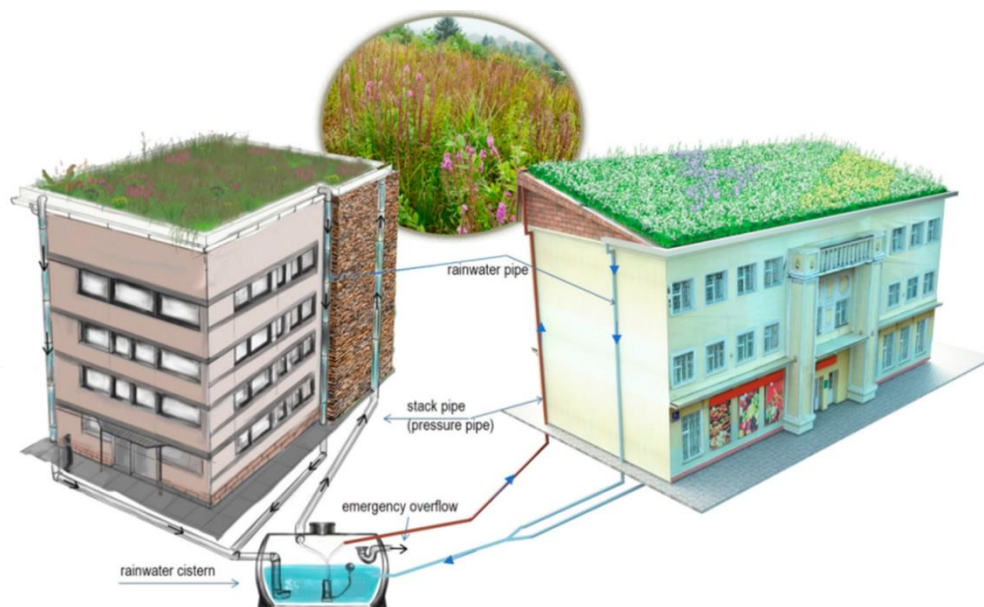
Opětovné využití šedých vod je možné využívat i v rámci realizace menších projektů, např. v rodinných domech. Princip úpravy vody je zde podobný jako ve velkých hotelech či bytových domech, jak např. ukazuje schéma řešení systému pro recyklaci šedých vod Aqualoop, viz Obrázek 11. Takto upravená „bílá voda“ se dá použít pro splachování toalet, pisoárů, mytí podlah i zalévání zahrad. Šedá voda při decentralizovaném přístupu vyžaduje jiné systémy na čištění a úpravu, než je tomu u centralizovaných ČOV, v některých případech může být použita stejná technologie pro oba přístupy.



Obrázek 11: Systém řešení pro recyklaci šedých vod Aqualoop (www.asio.cz).

Dalším systémem uplatňujícím se v rámci čištění šedých vod je GROW (Green Roof-topWater Recycling System). Zejména v městských a rozvojových oblastech se stávají populární malé decentralizované systémy zpracování, které poskytují řešení bez potřeby okolních pozemků a nabízí střední až vysokou účinnost zpracování šedých vod, kterým se po takovéto úpravě říká „zelená voda“. Systém se většinou skládá z rovnoměrných žlabů a vodních přepadů, které jsou umístěny nad dřevěným

rámem šikmé střechy. Žlaby jsou vyplněny substrátem a štěrkem a osázeny odrůdami původních vodních druhů (Ramprasad et al., 2017). Většina střešních systémů však není určena pro zimní období, protože při poklesu teploty pod bod mrazu hrozí zamrzání šedé vody a tím poškození celé technologie (Zehnsdorf et al., 2019).



Obrázek 12: Systém GROW (Ramprasad et al., 2017).

V současné době je k dispozici celá řada přírodních způsobů čištění (KČOV, biologické rybníky atd.), které jsou považovány za udržitelné, efektivní z hlediska nákladů a proveditelné zvláště pro menší projekty. Mají své přednosti, ale i některé nedostatky, které omezují oblast jejich využití.

Mezi hlavní přednosti patří poměrně jednoduché stavební provedení, menší nároky na vybavení, energie a celkový provoz, menší potřeba pravidelné obsluhy, možnost nárazového přetížení a poměrně dobrý čistící účinek od počátku provozu, (dokonce i přes jeho přerušení, které nemá vliv na jeho další funkci), možnosti čištění vod s nízkým obsahem organické hmoty, poutání dusíku a fosforu vodními, mokřadními i kulturními rostlinami, vysoký čistící účinek s odstraňováním tenzidů a bakteriálního znečištění. Čistící zařízení mají přírodní charakter, dobře se začleňují do přírodního prostředí. Umělé mokřady jsou zdrojem biodiverzity, zadržují vodu v krajině, ovlivňují mikroklima výparem ze svých vodních hladin a transpirací rostlin. Mohou být použity u rodinných domů, rekreačních objektů a většinou je možné je budovat svépomocí. Často se používají jako druhý stupeň biologického čištění.

Mezi nedostatky patří potřeba velké plochy na jednoho ekvivalentního obyvatele (u vegetačních kořenových čistíren je to cca 5 m², u biologických nádrží se počítá

s 10 - 15 m²). Kořenové čistírny nejsou příliš úspěšné v odstraňování amoniaku, některá řešení jsou závislá na okolních klimatických podmínkách, pro zvýšení účinnosti potřebují delší dobu zdržení. U kořenových čistíren a biologických nádrží je potřeba pravidelné odstranění přebytečné biomasy. Tabulka 6 uvádí přírodní způsoby čištění a možnosti využití jednotlivých zařízení (Šálek et al., 2008).

Druh přírodního způsobu čištění	Možnosti využití zařízení
a) půdní (zemní) filtry	
Vertikální proudění bez vegetace	Čištění a dočištění (úprava) srážkových a splaškových (komunálních) vod
Horizontální proudění bez vegetace	
b) Kořenové čistírny odpadních vod (půdní filtry s mokřadní vegetací)	
Horizontální povrchové proudění	Čištění OV a znečištěných povrchových vod
Horizontální podpovrchové proudění	Čištění splaškových (komunálních) odpadních vod a jejich dočištění; celoroční provoz
Vertikální s prouděním směrem dolů	Čištění OV, převážně v letním období
Vertikální s prouděním vzhůru	
c) Biologické nádrže (součást stabilizačních nádrží)	
Aerobní nízkozatěžované	Čištění povrchových a komunálních OV
Aerobní vysokozatěžované	Čištění OV v klimaticky příznivých oblastech
Aerobní průběžně provzdušované	Intenzivní čištění OV, průběžné provzdušování
Dočišťovací biologické nádrže	Dočištění OV za umělými stupni čištění OV
Anaerobní průtočné BN	Anaerobní čištění předřazené aerobnímu čištění
Anaerobní akumulační BN	Čištění odpadních vod kampaňových producentů
d) Akvakultury a bioeliminátory	
Nádržní a žlabové akvakultury	Čištění a dočištění OV okřehky, řasami, sinicemi
Kombinace akvakultur s vegetací	Čištění komunálních a průmyslových OV
Bioeliminátory	Čištění OV ve žlabech s přepážkami z nárostů
e) Závlaha odpadními vodami (minimálně mechanicky čistěnými)	
Závlaha komunálními OV	Vegetační závlahy až celoroční provoz závlah
Závlaha průmyslovými OV	Vegetační provoz i mimovegetační závlahy OV
Závlaha zemědělskými OV	Vegetační závlahy silážními a provozními OV
Závlaha tekutými kaly a kejdou	Využití hnojivého účinku tekutých odpadů

Tabulka 6: Přírodní druhy čištění odpadních vod (Šálek et al., 2008).

Půdní filtr, resp. zemní filtr pískový, je biologický zemní filtr s pískovým a štěrkovým médiem, slouží k dočištění splaškových vod z rodinných a rekreačních objektů. Většinou tvoří druhý stupeň čištění odpadních vod a osazuje se za biologický septik (nejlépe tříkomorový), nebo domovní ČOV. Je vhodný zejména pro přerušovaný provoz, například rekreační chaty nebo objekty bez zdroje el. energie. Většinou je to plastová PP obdélníková nádrž se 100 % vodotěsností. Předčištěná splašková voda z biologického septiku přitéká do zemního filtru rozdělovacím potrubím skrz vrstvy štěrku a písku a sběrným potrubím je pak odváděna mimo filtr. Velikost nádrže i mocnost jednotlivých vrstev záleží na typu filtru a jeho určení pro požadovaný počet osob. Rozdělovací potrubí je uloženo ve štěrkovém obsypu (ideálně frakce 16/32 mm), odtud natéká na filtrační písek (zrnitosti 2/4 mm). Vyčištěná voda se pak svažuje do spodní části zemního filtru, kde je skrz sběrné potrubí odváděna přes revizní šachtu (pro možnosti odebrání vzorku) mimo filtr.

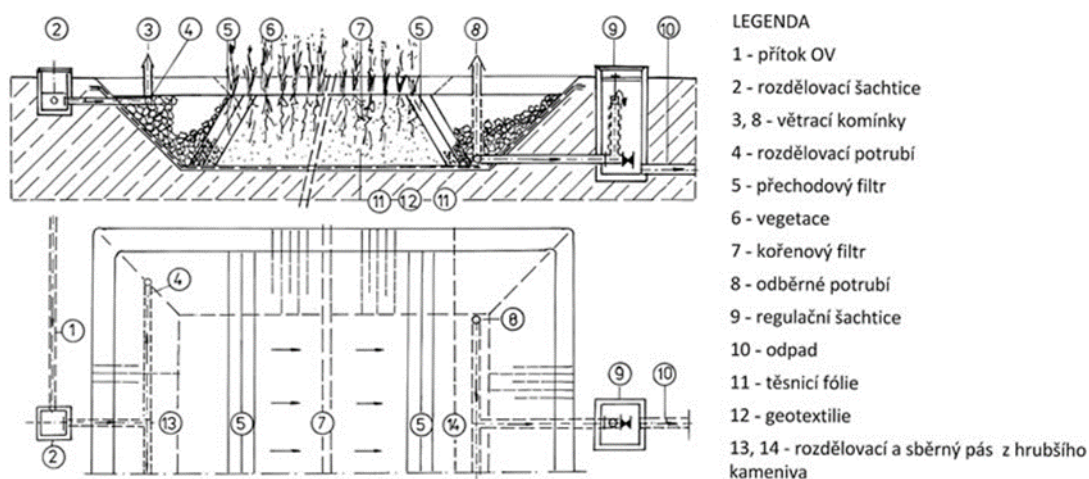
Prefabrikovaný výrobek, splňující normu ČSN 75 0905 o vodotěsnosti vodárenských a kanalizačních nádrží, se osazuje na betonovou desku, nebo zhutněný štěrkopískový podklad do připravené stavební jámy potřebných rozměrů. Po připojení potrubí z biologického septiku a odtoku z filtru, (buď do drenážního potrubí pro vsakování, nebo do dalšího stupně čištění) se začne filtr obsypávat prosetou zeminou za současného plnění štěrkovou a pískovou náplní, aby nedocházelo k jeho poškození deformací.

Jednotlivé vrstvy náplně se rovněž prokládají geotextílií, aby nedocházelo k mísení složek náplně filtru. Na rozváděcí potrubí se připojí odvětrání. Nad horní část filtru se přes celou plochu rozprostře geotextilie a následně se zasype prosátou vytěženou zeminou, která se zatravní. Celá plocha nad filtrem je pak pochozí (Biowa, 2014). Takovýto filtr je takřka bezúdržbový s vysokou životností (cca 15-20 let). Poté je možné provést jeho obnovu výměnou filtrační náplně a může sloužit svému účelu dále. Samotné čištění uvnitř filtru pak probíhá přes tenkou biologickou membránu (šlem z rozloženého a biologicky oživeného materiálu), která se utvoří na povrchu filtračního písku. Odpadní voda se postupně infiltruje, tím dochází k biologickému čištění mikroorganismy obsaženými v membráně. Kal z biologického procesu vlivem dlouhé doby zdržení mineralizuje a zůstává tak prakticky po celou dobu životnosti filtru v jeho tělese.

Pro kořenové čistírny odpadních vod (KČOV) se jako nejvhodnější mokřadní rostliny používají rákos obecný, chrastice rákosovitá, orobinec úzkolistý i širokolistý, zblochan vodní a kosatec žlutý. Čištění vody v KČOV probíhá díky řízenému průtoku předčištěné odpadní vody umělým mokřadem s bažinatými rostlinami. Hlavními

procesy jsou sedimentace, filtrace, adsorpce difuze a evaporace (fyzikální procesy), dále srážení a rozklad lehce odbouratelných látek, oxidace, redukce a chemisorpce (chemické procesy) a další bakteriologické a biologické procesy (Šálek et al., 2008).

Dalším typem, který se dá použít na čištění šedých vod, jsou různé aerobní biologické nádrže pro extenzivní čištění. Voda však musí být pečlivě předčištěna, aby nedocházelo k jejich zanášení a snižování funkčnosti. Často se kombinují s dočišťovací biologickou nádrží, potažmo s nádrží okrasnou či rekreační. Dále se k dočištění používají různé akvakultury a hydroponické systémy. Nevýhodou těchto systémů je však jejich omezení ohledně klimatických podmínek a vegetačních období, nelze je tak používat celoročně (vyjma např. skleníkových provozů) (Šálek et al., 2008).



Obrázek 13: Řez kořenovým filtrem s horizontálním prouděním a odtokovou regulační šachticí (Šálek et al., 2008).

2.2.4 Legislativa

Do této doby není v rámci legislativy ČR žádná norma, která by se zabývala kvalitou a přesným určením šedých vod. Pro určení požadavků na ukazatele jakosti provozní, tzv. „bílé vody“ týkající se zdravotních rizik, lze vzhledem k absenci českých norem použít prozatím např. britskou normu BS 8525-1 (British Standards BS 8525-1, 2010), viz Tabulka 7. Pro země, kde je šedá voda již do legislativy začleněna, jsou nároky na kvalitu recyklovaných šedých vod uvedeny v Tabulce 8 (Bartoník et al., 2012).

S účinností od 1.1. 2019 byla v ČR vydána evropská norma v českém znění ČSN EN 16941-1 „Systémy pro využití nepitné vody na místě – Část 1: Systémy pro využití

srážkových vod“ (angl. On-site non-potable water systems - Part 1: Systems for the use of rainwater) řešící však jen zacházení se srážkovou vodou (ČSN EN 16941-1, 2018). Tato evropská norma byla v ČR vydána již v červenci 2018 vyhlášením v anglickém znění. V současné době se však již konečně chystá její druhá část, jejíž pracovní název nese označení prEN 16941-2 „On-site non-potable water systems Part 2: Systems for the use of treated greywater“, která se bude týkat využití šedých vod, tedy splaškových odpadních vod bez fekálií. V ní by mimo jiné měly být definovány např. termíny jako světlá šedá voda pro šedou vodu vyjma kuchyňské odpadní vody, nebo hlavní preference využití šedých vod pro splachování toalet, zalévání zahrad, praní prádla a pro úklidové účely (prEN 16941-2, 2017). Doposud byla využívána například britská norma BS 8525-2 (British Standards BS 8525-2, 2011).

Parametr x [KTJ/100 ml]	Aplikace postřikem	Aplikace bez postřiku		
	Tlakové mytí, zahradní rozstřikovač a mytí vozidel	Splachování WC	Zavlažování zahrad ^{A)}	Praní
<i>Escherichia coli</i>	Nezjištěno	250	250	Nezjištěno
Střevní enterokoky	Nezjištěno	100	100	Nezjištěno
<i>Legionella pneumophila</i>	10	–	–	–
Koliformní bakterie	10	1000	1000	10

A) Pokud by voda byla použita v zelenářských zahradách, měly by být informace o úpravě těchto plodin před použitím poskytnuty odběratelům (doporučení pro vaření, loupání, o důkladném omytí v pitné vodě)

Tabulka 7: Ukazatele jakosti "bílé vody" dle BS 8525-1 (BS 8525-1, 2010).

Parametr	Jednotky	Austrálie	Německo	Kanada	WHO	Velká Británie
BSK₅	[mg/l]	< 10 (BSK ₅)	< 5 (BSK ₇)	< 10 (BSK ₅)	< 10 (BSK ₅)	–
NL	[mg/l]	< 10	–	< 10	< 10	–
Zákal	[NTU]	–	–	< 2	–	–
Celkové koliformy	[KTJ/100 ml]	< 10	< 100	0	–	1000
<i>E. coli</i>	[KTJ/100 ml]	–	–	0	–	250
Fekální koliformy	[KTJ/100 ml]	–	< 1000	–	< 10	–
Fekální streptokoky	[KTJ/100 ml]	–	< 1000	–	–	–
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	[KTJ/ml]	–	< 1	–	–	–
Intestinální enterokoky	[KTJ/100 ml]	–	–	–	–	100
Volný chlór	[mg/l]	0,5–2,0	–	> 0,5	–	–
Sensorika	[-]	–	bezbarvý, průzračný, bez zápachu	–	–	–
Nasycení kyslíkem	[%]	–	> 50	–	–	–
Průhlednost při 254 nm	[%]	–	> 50	–	–	–

Tabulka 8: Nároky na kvalitu recyklovaných šedých vod dle norem vybraných zemí (Bartoník et al., 2012).

3. Metodika experimentální části

3.1 Zájmová lokalita

Zájmová lokalita, tedy tábořiště spolku, se nachází poblíž obce Číměř v jižních Čechách, cca 12 km JJV směrem od Jindřichova Hradce, v přírodním parku Česká Kanada, na louce uprostřed lesů v katastrálním území Číměř [623865]. Rozloha katastru tábora je 7807 m², kód BPEJ je 73716, převažující půdní typ je kambizem, půda je středně skeletovitá a dle hydropedologické charakteristiky je půdní infiltrace a propustnost vysoká, retenční vodní kapacita nízká, stejně jako využitelná vodní kapacita. Hloubka půdy je zde mělká, cca 30 cm (ČÚZK, 2020).

3.2 Současný stav

Tábořiště se nachází na louce uprostřed lesa, bez přívodu elektřiny i bez přístupu k pitné vodě. Vzhledem k umístění louky na kopci, není v bezprostředním okolí ani žádný využitelný zdroj nepitné, např. povrchové vody ve formě vodoteče. Pitná voda je do tábořiště dovážena v barelech z obecního vodovodu nedaleké obce Číměř. Veškerá voda, která se na tábořišti nachází, je tedy z tohoto pitného zdroje. Jedinou výjimku tvoří voda z dešťových srážek, která je díky ploše dřevěné střechy jídelny (více než 100 m²) sváděna do dvou 300 l sudů a později využívána jako užitková voda např. při hrách, na zavlažování bylinkového záhonu, při indiánské sauně na zchlazování, při hašení ohniště apod.

Vzhledem k využití suchých latrín není třeba řešit splaškovou vodu z toalet. Pitná voda z barelů se v rámci katastru tábora používá na mytí rukou (jak na suchých latrínách, tak i v kuchyni, před podáváním jídel) a čištění zubů, vše prostřednictvím kanystrů s kohoutky. Dále je pitná voda používána na mytí nádobí a kvůli nedostatku vody ze srážek i k táborové sprše.

Do realizace řešení (popsaného v textu dále) se znečištěná voda z jednotlivých provozů tábora zpracovávala různě. Z kohoutků kanystrů na mytí rukou se vsakovala přímo do půdy, ze sprchy formou jednoduchého drenážního systému byla částečně vsakována a částečně svedena do vykopané vsakovací jámy, kam se vylévala i znečištěná voda po mytí nádobí.

3.3 Navržené řešení

Při uvažování nad možnostmi, jak zlepšit celkové nakládání s odpadními vodami vznikajícími při běžném provozu tábora, bylo nejprve nutno položit si několik zásadních otázek:

- 1) Jaké zvolit nejvhodnější řešení vzhledem ke kapacitě tábora, přerušovanému provozu, k současnému stavu a nepřítomnosti zdrojů el. energie?
- 2) Jaké místo pro realizaci vybrat (z hlediska terénních úprav, skladby podloží, možnosti gravitačního odvodu a spádu jednotlivých částí)?
- 3) Jaké jsou finanční možnosti, popř. alternativy sponzoringu?
- 4) Jakým způsobem dopravovat odpadní vodu z celého tábora na požadované místo?
- 5) Je k dispozici dostatek času a pracovní síly pro navrhované řešení?
- 6) Bude celková estetičnost realizovaného projektu v souladu s okolní přírodou?
- 7) Bude možné po konci tábora vše uklidit a tábořiště uvést do původního stavu, aby přes zimní období nebezpečí poškození?
- 8) Nebude vybraná varianta v rozporu s platnou legislativou ČR?
- 9) Bude majitel pozemku, na kterém se nachází katastr tábora, souhlasit s navrhovaným řešením?
- 10) Je v silách jednotlivce dotáhnout zvolený projekt až do konce?

Následně pak bylo nutné si na tyto otázky, pokud možno správně, odpovědět:

- 1) Maximální táborová kapacita je celkem cca 70 osob, počítaje v to 50 dětí a 20 dospívajících či dospělých osob. Celková potřeba pitné vody na den je cca 0,6 metrů krychlových, což v přepočtu činí cca 8,5 litru na osobu a den. Každá osoba spotřebuje průměrně 2 litry vody za den formou pitného režimu, celkem tedy asi 140 litrů. Zbylých 460 litrů se tak používá na sprchování, osobní hygienu, vaření, mytí rukou a příležitostné praní. K tomu je ještě nutno připočítat různé ztráty, např. vsakem při manipulaci. Výsledná denní produkce šedých vod, vzhledem k nepřítomnosti fekálních vod z WC, je tak v rámci celého tábora cca 450 litrů při rozvržení produkce od cca 8 h do 22 h. V porovnání s průměrnou denní spotřebou vody na osobu a den v ČR, která se pohybuje okolo 90 litrů, je tak spotřeba celého tábora stejná jako u 5členné rodiny. Tento údaj spolu s absencí zdroje el. energie a přerušovaným, resp. sezónním provozem nejvíce hovořil ve prospěch půdního, resp. zemního pískového filtru jako samostatné čistící jednotky, jehož plocha se vypočítá dle vzorce $S_f = \frac{PO \cdot Q_d \cdot k}{hd} [m^2]$, kde PO je počet obyvatel, Q_d je průměrná denní

produkce odpadních vod [$\text{m}^3 \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$], k je součinitel charakterizující místní podmínky (1,0-1,6) a h_d je hydraulické zatížení filtru, tzv. denní nápučná výška [$\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$] (Šálek, a další, 2012). Výpočet: $S_f = \frac{70 \cdot 0.00643 \cdot 1}{0,15} = 3 \text{ [m}^2\text{]}$ (Šálek et al., 2012). Z tohoto údaje pak bylo možné vyjít při výběru konkrétního typu filtru.

- 2) Nejvhodnější umístění filtru je na nejnižším místě v tábořišti, aby bylo dosaženo potřebného spádu.
- 3) Díky celé řadě jednání se nakonec podařilo sehnat formou sponzorského daru materiál jak na samotný filtr dodaný přímo od výrobce, na spojovací materiál a systém odvodnění sprchy, tak i na náplň filtru v podobě štěrku potřebné frakce 16/32, se kterou vypomohl obecní kamenolom a filtračního písku hrubosti 2/4.
- 4) V rámci zjednodušení transportu se co nejvíce provozů přesune blíže k filtru, kde je možno připojit odpadní potrubí, zbylé odpadní vody se k filtru přenesou v kýblech (např. z mytí rukou v táborové kuchyni).
- 5) Realizace řešení si vyžádá 5-6 plně pracovních víkendů.
- 6) Při realizaci půdního filtru zůstanou po deinstalaci všech okolních součástí po skončení provozu pouze odvětrávací a revizní šachta, tyto pak děti mohou ozdobit, popř. zamaskovat tak, aby nerušily les v pozadí.
- 7) Úzce souvisí s předchozím bodem, veškeré vedení bude buď pod zemí, nebo odmontovatelné.
- 8) Dle platné legislativy zákon neukládá v rámci nakládání s odpadními vodami provozovateli letního dětského tábora bez pevné stavby žádné povinnosti, realizace takového řešení je čistě dobrovolná a přírodě prospěšná.
- 9) Vzhledem k dlouhodobému pronájmu pozemku může filtr v případě správné instalace sloužit řadu let a v případě potřeby i samotnému majiteli ku prospěchu.
- 10) Při vynaložení dostatečného úsilí ve formě tvrdé manuální práce se to do začátku tábora stihnout dá.

Nejvíce limitujícím faktorem při výběru vhodné varianty se ukázala nepřítomnost zdroje elektrické energie a nedostatečný sklon terénu. Vyloučeny musely být také varianty s nutností vyvážení a mechanického odčerpávání vzhledem k nezpevněné cestě vedoucí k uvažovanému místu. Po zodpovězení všech otázek padla konečná volba na přírodní způsob čištění vod, konkrétně na půdní filtr, resp. zemní pískový filtr. A to i přes to, že jsou tyto filtry citlivé na zanášení a je nutné u nich minimalizovat možnost vyplavování kalu do filtru. Proto jako předstupeň pro zemní filtr byla zvolena

odkalovací nádoba dle vlastního návrhu na bázi jednokomorového septiku, do které byly svedeny odpadní vody jak z mytí nádobí, tak ze sprchy, čištění zubů a mytí rukou.

Tento typ je vhodný pro přerušovaný provoz, např. rekreační objekty s přerušovaným provozem, bez možnosti zdroje elektrické energie. Po volbě nejvhodnějšího řešení následovala samotná realizace, která se skládala ze tří hlavních částí: realizace vybraného typu filtru, realizace systému odvodnění sprchy a napojení ostatních provozů.

3.3.1 Realizace zemního pískového filtru

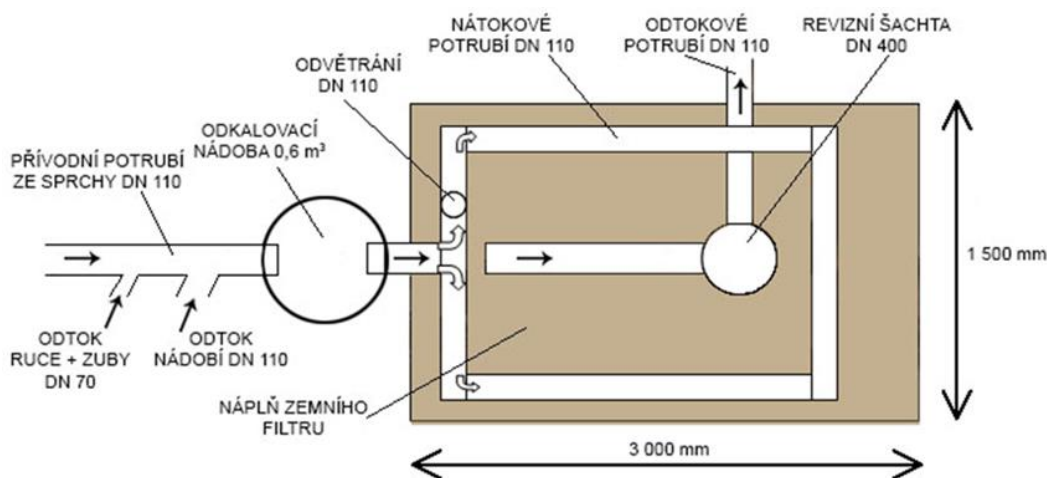
Samotná realizace vybraného typu řešení spočívala nejprve v provedení potřebných zemních úprav a výkopových prací. To se vzhledem k terénu a podloží ukázalo jako úkol velice nesnadný. Původně plánovaná varianta zemního filtru formou jámy vyložené svařovanou jezírkovou fólií vzala vzhledem k ostrým kamenům a z obavy z protržení za své.

Po přislíbení sponzorského daru ve formě již hotového pískového zemního filtru tak byly rozměry jámy bez jakékoliv mechanizace upraveny na finální rozměr 3200 x 1700 x 1300 mm pro filtr o rozměrech 3000 x 1500 x 1200 mm tak, aby bylo možné provézt potřebný obsyp prosátou zeminou a štěrkem. Pro pevné usazení filtru v rovině bylo dále na dně jámy připraveno lože z drobného štěrku a písku. Vyhloubeny byly rovněž dvě další jámy. Jedna pro odtok z filtru, druhá pro usazovací (odkalovací) nádobu. Jáma pro filtr se následně vyložila geotextilií gramáže 400 g/m².

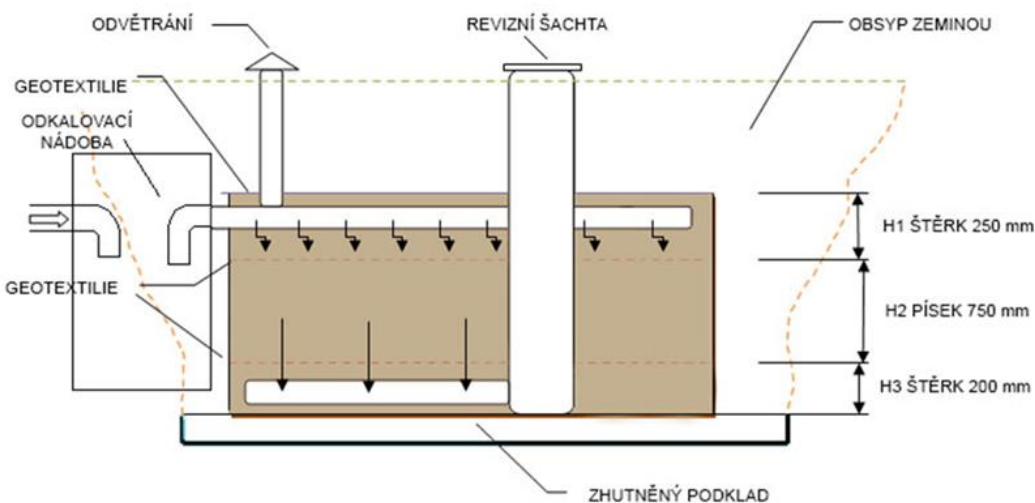
Po usazení prefabrikovaného korpusu filtru následovalo dopojení odpadních rour a dosypání filtrační náplně ve složení 25 cm štěrku frakce 16/32 kolem sběrného potrubí u dna filtru, 75 cm písku zrnitosti 2/4 a 20 cm štěrku 16/32 kolem perforovaného potrubí pro rovnoměrné rozvedení odpadní vody ve filtru. Celkový objem náplně při daných rozměrech filtru činí 5,4 m³, z toho přes 2 m³ štěrku a téměř 3,4 m³ písku, v přepočtu téměř 10 tun materiálu. Postupně s plněním jednotlivých filtračních vrstev bylo nutné zároveň i obsypávat okolí filtru drobným štěrkem, pískem a později hlínou, aby nedošlo k deformaci korpusu filtru. Vrchní vrstva štěrku se opět přikryla geotextilií a cca 40 cm zeminy.

Filtr splňuje požadavky dle normy ČSN 75 0905 na vodotěsnost vodárenských a kanalizačních nádrží a výrobce deklaruje v „Prohlášení o shodě“ splnění základních požadavků dle nařízení vlády č. 163/2002 Sb. ve znění NV č. 312/2005 Sb. účinnost

čištění dle normy ČSN 73 6708 (Biowa, 2014). Následná schémata na Obrázcích 14 a 15 zachycují napojení jednotlivých částí řešení.



Obrázek 14: Schéma zapojení experimentálního zemního pískového filtru.



Obrázek 15: Řez zapojím experimentálního zemního pískového filtru.

Následující Obrázek 16 rámuje průběh realizace filtru, fotodokumentace kompletního postupu je uvedena v Příloze 1 (kapitola 7.1), stejně jako následné usazení a napojení odkalovací nádoby, dopojení odtoků z koryta mytí rukou, čištění zubů a dopojení mycího pultu.



Obrázek 16: Realizace experimentálního zemního pískového filtru, vlevo výkopové práce před usazením filtru, vpravo finální úprava po usazení.

3.3.2 Realizace odvodnění sprchy

Táborovou sprchu dřevěné obvodové konstrukce bylo nutné nejprve prohloubit, původní lože pro drenážní systém odstranit a následně vše pečlivě vyspádovat pomocí vrstvy kamenů, štěrku a prosáté hlíny. Jemná modelace terénu byla provedena pískem. Na takto připravený podklad pak přišla geotextilie a následně jezírková fólie, kterou bylo nutno povytáhnout min. 40 cm nahoru po obvodu a přichytit, aby se voda při sprchování nedostávala za ni a nezpůsobila tlení dřeva. Do ní byl vyříznut otvor a pomocí speciálního lepidla a manžety vlepeno odpadní potrubí DN 110 zaústěné do odkalovací nádoby. Následovala opět geotextilie proti poškození fólie a štěrk frakce 16/32, který slouží jednak k zachytávání nečistot, které by mohly skrz rošt propadnout a ucpat odpadní potrubí, jednak k rozložení množství odtoku vody ze sprchování v čase při plném využití táborové sprchy. Na závěr byla tato „vana“ přiklopena dřevěným pochozím roštem z teakového dřeva, který tvoří finální pochozí úpravu.

3.3.3 Napojení ostatních provozů

Na odkalovací nádobu byly pomocí spojovacího potrubí z materiálu HTB napojeny i ostatní provozy – koryto na čištění zubů spojené s výlevkou na vody z mytí rukou a zejména pak pult na mytí nádobí, který byl vyroben rozříznutím sudu a vsazením obou půlek (na mytí a oplach nádobí) do dřevěných konstrukcí s připojením sifonu (aby bylo možné použít špunt) a odpadního potrubí, které je dle potřeby demontovatelné.

3.4 Monitoring účinnosti

3.4.1 Odběr vzorků

Pro odebrání vzorků během provozu letního dětského tábora byly stanoveny tyto provozy: voda z mytí rukou u jídelny (vzorky odebrány z kýble zachycujícího tekoucí vodu z kanystru s kohoutkem), voda ze sprchy (při sprchování byla umístěna odběrná kádinka pod podlahu skrz kterou voda protékala), voda z mytí nádobí (vzorky odebrány přímo z napuštěných dřezů s použitou vodou, před oplachem) a voda z odtoku filtru (používána revizní šachta zemního pískového filtru a kádinka na šňůře).

Vzorky byly odebrány v termínu 30. 6. - 13. 7. 2019. Průměrná teplota v měřeném období byla 18,6 °C, o 1,9 °C nad dlouhodobým normálem. Srážkově bylo období pod dlouhodobým normálem (ČHMÚ, 2019).

Aby veškeré odběry a měření probíhaly za stejných podmínek, byl vypracován následující jednoduchý návod:

1) Před každým odběrem vzorku popsat fixou zkumavku – označit vzorek číslem, pro jistotu ještě nalepit štítek z lepenky – psát na ni obyčejnou tužkou.

2) Pro každé místo odběru připravit 2 zkumavky.

3) Označené zkumavky vypláchnout čistou vodou a následně malým množstvím odebraného vzorku a pak teprve do nich vzorek odebrat (nechat 10 % objemu zkumavky volného kvůli roztažnosti při zamrazení).

4) Vzhledem k časovým důvodům změřit pH, vodivost a kyslík pouze u několika kontrolních vzorků, zapsat do tabulky.

5) Zkumavky se vzorky uložit do chladicího boxu a následně do mrazáku, převoz vzorků do laboratoře pak zajistit v chladícím boxu.

Celkem bylo odebráno 36 vzorků v období mezi 30. červnem a 13. červencem 2019, celkem 4x za tábor rovněž proběhlo měření pH, elektrické konduktivity a

rozpuštěného kyslíku přímo z odebíraných vzorků na místě přenosným multimetrem Hach Lange s vyměnitelnými sondami.

Na mytí nádobí byly vždy použity výrobky, k jejichž složení byla vždy výrobcem uvedena poznámka „složeno výhradně ze snadno biologicky odbouratelných a netoxických surovin, které mají minimální dopad na životní prostředí.“ Na mytí rukou byly připraveny lahvičky s běžným tekutým mýdlem. Na sprchování se žádné omezení, co se týká výrobků, nevztahovalo, každý používal svůj vlastní.

Jako další test vody z odběrných míst byl zvolen test klíčivosti, který byl tentokrát v rámci edukační činnosti prováděn s dobrovolníky z řad táborových dětí. Opět byl prováděn dle předem stanoveného návodu:

- 1) Připravit si a označit 10 ks plastových Petriho misek pro každý vzorek vody zvlášť (ruce, nádobí, sprcha, odtok).
- 2) Nastříhat kolečka filtračního papíru a vložit do čistých Petriho misek.
- 3) Navlhčit filtrační papír šedou vodou (max. 10ml – zaznamenat použitý objem).
- 4) Do každé Petriho misky vložit 10 semínek salátu.
- 5) Každý den kontrolovat, že je filtrační papír vlhký, pokud vysychá, tak opět navlhčit šedou vodou z konkrétního daného zdroje a zapsat přidané množství.
- 6) Než začnou semínka klíčit, nechat mističky překryté filtračním papírem, následně odkrýt.
- 7) Každý den zaznamenávat do tabulky kolik semínek vyklíčilo.
- 8) Na konci testu klíčivosti změřit pravítkem délku kořínku a klíčku (stonek, listy), zapsat do tabulek pro každé semínko a mističku zvlášť (výsledek experimentu v podání dětí je vidět na Obrázku 17).



Obrázek 17: Příprava k měření rostlin během testu klíčivosti.

Veškeré výsledky byly dětmi průběžně zapisovány do připravených tabulek a následně zpracovány do jedné, souhrnné tabulky. I přes občasné nesnáze malých laborantů je možné jejich výsledky interpretovat jako relevantní.

3.4.2 Laboratorní zpracování vzorků

Laboratorní zpracování zmražených vzorků proběhlo v hydrochemické laboratoři Katedry aplikované ekologie na FŽP do 14 dnů od skončení tábora. Při zkoumání vzorků byly použity přístroje FORMACS SKALAR + autosampler LAS-160 FORMACS SKALAR pro analýzu organického dusíku a uhlíku, iontový chromatograf 883 Basic IC plus METROHM, spektrofotometr HACH Lange DR 3900 a termostat HACH DRB 200. Odebrané vzorky byly přefiltrovány přes 22 µm membránu do jiné zkumavky, následně pomocí destilované vody upraveny na roztok 1:5 (1 díl vzorku, 4 díly vody). Naředěné vzorky pak byly přelity do plastových zkumavek pro chromatograf a skleněných zkumavek pro stanovení organického dusíku a uhlíku.

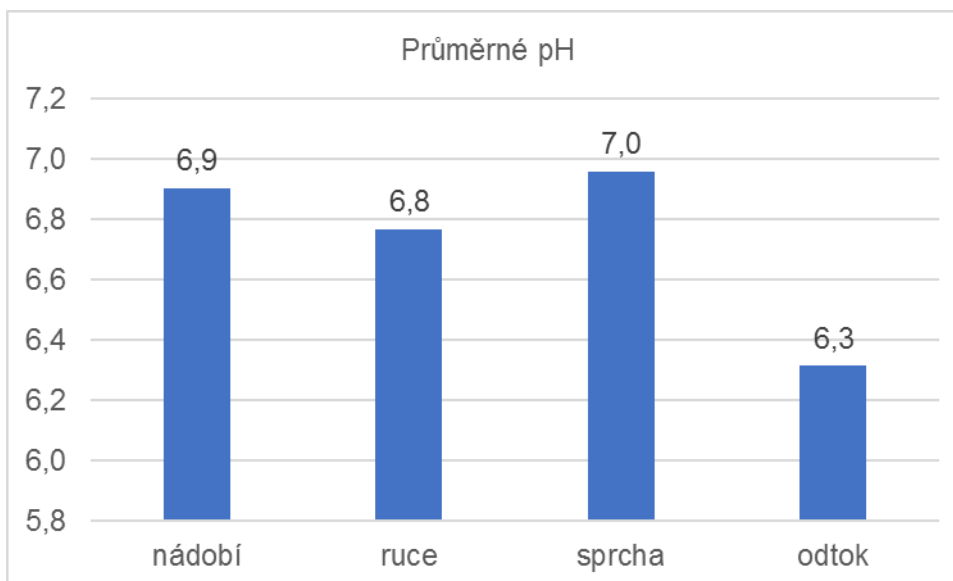
Následoval kyvetový test Hach LCK 433 s rozsahem měření 6-200 mg/l na tenzidy, neiontové saponáty (povrchově aktivní látky). Původní vzorek v množství 0,2 ml byl přidán do kyvety, řádně promíchán, následovalo odstátí a změření ve spektrofotometru.

Druhým kyvetovým testem byl Hach LCI 400 s rozsahem měření 0-1000 mg/l na CHSK - chemickou spotřebu kyslíku, kdy se 2 ml původního vzorku přidaly do kyvety, smíchaly s předpřipravenými chemikáliemi a následně se kyveta vložila do termostatu na 148°C a poté byla změřena ve spektrofotometru.

Veškerá laboratorní měření probíhala stejným způsobem a za totožných podmínek u všech 36 odebraných vzorků.

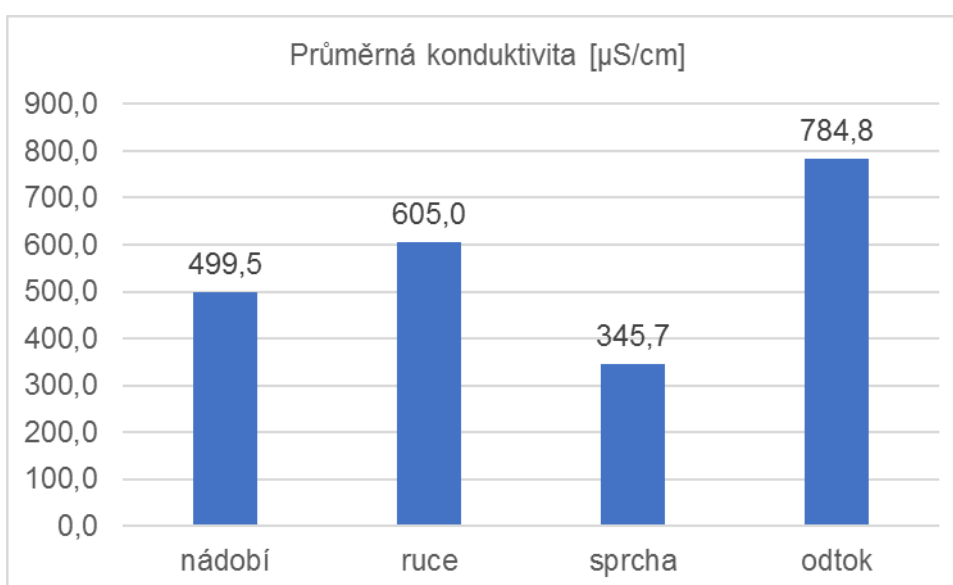
4. Výsledky

Následující grafy jsou výsledkem průměrných hodnot ze všech vzorků naměřených jak přímo na místě přenosným multimetrem s vyměnitelnými sondami, tak testu klíčivosti, na kterém se zábavnou formou podílely děti během celého tábora. Další měření zmražených vzorků pak probíhala ihned po skončení tábora v laboratorních podmínkách.

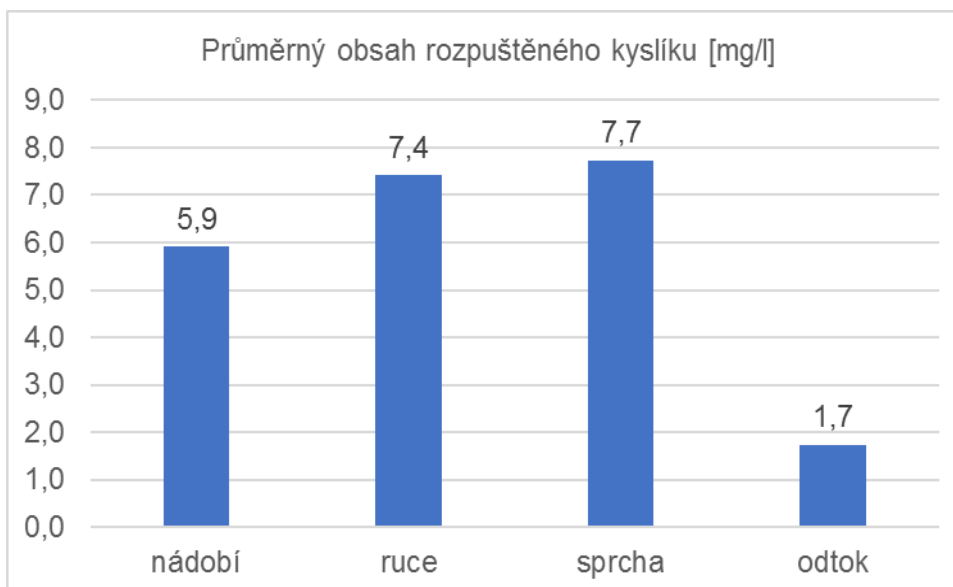


Obrázek 18: Průměrná hodnota pH vzorků vody odebraných z mytí nádobí, rukou, sprchy a na odtoku ze zemního filtru.

Nejnižší průměrná hodnota pH (Obrázek 18) byla během tábora naměřena u odtoku, naopak nejvyšší pH pak u odebraných vzorků při sprchování. Obě krajní hodnoty se pohybují kolem optimálního neutrálního rozmezí 6 až 8. Konduktivita (měrná vodivost) je přibližná míra koncentrace elektrolytů (iontově rozpuštěných látek) ve vodě. Nepřímo tak vyjadřuje obsah minerálních látek. Nejvyšších průměrných hodnot dosáhla voda na odtoku, nejnižších pak voda ze sprchování, jak ukazuje Obrázek 19. Při přepočtu na mg/l dosáhla průměrná hodnota rozpuštěných látek na odtoku přibližně hodnoty 628 mg/l.



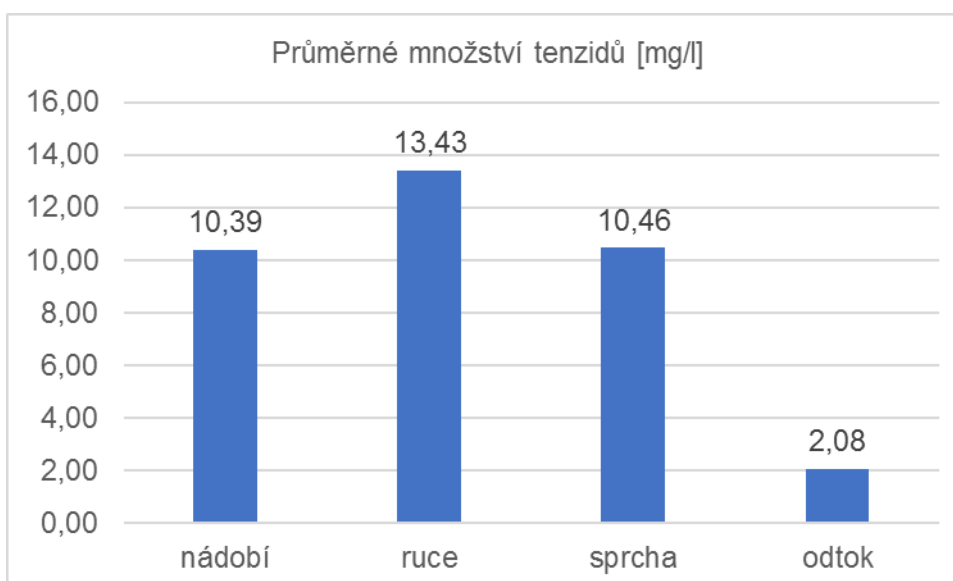
Obrázek 19: Průměrná hodnota konduktivity vzorků vody odebraných z mytí nádobí, rukou, sprchy a na odtoku ze zemního filtru.



Obrázek 20: Průměrná hodnota obsahu rozpuštěného kyslíku vzorků vody odebraných z mytí nádobí, rukou, sprchy a na odtoku ze zemního filtru.

Obsah rozpuštěného kyslíku (Obrázek 20) je na odtoku výrazně nižší než u ostatních třech měřených provozů.

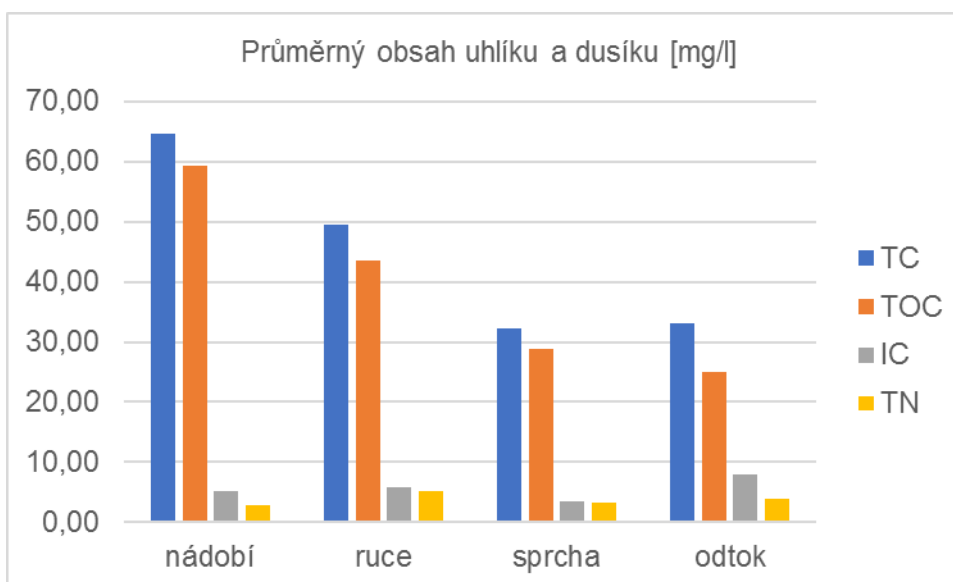
Průměrné množství tenzidů (povrchově aktivních látek), které snižují povrchové napětí, je u vzorků vody odebíraných z odtoku mnohem menší. Jak ukazuje Obrázek 21, největší koncentrace tenzidů byla naměřena u vody z mytí rukou, kde se používala jak standardní mýdla, tak někdy i antibakteriální prostředky. Toto měření již probíhalo pomocí kyvetových testů Hach LCK 433 v laboratoři ČZU v Praze.



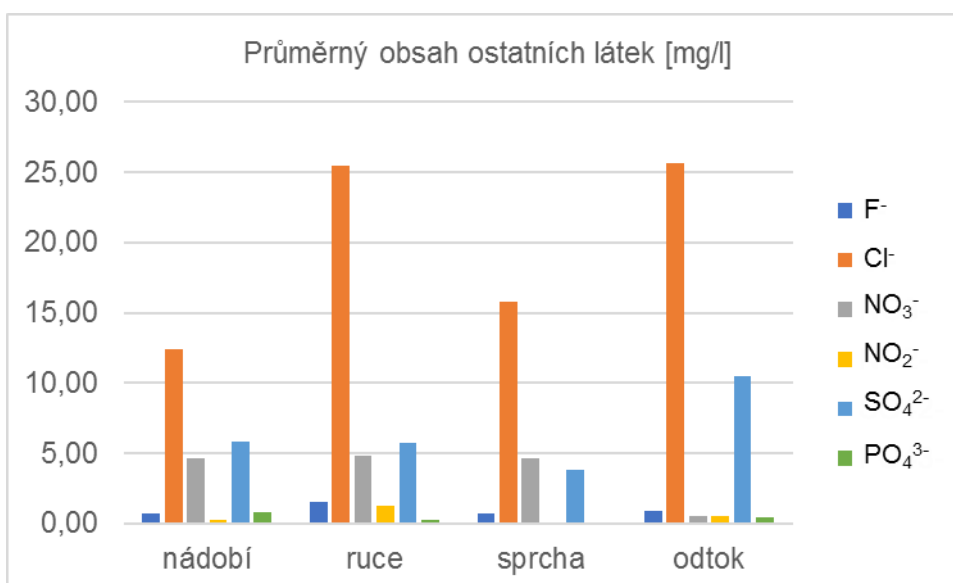
Obrázek 21: Průměrná hodnota obsahu tenzidů vzorků vody odebraných z mytí nádobí, rukou, sprchy a na odtoku ze zemního filtru.

Výsledky z druhého kyvetového testu Hach LCI 400 na CHSK vykazovaly velmi nestandardní hodnoty, i přes několik opakování testů byly z velké části neměřitelné, proto nejsou ve výsledcích zohledněny.

Následující Obrázky 22 a 23 zobrazují průměrné obsahy uhlíku, dusíku a ostatních sledovaných látek.



Obrázek 22: Průměrná hodnota obsahu uhlíku a dusíku vzorků vody odebraných z mytí nádobí, rukou, sprchy a na odtoku ze zemního filtru. TC - total carbon (celkový uhlík), TOC - total organic carbon (celkový organický uhlík), IC (TIC) - inorganic carbon (anorganický uhlík), TN - total nitrite (celkový dusík).



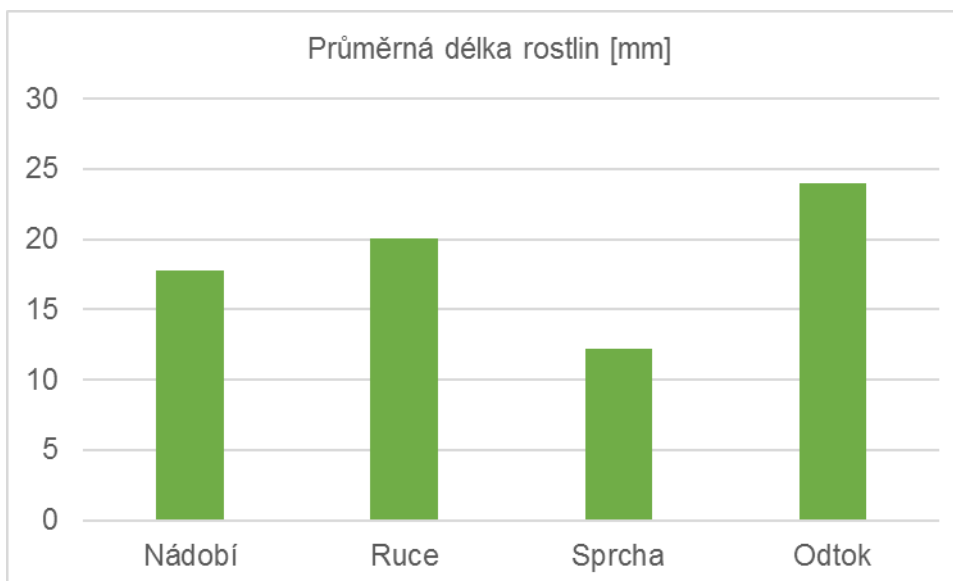
Obrázek 23: Průměrná hodnota obsahu ostatních látek vzorků vody odebraných z mytí nádobí, rukou, sprchy a na odtoku ze zemního filtru.

Sledované parametry	Táborové provozy															
	Nádobí				Ruce				Sprcha				Odtok			
	min	max	P90	ø	min	max	P90	ø	min	max	P90	ø	min	max	P90	ø
pH	6,9	6,9	6,9	6,9	6,4	7,0	6,9	6,8	6,8	7,1	7,0	7,0	5,8	6,5	6,5	6,3
Konduktivita [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	399,0	600,0	579,9	499,5	541,0	684,0	665,2	605,0	294,0	374,0	373,0	345,7	576,0	919,0	892,9	784,8
Rozpuštěný kyslík [mg/l]	5,6	6,2	6,1	5,9	7,1	7,8	7,7	7,4	6,8	8,3	8,3	7,7	1,1	3,2	2,7	1,7
Tenzidy [mg/l]	1,35	35,40	18,66	10,39	5,46	30,50	21,70	13,43	0,12	42,00	31,86	10,46	0,58	5,83	3,21	2,08
TC [mg/l]	14,29	88,22	81,62	64,67	22,14	127,78	66,10	49,43	8,66	109,21	74,33	32,29	16,46	74,51	39,81	33,15
TOC [mg/l]	12,49	83,79	75,52	59,39	17,77	113,29	58,72	43,49	6,36	103,80	69,51	28,78	10,24	60,92	30,51	25,10
IC [mg/l]	1,80	8,59	6,62	5,28	3,04	14,49	6,92	5,94	2,18	5,41	4,82	3,50	2,92	13,59	11,04	8,06
TN [mg/l]	0,61	5,204	4,6037	2,93	1,105	20,594	5,1248	5,21	2,516	5,172	4,4802	3,34	0,808	7,539	7,1366	3,83
F ⁻	n.n.	1,924	1,472	0,75	0,033	5,45	1,9178	1,58	0,053	1,89	1,305	0,71	0,094	3,9	1,3948	0,92
Cl ⁻	3,135	21,421	18,487	12,43	10,374	89,59	27,363	25,46	4,517	50,49	38,03	15,79	12,533	67,425	28,327	25,62
NO ₃ ⁻	0,09	15,435	5,7494	4,60	0,322	20,285	5,3756	4,85	3,287	5,632	5,506	4,68	0,09	3,265	1,2329	0,57
NO ₂ ⁻	0,016	0,917	0,589	0,27	0,027	2,512	2,5072	1,29	0,031	0,031	0,031	0,03	0,55	0,55	n.n.	0,55
SO ₄ ²⁻	3,504	18,865	5,9364	5,80	3,263	19,17	4,7446	5,71	3,105	4,344	4,2048	3,80	4,873	43,635	7,9354	10,44
PO ₄ ³⁻	n.n.	1,782	1,628	0,79	n.n.	0,464	0,4592	0,29	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,047	1,0295	0,46

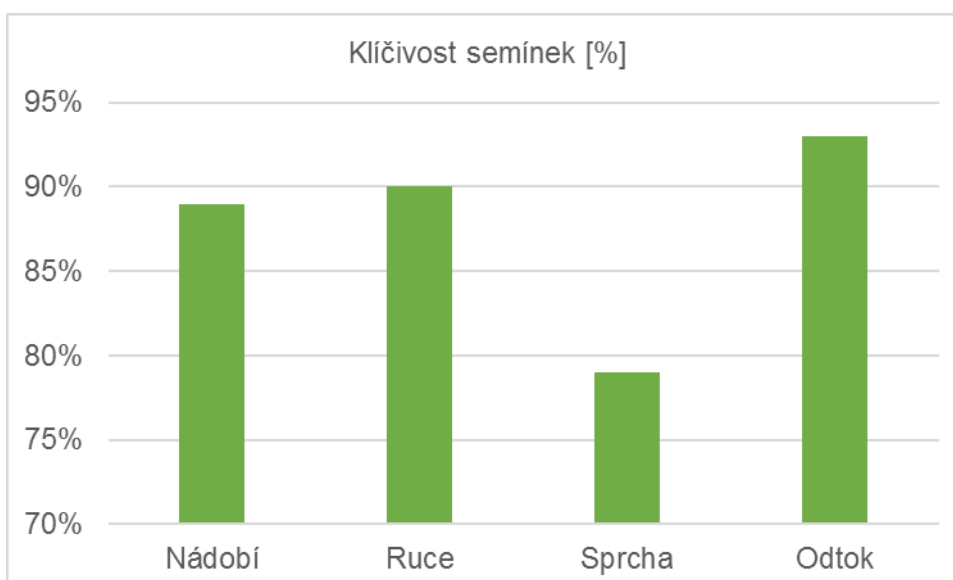
Tabulka 9: Naměřené hodnoty sledovaných parametrů šedé vody z jednotlivých provozů (min = minimální, max = maximální, P90 = 90. percentil, ø = průměr, n.n. = neměřitelná hodnota).

V Tabulce 9 jsou uváděny naměřené hodnoty všech sledovaných parametrů šedé vody z jednotlivých provozů, jejich minimální, maximální a průměrné hodnoty a výpočet 90. percentilu.

Pro vyhodnocení testu klíčivosti bylo vybráno celkem 10 vzorků z původních 12, u dvou se nepodařilo dodržet metodické pokyny. Jak v průměrné délce rostlin, tak v celkovém počtu vyklíčených semínek se první a poslední místo shodovalo, jak ukazují následující obrázky 24 a 25. Nejvyšší procentuální úspěšnosti v klíčivosti semínek a největší délce rostlin vč. kořínků bylo dosaženo při zavlažování pomocí vody z odtoku, nejnižší hodnoty v obou parametrech byly naměřeny při použití vody ze sprchy, kde účastníci tábora používali běžné mycí prostředky.



Obrázek 24: Průměrná délka rostlin vč. kořínků při použití vody na závlahu odebrané z mytí nádobí, rukou, sprchy a na odtoku ze zemního filtru.



Obrázek 25: Procentuální úspěšnost klíčivosti semínek při použití vody na závlahu odebrané z mytí nádobí, rukou, sprchy a na odtoku ze zemního filtru.

5. Diskuze

V rámci experimentální části byla při realizaci zemního pískového filtru snaha dosáhnout na odtoku takové kvality vody, která by se dala použít pro závlahu na místě pěstovaných rostlin, popřípadě jako užitková voda na úklidové práce. Kvalita recyklované šedé vody pro zavlažování je dána aktuálně stále platnou normou ČSN 757143 (Jakost vod. Jakost vody pro závlahu), která upřesňuje kritéria pro povrchové a podzemní vody, popř. jiné vhodně upravené vody, aby mohly být použity

pro závlahu. Dále norma uvádí dělení vod z hlediska doplňkových závlah na tyto tři třídy: I. třída - vody vhodné k závlaze, II. třída - vody podmíněně vhodné k závlaze a III. třída - vody nevhodné k závlaze. Voda I. třídy je použitelná k závlaze všech zemědělských a lesních kultur bez jakéhokoliv omezení (ČSN 75 7143, 1992).

Parametr	Symbol	Jednotka	Limit ČSN 75 7143		
			I. Třída	II. Třída	III. Třída
Barva	-	mg Pt/l	<i>norma nestanovuje</i>		
Zákal	Z	NTU	<i>norma nestanovuje</i>		
Reakce vody	pH	-	5,0 - 8,5	4,5 - 9,0	<4,5 a > 9,0
Vodivost	κ	μS/cm	<i>norma nestanovuje</i>		
Uhlíčitánová tvrdost vody	-	mg/l	<i>norma nestanovuje</i>		
Tvrdost vody	-	°dH	<i>norma nestanovuje</i>		
		mmol/l	<i>norma nestanovuje</i>		
Zbytkový chlor	Cl ₂	mg/l	<i>norma nestanovuje</i>		
Železo	Fe ⁻	mg/l	10	100	> 100
Chloridy	Cl ⁻	mg/l	300	400	> 400
Dusičnany	NO ₃ ⁻	mg/l	<i>norma nestanovuje</i>		
Amonné ionty	NH ₄ ⁺	mg/l	<i>norma nestanovuje</i>		
Sírany	SO ₄ ²⁻	mg/l	250	300	> 300
Karbonátová alkalita, pro pH 4,5 a 8,3	KNK	mmol/l	<i>norma nestanovuje</i>		
Fosfáty	PO ₄ ³⁻	mg/l	<i>norma nestanovuje</i>		
Hořčík	Mg ²⁺	mg/l	<i>norma nestanovuje</i>		
Vápník	Ca ²⁺	mg/l	<i>norma nestanovuje</i>		
Biologická spotřeba kyslíku	BSK	mg/l O ₂	<i>norma nestanovuje</i>		

Tabulka 10: Sledované parametry vody pro doplňkové závlahy dle normy ČSN 75 7143.

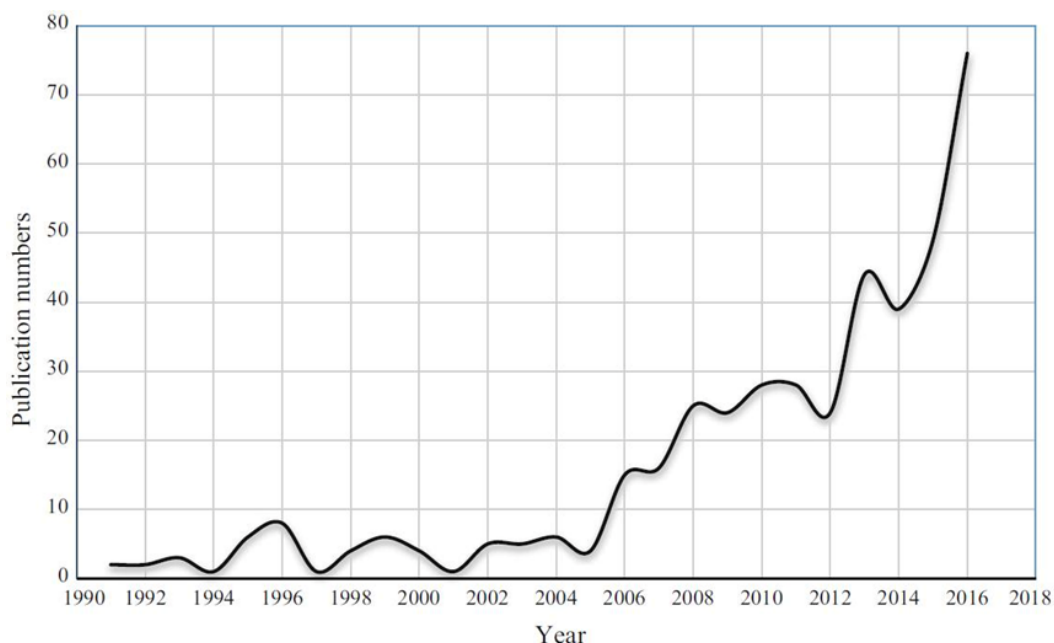
V Tabulce 10 jsou uvedené limitní hodnoty. Při porovnání s laboratorními výsledky u parametrů, které norma stanovuje, je zřejmé, že naměřené výsledky průměrných hodnot sledovaných parametrů na odtoku nepřekročily povolené hodnoty stanové normou pro vody určené pro závlahu, jak ukazuje Tabulka 11. Na základě tohoto srovnání by tedy voda mohla být využita pro účely zavlažování, což potvrdilo smysluplnost celého experimentu i účinnost zemního pískového filtru.

Parametr	jednotky	Hodnota
pH		6,32
Konduktivita	μS/cm	784,8
Rozpuštěný kyslík	mg/l	1,7
Tenzidy	mg/l	2,08
TC	mg/l	33,15
TOC	mg/l	25,1
IC	mg/l	8,06
TN	mg/l	3,83
Fe-	mg/l	0,92
Cl ⁻	mg/l	25,62
NO ₃ ⁻	mg/l	0,57
NO ₂ ⁻	mg/l	0,55
SO ₄ ²⁻	mg/l	10,44
PO ₄ ³⁻	mg/l	0,46

Tabulka 11: Průměrná hodnota sledovaných parametrů na odtoku.

Realizované řešení určitě není žádným krokem zpět, ba naopak. Zemní filtr přinesl řadu dalších, původně neplánovaných, zlepšení v rámci táborového života. Vzhledem ke svému umístění pod zemí mnohonásobně ubylo výskytu vos v okolí, které využívaly původní vsakovací jámu jako zdroj potravy díky zbytkům při mytí nádobí i jako zdroj vody, když v horkých měsících žádný další v okolí nebyl. Takřka vymizel zápach, který byl dříve obzvláště v horkých letních dnech patrný na metry daleko. Tedy z hygienického hlediska nastalo bezesporu zlepšení po všech stránkách. Pokud by se však porovnávala realizace z hlediska ekonomického, v tomto typu provozu samozřejmě k žádným větším úsporám nedojde. Na druhou stranu, což bylo zmíněno již na začátku, tu zůstal velmi dobrý pocit, že pro zlepšení životního prostředí byl učiněn jednoznačně dobrý krok. Nejen při samotné realizaci, ale i díky následnému edukačnímu představení funkčnosti celého systému dětem, bylo dokázáno, že i na taková specifická místa, jakým bezesporu letní dětský tábor bez elektřiny je, tato řešení patří. Bylo by určitě zajímavé sledovat jednotlivá měření i v delším časovém horizontu, než jen v termínu jednoho letního dětského tábora.

Co se týká závěrů z rešeršní části, je neoddiskutovatelným faktem, že se problematice šedých vod věnuje čím dál větší pozornost, o čemž svědčí i celosvětově rostoucí množství odborných publikací na dané téma, např. jak ukazuje Obrázek 26.



Obrázek 26: Distribuce 426 publikací o šedé vodě v období mezi lety 1991 až 2016 od vydavatelství Elsevier, Springer a Wiley (Al-Gheethi et al.,2019).

Na druhou stranu je potřeba říct, že co se týká ČR, často se v odborných publikacích a člancích opakují stejné citace, co vlastně šedá voda je a na co se využívá, ale již méně jich přináší nějaké výsledky z konkrétních realizovaných projektů. To by se do budoucna však mělo změnit, protože i velké developerské firmy si již najímají odborníky, aby řešili problematiku šedých vod v rámci přípravy svých projektů. Další skupinou, která jednoznačně posouvá využívání šedých vod kupředu, jsou technologické firmy vyrábějící stále větší množství výrobků na čištění odpadních, potažmo šedých vod. Stále se zdokonalující technologie a snaha o „user friendly“ a „all-in-one“ výrobky by mohla přinést spolu s dostatečnou osvětou a samozřejmě správnou legislativní oporou jejich rozšíření v rámci decentralizovaných systémů nakládání s odpadními vodami. V současné době již existují membránové technologie, které dokážou udělat ze splaškové vody vodu pitnou. Je tak snad již jen otázkou času, kdy tyto technologie čeká masivnější rozšíření, a to zejména do oblastí, které nedostatkem vody trpí nejvíce.

6. Závěr

Téma znovuvyužití šedých vod je velmi aktuální a do budoucna skýtá obrovské možnosti uplatnění. A to jak pro oblasti již nyní kriticky zasažené suchem, tak i regiony, kde je zatím vody relativně dostatek, ale postupující trend i na nich ukazuje, že šetření s vodními zdroji by mělo být jednou z priorit celého lidstva. Pokud by se

v budoucnu podařilo již teď odzkoušené technologie na čištění odpadních, tedy potažmo i šedých vod zlevnit a rozšířit všude tam, kde to bude potřeba (vč. rozvojových zemí), naskytla by se příležitost lépe využívat dostupné vodní zdroje v oblastech postižených jejich nedostatkem a tím zlepšovat celkovou životní úroveň tamního obyvatelstva. Bylo by pak otázkou, jestli zmenšování nedostatku vody by pak nemělo nějaký dopad třeba na migraci obyvatel z nejvíce postižených regionů, na některé válečné konflikty vyvolané nedostatkem vody, potažmo jídlem. Dle údajů o spotřebě tzv. virtuální vody (nepřímé vodní stopy) je například na 1 l mléka potřeba 1000 l vody, na vypěstování 1 jablka 70 l vody, na 1 kg brambor 500 l vody, na 1 kg pšenice 1 300 l vody a na 1 kg hovězího masa dokonce 15 000 l vody (Froehlich, 2018). Některé z těchto potřeb by tedy dostatečně hygienicky upravená šedá voda mohla částečně pokrýt.

V rámci decentralizovaného systému a při rozumných finančních nákladech (i za přispění nejrůznějších forem dotace) se již v celé řadě projektů mohou promítnout realizace používající šedou vodu, ať už z nich využívají odpadní teplo, nebo ji opětovně používají po náležitém vyčištění a hygienizaci pro další účely jako užitkovou vodu (splachování toalet, zavlažování, úklidové práce, zasakování a doplňování podzemních vod apod.). Všemi těmito kroky se optimalizuje využívání přírodních zdrojů a tím zlepšuje i vztah k životnímu prostředí. Realizace projektu zemního pískového filtru v rámci experimentální části ukázala, že na opětovné využití šedých vod se nemusí hledět jen z hlediska ekonomického, ale i morálního, jak každý sám může svůj vztah vůči přírodě zlepšit.

7. Přehled literatury a použitých zdrojů

7.1 Literární zdroje

Al-Gheethi A., Noman E. A., Radin Mohamed R., Bala J., Mohd Kassim A. H., 2019: Qualitative Characterization of Household Greywater in Developing Countries: A Comprehensive Review. Water Science and Technology Library 87. P. 1-31.

Bartoník A., Holba M., Plotěný K., Palčík J., 2012: Znovuvyužití šedých a dešťových vod v budovách. Pitná voda 2012. W&ET Team, České Budějovice. S. 315-320.

Bartoník A., Holba M., Plotěný K., Vrána J., Ošlejšková M., 2012: Šedé vody – možnosti využití jejich energetického potenciálu a způsoby jejich čištění a znovuvyužití. Vodárenská biologie 2012. Vodní zdroje Ekomonitor, s.r.o., Chrudim. S. 46-51.

Biela R., 2012: Šedé vody, jejich kvalita a možnost využití. SOVAK Časopis oboru vodovodů a kanalizací 2. S. 11-13.

Calderón-Preciado D., Jiménezz-Cartagena C., Matamoros V., Bayona, J. M., 2010: Screening of 47 organic microcontaminants in agricultural irrigation waters and their soil loading. Water Research 45. P. 221-231.

De Gisi S., Casella P., Notarnicola M., 2017: Grey Water. Encyclopedia of Sustainable Technologies 4. Elsevier Inc., Amsterdam. P. 77-89.

De Gissi S., Casella P., Cellamare C. M., Ferrarris M., Petta L., Notarnicola M., 2017: Wastewater Reuse. Encyclopedia of Sustainable Technologies 4. Elsevier Inc., Amsterdam. P. 53-67.

Froehlich A., 2018: Post 2030 - Agenda and the Role of Space. European Space Policy Institute. Springer International Publishing AG, Vienna. 127 s.

Gross A., Maimon A., Alfiya Y., Friedler E., 2015: Greywater Reuse. Taylor & Francis Group LCC, Boca Raton. 301 s.

Komínková D., 2015: Poster DESAR - decentralizované nakládání s odpadními vodami a jejich zpětné využití. Součást projektu OPPA "Modernizace výuky udržitelného hospodaření s vodou a půdou v rámci rozvíjejících se oborů bakalářského studia" č.CZ.2.17/3.1.00/36149. 1 s.

Morel A. et Diener S., 2006: Greywater Management in Low and Middle-Income Countries. EAWAG Sandec, Dübendorf. 107 s.

Ramprasad C., Smith C. S., Memon F. A., Philip L., 2017: Removal of chemical and microbial contaminants from greywater using a novel constructed wetland: GROW. *Ecological Engineering* 106. P. 55-65.

Reddy D. H., 2017: Water Pollution Control Technologies. *Encyclopedia of Sustainable Technologies* 4. Elsevier Inc., Amsterdam. P. 3-22.

Santos C., Taveira-Pinto F., Cheng, C., Leite D., 2011: Development of an experimental system for greywater reuse. *Desalination* 285. P. 301-305.

Seybold C. et Brunk M. F., 2013: In-house Waste Water Heat Recovery. *The REHVA European HVAC Journal* 06. P. 18-21.

Siegel S. M., 2016: Budiž voda: izraelská inspirace pro svět ohrožený nedostatkem vody. Aligier s.r.o., Praha. 382 s.

Šálek J., Kriška M., Pírek O., Plotěný K., Rozkošný M., Žáková Z., 2012: Voda v domě a na chatě. Grada Publishing, a.s., Praha. 144 s.

Šálek J., Žáková Z., Hrnčíř P., 2008: Přírodní čištění a využívání vody. Era group spol.s.r.o., Brno. 124 s.

Zehnsdorf A., Willebrand K. C., Trabitzsch R., Knechtel S., Blumberg M., Müller, R. A., 2019: Wetland Roofs as an Attractive Option for Decentralized Water Management and Air Conditioning Enhancement in Growing Cities—A Review. *Water* 11. MDPI, Basel. P. 1-16.

7.2 Internetové zdroje

ASIO, spol. s r.o., 2020: Energie šedých vod (online) [cit. 2020.03.31], dostupné z <<https://www.asio.cz/cz/energie-sedych-vod>>.

Beránková M., 2016: Odpadní voda – odpad nebo poklad? (online) [cit. 2020.03.31], dostupné z <<https://www.vtei.cz/2016/04/odpadni-voda-odpad-nebo-poklad>>.

Beránková M., Vološinová D., Stejskalová L., Čejková A., 2017: V ČR se začalo využívání tzv. šedých vod skloňovat ve všech pádech (online) [cit. 2020.03.31], dostupné z <<https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/16101-v-cr-se-zacalo-vyuzivani-tzv-sedych-vod-sklonovat-ve-vsech-padech>>.

BIOWA s. r. o., 2014: Zemní filtr pískový (online) [cit. 2020.03.31], dostupné z <<https://biowa.cz/filtry/piskove-filtry/>>.

Carlsbad Desalination Plant, 2017: We make fresh, safe, clean drinking water from the Pacific Ocean (online) [cit. 2020.03.31], dostupné z <<https://www.carlsbaddesal.com/what-we-do.html>>.

ČHMÚ, 2019: Český hydrometeorologický úřad: Územní srážky (online) [cit. 2020.03.31], dostupné z <<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky#>>.

ČÚZK, 2020: Český úřad zeměměřický a katastrální: Nahlížení do katastru nemovitostí (online) [cit. 2020.03.31], dostupné z <<https://nahlizeniidokn.cuzk.cz/VyberKatastrMapa.aspx>>.

Ekolist.cz, 2010: „Zelený“ hotel Mosaic House samotné hosty k šetrnosti nenutí (online) [cit. 2020.03.31], dostupné z <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/zeleny-hotel-mosaic-house-samotne-hosty-k-ekologii-nenuti?sel_ids=1&ids%5Bx2d3a6467108341d51f353f728b620c25%5D=1>.

Facility Manager, 2018: Šedá voda je docela čistá (online) [cit. 2020.03.31], dostupné z <<http://www.facilitymanager.cz/aktuality/seda-voda-je-docela-cista/>>.

Lhotáková Z., 2014: Zpětné využívání odpadních vod v domech pro bydlení (online) [cit. 2020.03.31], dostupné z <<https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/11202-zpetne-vyuzivani-odpadnich-vod-v-domech-pro-bydleni>>.

Ministerstvo zahraničních věcí státu Izrael, 2020: Israel Izrael: Světová velmoc v hospodaření s vodou a vodohospodářských technologiích (online) [cit. 2020.03.31], dostupné z <https://embassies.gov.il/Praha/NewsAndEvents/Documents/Israel-GlobalLeaderinWaterTech_HR_TB_210x210_cmyk_cz_FINAL_nahled.pdf>.

Plotěný K., 2017: Decentrál, stále nechtěné dítě (online) [cit. 2020.03.31], dostupné z <<https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/16151-decentral-stale-nechtene-dite>>.

Plotěný K., 2019: Recyklace šedých vod a jejich využití (online) [cit. 2020.03.31], dostupné z <<https://www.asio.cz/cz/999.recyklace-sedych-vod-a-jejich-vyuziti>>.

Pražské vodovody a kanalizace, 2020: Pražské vodovody a kanalizace: Spotřeba vody (online) [cit. 2020.03.31], dostupné z <<https://www.pvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/>>.

SČVK, 2019: Severočeské vodovody a kanalizace: Spotřeba vody (online) [cit. 2020.03.31], dostupné z <<https://www.scvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/>>.

SKANSKA a.s., 2019: Den Země: Skanska přispívá k ochraně přírody - Využití zelené energie na stavbách a provozovnách Skanska (online) [cit. 2020.03.31], dostupné z <<https://services.files.skanska.com/file/download/ea04052d-0541-4752-83bd-d3d0939e0569.2>>.

Vodárenství, 2009: Nejvíce vody spotřebují v USA, nejvíce zaplatí v Dánsku (online) [cit. 2020.03.31], dostupné z <<http://www.ovodarenstvi.cz/clanky/nejvice-vody-spotrebuji-v-usa-nejvice-zaplati-v-dansku>>.

World Economic Forum, 2020: The Global Risks Report 2020 (online) [cit. 2020.03.31], dostupné z <<https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2020>>.

WHO, 2020: World Health Organisation: Drinking-water (online) [cit. 2020.03.31], dostupné z <<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>>.

7.3 Legislativní zdroje

British Standards BS 8525-1, 2010: BS 8525-1:2010 Greywater systems – Part 1: Code of practice. UK: BSI.

British Standards BS 8525-2, 2011: BS 8525-2:2011 Greywater systems - Part 2: Domestic greywater treatment equipment - requirements and test methods. UK: BSI.

California Plumbing Code, 2016: Chapter 15: Alternate Water Sources For Nonpotable Applications. US. California. P. 307-316.

ČSN 75 0905, 2014: ČSN 75 0905 Zkoušky vodotěsnosti vodárenských a kanalizačních nádrží. Česká republika.

ČSN 75 7143, 1992: ČSN 75 7143 Jakost vod. Jakost vody pro závlahu. Česká republika.

ČSN EN 16941-1, 2018: ČSN EN 16941-1 Zařízení pro využití nepitné vody na místě - Část 1: Zařízení pro využití srážkových vod. Česká republika.

prEN 16941-2, 2017: prEN 16941-2 On-site non-potable water systems - Part 2: Systems for the use of treated greywater. EU.

8. Příloha - Fotodokumentace

8.1 Realizace experimentálního řešení krok za krokem



Obrázek 27: Vsakovací jáma - původní stav.



Obrázek 28: Výkopové práce.



Obrázek 29: Výkopové práce, v pozadí odtoková jáma, vlevo táborová sprcha.



Obrázek 30: Prosévání zeminy, navážka náplně filtru.



Obrázek 31: Usazení filtru, první vrstva štěrku.



Obrázek 32: Geotextilní kryt před pískovou náplní.



Obrázek 33: Kompletace pískové náplně.



Obrázek 34: Geotextilní kryt před finální vrstvou šterku.



Obrázek 35: Poslední vrstva šterku, průběžně probíhající obsyp prosátou zeminou.



Obrázek 36: Instalace odvěšovacího potrubí, finální vrstva geotextílie.



Obrázek 37: Úprava okolního terénu.



Obrázek 38: Instalace odkalovací nádoby.



Obrázek 39: Odkalovací nádoba - umístění nátoky a odtoku.



Obrázek 40: Koryto na čištění zubů a výlevka na mytí rukou.



Obrázek 41: Realizace pultů na mytí nádobí.



Obrázek 42: Napojení všech provozů zemního filtru.



Obrázek 43: Ukázka drenáže pro odvodnění vody ze střechy.



Obrázek 44: Příprava podkladu odvodnění táborové sprchy.



Obrázek 45: Vyspádování podkladu pro odvodnění sprchy.



Obrázek 46: Instalace geotextilie proti poškození fólie.



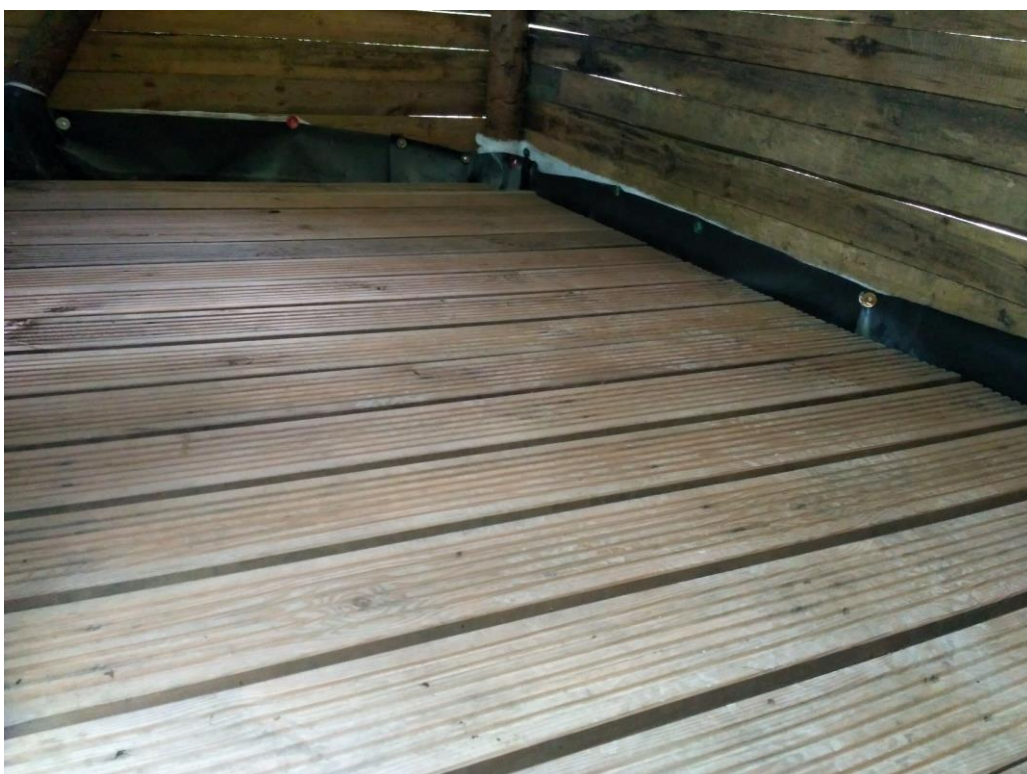
Obrázek 47: Instalace jezírkové fólie.



Obrázek 48: Překrytí jezírkové fólie ochranou geotextílií.



Obrázek 49: Zarovnání vrstvy štěrku.



Obrázek 50: Finální úprava táborové sprchy instalováním dřevěných pochozích roštů.

8.2 Práce v laboratoři



Obrázek 51: Příprava ředění odebraných vzorků pro měření v laboratoři.



Obrázek 52: Analyzátor uhlíku a dusíku s připravenými vzorky.