

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE



Dlouhodobé porovnávání účinnosti čištění šedých vod

na letním dětském táboře

Long-term comparison of the efficiency of grey water
purification at the summer children's camp

DIPLOMOVÁ PRÁCE

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

Diplomant: Bc. Pavel Michálek

2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Pavel Michálek

Regionální environmentální správa

Název práce

Dlouhodobé porovnání účinnosti čištění šedých vod na letním dětském táboře

Název anglicky

Long-term comparison of the efficiency of grey water purification at the summer children's camp

Cíle práce

Cílem této práce je zhodnocení dlouhodobé účinnosti čištění šedých vod na letním dětském táboře za použití zemního pískového filtru (bez využití elektrické energie) a dále pak možnosti jeho rozšíření o další stupeň dočištění pomocí malé KČOV, která bude realizována v rámci přípravné fáze. Účinnost čištění šedých vod bude vyhodnocena na základě sledování základních ukazatelů kvality vody na odtocích z jednotlivých provozů tábora, přítoku a odtoku ze zemního filtru resp. KČOV. Vyhodnocení účinnosti čištění bude provedeno na základě porovnání dat získaných v letech 2019 (v rámci BP) až 2021. V roce 2021 bude účinnost čištění sledována nejen v průběhu letního dětského tábora, kdy bude nejvyšší produkce šedých vod (vysoká úroveň hydraulického a chemického zatížení), ale i během přípravných víkendových pobytů, kdy budou zemní filtr a KČOV vystaveny nižšímu hydraulickému a chemickému zatížení.

Metodika

- 1) Na základě literární rešerše zmapování problematiky čištění šedých vod.
- 2) V rámci přípravné fáze experimentální části navržení projektu malé KČOV jako další stupeň čištění šedých vod.
- 3) Následně realizační fáze s vybudováním a zprovozněním KČOV a její napojení na stávající zemní pískový filtr (již realizován v rámci bakalářské práce).
- 4) Odebírání vzorků vody z jednotlivých táborových provozů (nádobí, sprcha, ruce, odtok z filtru a KČOV) s různou četností (roční, měsíční, obdenní).
- 5) Měření ukazatelů kvality vody (pH, konduktivita, tenzidy, rozpuštěný kyslík, TC, TOC, IC, TN, aj.) jak přímo v podmínkách tábora, tak i laboratoři ČZU.
- 6) Porovnání výsledků v letech 2019-2021, vč. testů klíčivosti.

Doporučený rozsah práce

70 stran

Klíčová slova

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

Doporučené zdroje informací

- 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.
- De Gisi S., Casella P., Notarnicola M., 2017: Grey Water. *Encyclopedia of Sustainable Technologies* 4. Elsevier Inc., Amsterdam. P. 77-89.
- Gross A., Maimon A., Alfiya Y., Friedler E., 2015: Greywater Reuse. Taylor & Francis Group LCC, Boca Raton. 301 s.
- Morel A. et Diener S., 2006: Greywater Management in Low and Middle-Income Countries. EAWAG Sandec, Dübendorf. 107 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., Trabitze 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.
-

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

prof. RNDr. Dana Komínková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Konzultant

Ing. Fatma Öykü Cómez

Elektronicky schváleno dne 11. 10. 2021

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 24. 11. 2021

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 26. 02. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Dlouhodobé porovnávání účinnosti čištění šedých vod 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 diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., 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 diplomové 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. 2023

.....
(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, trpělivost, ochotu a odborné rady.

Abstrakt

Cílem této práce je zhodnocení dlouhodobé účinnosti čištění šedých vod na letním dětském táboře za použití zemního pískového filtru (bez využití elektrické energie) a dále pak možnosti jeho rozšíření o další stupeň dočištění pomocí malé KČOV. Účinnost čištění šedých vod byla vyhodnocena na základě sledování základních ukazatelů kvality vody na odtocích z jednotlivých provozů tábora, přítoku a odtoku ze zemního filtru, resp. KČOV.

Vyhodnocení účinnosti čištění bylo provedeno na základě porovnání dat získaných v letech 2019 (v rámci BP) až 2021. V roce 2021 byla účinnost čištění sledována nejen v průběhu letního dětského tábora, kdy byla nejvyšší produkce šedých vod (vysoká úroveň hydraulického a chemického zatížení), ale i během přípravných víkendových pobytů, kdy byly zemní filtr a KČOV vystaveny nižšímu hydraulickému a chemickému zatížení.

Výsledky ukázaly dobrou účinnost filtru zejména u tenzidů a nerozpuštěných látek, ke zlepšení parametrů došlo také u TOC, TC a dalších. Problémem se ukázalo velké kolísání hodnot u několika sledovaných parametrů (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) v průběhu jednotlivých let a v důsledku přerušovaného provozu.

Klíčová slova:

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

Abstract

The aim of this thesis is to evaluate the long-term efficiency of grey water treatment at the summer children's camp using a ground sand filter (without the use of electricity) and the possibility of extending it to another stage of treatment using a small constructed wetland treatment plant. The efficiency of grey water treatment was evaluated on the basis of monitoring the basic indicators of water quality on effluents from individual operations of the camp, inflow and outflow from the ground filter and wetland treatment plant.

The evaluation of the cleaning efficiency was performed on the basis of a comparison of data obtained in 2019 (within BP) to 2021. In 2021, the cleaning efficiency was monitored not only during the summer children's camp, when grey water production was highest (high level of hydraulic and chemical load), but also during preparatory weekend stays, when the ground filter and the CW were exposed to lower hydraulic and chemical loads.

The results showed good filter efficiency especially for tensides and suspended solids, with improvements in TOC, TC and other parameters. The problem was the large fluctuation of values for several monitored parameters (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) over the years and due to intermittent operation.

Keywords:

greywater; reuse; summer children's camp; water quality; ground sand filter; efficiency; constructed wetland treatment plant

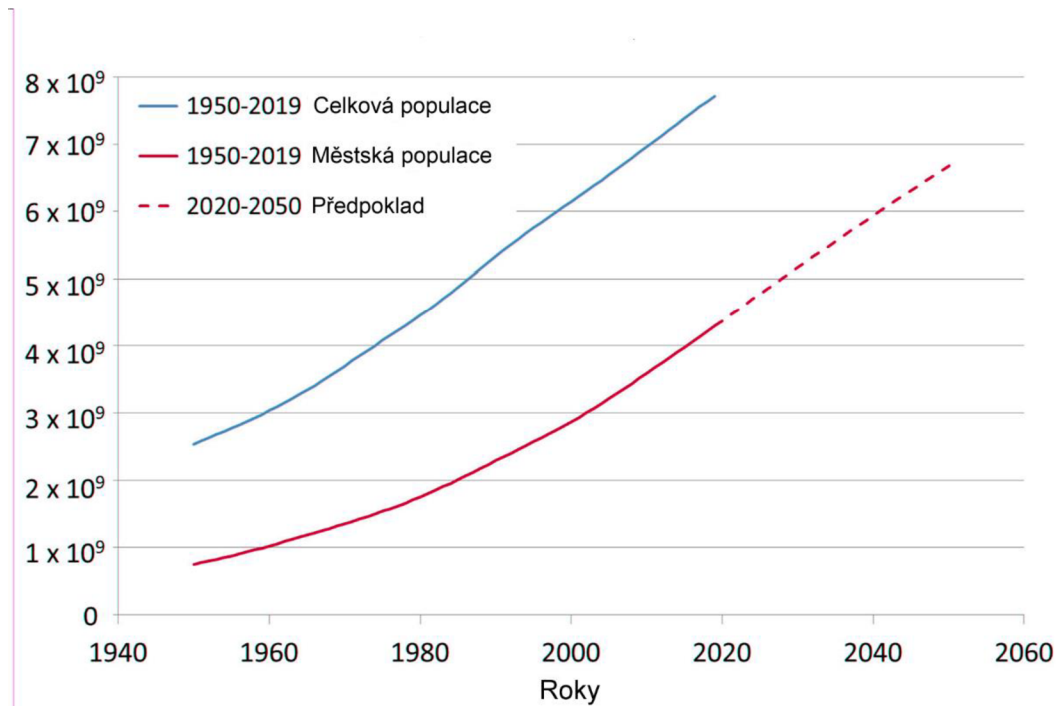
Obsah

1.	Úvod.....	1
1.1	Význam šedých vod.....	3
1.2	Cíle práce	5
2.	Literární rešerše	5
2.1	Šedé vody.....	5
2.1.1	Druhy a produkce šedých vod.....	6
2.1.2	Složení šedých vod.....	11
2.2	Způsoby čištění šedých vod	18
2.3	Přírodní způsoby čištění šedých vod.....	23
2.3.1	Kořenové čistírny odpadních vod.....	23
2.3.2	Přírodní systémy (NBS)	25
2.3.3	Podzemní pískové filtry	27
2.4	Využití šedých vod	28
2.5	Legislativa v oblasti šedých vod	31
3.	Metodika experimentální části	34
3.1	Zájmová lokalita	34
3.2	Návrh řešení čištění šedých vod	34
3.2.1	Instalace zemního pískového filtru	36
3.2.2	Nápojení provozních míst.....	38
3.2.3	Připojení dočištění pomocí KČOV	38
3.3	Monitoring dlouhodobé účinnosti.....	40
3.3.1	Frekvence a podmínky odběru vzorků	40
3.3.2	Laboratorní zpracování vzorků.....	42
4.	Výsledky	43
5.	Diskuse.....	54
5.1	Vyhodnocení dlouhodobé účinnosti.....	54
5.2	Přírodní filtrační materiály	57
6.	Závěr	60

7.	Přehled literatury a použitých zdrojů	61
7.1	Literární zdroje	61
7.2	Internetové zdroje	65
7.3	Legislativní zdroje	67
8.	Příloha - Obrazová dokumentace	69
8.1	Realizace zemního pískového filtru krok za krokem	69
8.2	Realizace sekundárního dočištění pomocí KČOV	77
8.3	Práce v laboratoři	79
8.4	Kompletní výsledky testování vzorků.....	81

1. Úvod

Světové ekonomické fórum ve svých dvou posledních vydáních zprávy o globálních rizicích pro rok 2022 identifikovalo nejzávažnější hrozby na příštích 10 let. V uvedeném žebříčku se hned na prvních třech místech umístily environmentální hrozby v podobě ztráty biodiverzity, extrémních výkyvů počasí a na prvním místě pak selhání opatření v oblasti boje proti změnám klimatu. Zde se jako globální problém lidstva uvádí i celkový nedostatek pitné vody (World Economic Forum, 2023). „Vodu neoceníme, dokud nám nevyschne studna“ napsal americký státník a přírodovědec Benjamin Franklin, později se ke stejné problematice vyjádřil i známý britský přírodovědec, dokumentarista a režisér sir Richard Attenborough, který prohlásil: „Sladká voda je nejcennějším zdrojem na naší planetě. Bez ní nemůže nic přežít. Přesto pouze 2 % veškeré vody na naší planetě tvoří sladká voda. Proto ji musíme používat moudře.“ Podle všech dostupných dat lidská civilizace čelí jedné z největších klimatických krizí ve své historii. Růst světové populace, nešetrné využívání přírodních zdrojů či nestřídmé chování k životnímu prostředí, to vše má zásadní vliv na její průběh (Česká rada pro šetrné budovy, 2022). Česko, stejně jako ostatní státy světa čelí hrozbě velké vodní krize. Není tak otázkou, zda krize vůbec nastane, ale pouze kdy k ní dojde (Siegel, 2016). V letech 2025 až 2030 dojde pravděpodobně k tomu, že v důsledku klimatických změn a populačního růstu více jak polovina celosvětové populace bude žít v oblastech s nedostatkem vody. Již nyní více jak 2 miliardy lidí trpí celkovým nedostatkem vody (WHO, 2022), 3,3 miliardy lidí pociťují nedostatek vody nejméně 3 měsíce v roce (Mekonnen et Hoekstra, 2016), přes 2 miliardy lidí využívá vodu kontaminovanou fekáliemi, tedy s mikrobiální kontaminací, která může přenášet nemoci, jako je průjem, cholera, úplavice, tyfus a dětská obrna. Odhaduje se, že každý rok způsobí 485 000 průjmových nemocí úmrtí (WHO, 2022). Významné národní či regulační organizace (např. Světová zdravotnická organizace „WHO“, Organizace spojených národů „OSN“ nebo Dětský fond „UNICEF“ stále pracují na konkrétních cílech pro odhalení a snížení problémů spojených s vodou (Reddy, 2017). V roce 2017 osm z deseti lidí, kterým chyběla pitná voda a sedm z deseti, kteří postrádali kanalizaci, pocházeli z venkovských oblastí (WHO, 2022). Zatímco v roce 1950 žilo ve městech jen 30 % světové populace, v roce 2018 se zvýšilo na 55 % a předpokládá se, že do roku 2050 to bude cca 70 %, jak ukazuje Obrázek 1 (Zehnsdorf et al., 2019), kdy celková lidská populace může dosáhnout na více jak 10 miliard lidí (Reddy, 2017). Tento trend tedy klade stále větší nároky na infrastrukturu pro zásobování vodou a energií a samozřejmě i na čištění odpadních vod.



Obrázek 1: Vývoj světové populace ve městech (Zehnsdorf, 2019).

K řešení problematiky nedostatku pitné vody přispívá i celá řada vynálezů z poslední doby, jako např. hydrogel (vyvinutý vědci na texaské univerzitě v Austinu v roce 2018), který se dá použít jak v domácnostech, tak při humanitárních krizích (válečné konflikty, přírodní katastrofy). Znečištěná nebo slaná voda se umístí do skleněné nádoby, na hladinu se umístí hydrogelový filtr a následně na přímém slunci se skrz hydrogel odpařuje čistá voda, která kondenzuje v jiné nádobě. S denní produkcí 25 litrů na metr čtvereční a relativně nízkou cenou jde vskutku o zajímavý vynález (Zhou et al., 2018). V Česku vědci z ČVUT vyvinuli zařízení S.A.W.E.R. (Solar Air Water Energy Resource), představené v pavilonu Expo 2020 v Dubaji, které doslova umožní přeměnu suché a horké pouště v zelenou oázu za pomoci jen slunce a vzduchu. Skládá se ze dvou systémů, jeden na získávání vody z pouštního vzduchu a druhý pro kultivaci pouště v úrodnou půdu (CZEXPO, 2022), viz Obrázek 2.

Jednou z dalších slibných alternativních metod budoucnosti, jak zmírnit dopady nedostatku pitné vody, je do značné míry její recyklace, tedy opětovné využití. A zde mají šedé vody nezastupitelné místo.

Přítom šetření vodou či snaha o její opětovné využití, tedy i čištění, není pro lidstvo ničím novým. Již ve starověkém Římě byl v roce 312 př. n. l. zbudován první vodovod, následně v prvním století po Kristu přibýlo dalších 7 akvaduktů o celkové délce 412 km a následně se ukázala potřeba čistíren vod, protože poptávka začala značně

s vodou a jejím opětovném využití, včetně využívání vod šedých, se stal světovou velmocí stát Izrael, který upravuje a recykluje více jak 86 % svých odpadních vod pro použití v zemědělství, čímž se dostal na první příčku na světě v oblasti recyklace vod (Ministerstvo zahraničních věcí státu Izrael, 2020). Během posledních několika let se Izrael proměnil ze země trpící nedostatkem vody a obavami z následků příštího období sucha na zemi, která má vody více než dost, a to nezávisle na klimatických podmínkách (Siegel, 2016). Dalšími státy s významným podílem využití recyklovaných vod jsou Španělsko, Austrálie, Itálie, Řecko, USA, Velká Británie či městský stát Singapur. Státy na Blízkém východě řeší své vodní deficity zejména odsolováním mořské vody, a to zejména díky svým ekonomickým možnostem. Typickým příkladem je stát Kuvajt, který je na takto upravenou vodu zcela odkázán (Ovodarenstvi.cz, 2022). V rámci Česka, které se nachází v oblasti evropského rozvodí a je odkázáno prakticky pouze na množství spadlých srážkových vod, je důležité využít veškerou dostupnou vodu a zabránit jí v rychlém odtoku z našeho území. To zahrnuje i opakované využití vody všude tam, kde je to jen trochu možné. V první řadě se to týká slabě znečištěných vod pro další činnosti nebo opětovné využití vyčištěných odpadních vod, které při použití vhodných technologií mohou dosahovat lepší kvality, než vody povrchové (Beránková et al., 2017).

Význam šedých vod je řešen v konceptech jako DESAR (z anglického Decentralized Sanitation and Reuse), SuSanA (Sustainable Sanitation Alliance) nebo ROSA (Resource Oriented Sanitation), které se zabývají decentralizovaným čištěním a maximálním znovuvyužitím surovin z odpadní, potažmo šedé vody, a to včetně využití energetického potenciálu v podobě odpadního tepla tam, kde např. nebude šedá voda určena přímo k recyklaci. Vždy je potřeba každý projekt či koncept posuzovat samostatně, zhodnotit dopady na životní prostředí, okolí, uživatelský komfort a samozřejmě v neposlední řadě i jeho ekonomickou stránku. 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, že se nám to v budoucnu vrátí a že každé předčištění odpadní vody povede k zamezení zbytečné kontaminace tolik drahocenných povrchových či spodních vod. 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. Je tedy jasné, že čištění a opětovné použití zejména šedých vod bude v rámci úspor pitné vody hrát čím dál tím větší roli.

1.2 Cíle práce

Cílem této práce je formou literární rešerše shrnout aktuální poznatky v oblasti šedých vod, jak v rámci jejich využití, tak možnostech čištění, a v rámci experimentální části pak zhodnotit dlouhodobou účinnost čištění šedých vod na letním dětském táboře za použití zemního pískového filtru (bez využití elektrické energie) a dále pak jeho rozšíření o další stupeň dočištění pomocí vybudované malé KČOV. Účinnost čištění šedých vod bude vyhodnocena na základě sledování základních ukazatelů kvality vody na odtocích z jednotlivých provozů tábora, přítoku a odtoku ze zemního filtru, resp. KČOV. Vyhodnocení účinnosti čištění bude provedeno na základě porovnání dat získaných v letech 2019 (v rámci bakalářské práce autora) až 2021.

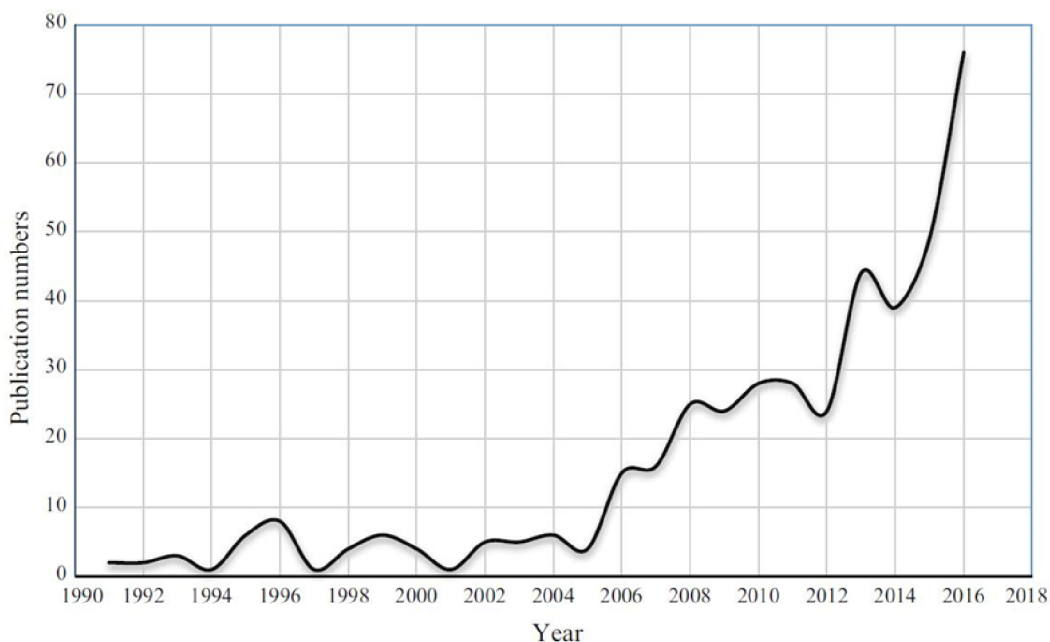
2. Literární rešerše

2.1 Šedé vody

Šedé odpadní vody neobsahují fekálie ani moč. Jsou tvořeny při běžném provozu např. domácností, hotelů, stravovacích a dalších zařízení jako voda odtékající ze sprch, van, umyvadel, praček, myček, kuchyňských dřezů, výlevek, mycích strojů apod. Po náležité úpravě je možné využívat jich jako vodu provozní (tzv. bílou vodu) pro splachování záchodů, pisoárů a např. pro zalévání zahrad (Beránková, 2016) nebo v zemědělství či průmyslu. Někdy se k šedým vodám přiřazuje i voda dešťová, protože spolu mohou být využívány jako vody užitkové. Legislativně je však tato část řešena odděleně.

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).

Výzkumné studie v oblasti čištění šedé vody a opětovného využití nebo recyklace šedé vody začaly již v 90. letech 20. století a po roce 2005 jejich počet výrazně vzrostl (viz Obrázek 3). Z přehledu těchto publikací vyplynulo, že většina studií byla provedena ve vyspělých zemích a zabývaly se z počátku např. charakteristikami šedých vod z různých zdrojů. V posledních letech se zájem přesunul k úpravě a opětovnému využití šedé vody pro různé účely (Al-Gheethi et al., 2019).



Obrázek 3: Distribuce publikací o šedé vodě v letech 1991 - 2016 od vydavatelství Elsevier, Springer a Wiley (Al-Gheethi et al., 2019).

2.1.1 Druhy a produkce šedých vod

Obecně je šedá voda (angl. zkratka GW – Greywater, nebo také GrayWater) 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. Podle svého typického zbarvení dostala i své označení. 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). Někdy také bývá označována jako „lehká šedá voda“. Dalším zdrojem relativně čisté šedé vody jsou pračky, kde po jejich vyčištění je její zpětné využití z hlediska tepelné energie i jako užitkové vody bezproblémové (Česká rada pro šetrné budovy, 2022). Specifické vlastnosti šedých vod v závislosti na zdroji shrnuje Tabulka 1..

Provoz	Obsah látek a vlastnosti
Kuchyně	- zbytky potravin, velké množství olejů a tuků, mycí prostředky, příležitostně čisticí a dezinfekční prostředky - vysoký obsah živin a nerozpuštěných látek, může být velmi zásaditá a vykazovat vysoké koncentrace nerozpuštěných látek a solí
Koupelny	- nejméně znečištěný zdroj šedé vody v rámci objektů či domácností - mýdla, šampony, zubní pasty a další výrobky pro péči o tělo, odpad z holení, chlupy, vlasy, kůži tělesné tuky, žmolky, moč, výkaly - obsahuje kontaminace patogenními mikroorganismy
Prádelny	- vysoké koncentrace chemických látek z pracích prášků (např. sodík, fosfor, povrchově aktivní látky, dusík), bělidla, aviváže, suspendované pevné látky, případně oleje, barvy, rozpouštědla a biologicky nerozložitelná vlákna z oděvů - při praní látkových plen, znečištěného oblečení apod. může obsahovat vysoké množství patogenů

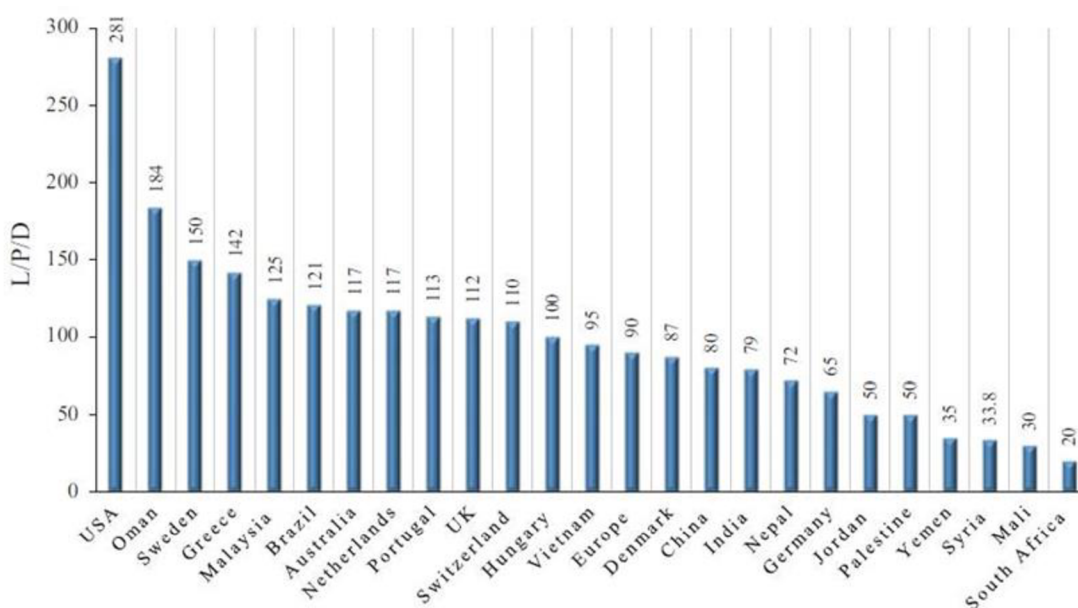
Tabulka 1: Shmutí základních zdrojů šedých vod a jejich specifických vlastností (Morel et Diener, 2006).

V celosvětovém měřítku se množství produkce šedých vod liší v závislosti na specifikách jednotlivých zemí a jejich obyvatel, možnostech přírodních zdrojů a celé řadě dalších faktorů. Diference ve spotřebě vody v domácnostech různých zemí světa podle použití ukazuje Obrázek 5. V regionech s nízkou spotřebou pitné vody její množství kolísá od 20 do 30 litrů na osobu a den, zatímco v oblastech s dostatkem pitné vody je průměrná produkce 90 až 120 litrů (Morel & Diener, 2006). Rozdíl je

rovněž určen typem provozu. V domácnostech je to průměrně okolo 75 litrů na ekvivalentního obyvatele (dále jen EO) a den, z provozů typu hotelů, saun, bazénů apod. se produkce výrazně zvyšuje (od 150 l/EO/den až po 1000 l/EO/den např. v pětihvězdičkovém hotelu (Bartoník et al., 2012a).

V přepočtu na procenta se množství šedé vody tvořené domácnostmi pohybuje kolem 50–80 % z celkové produkce vody, v závislosti na životním stylu (Al-Gheethi et al., 2019) a dalších faktorech. Celkové množství se také přibližně rovná objemu vody potřebné pro splachování toalet. U jiných typů budov (např. kanceláře) je pak produkce šedých vod podstatně menší, než její potřeba pro splachování toalet či pisoárů a rovná se tedy 27–60 % celkového využití vody (De Gissi et al., 2017a).

Co se týče využitelnosti při recyklaci šedé vody, je někdy udáváno 2-15 % celkové spotřeby (Santos et al., 2011). V rozvinutých zemích je uváděno 70-140 l/EO/den, ve Spojených státech amerických 127-151 l/EO/den a naproti tomu v rozvojových zemích 20-30 l/EO/den (Spychała et al., 2019). Celkovou produkci šedých vod ve vybraných zemích ukazuje Obrázek 4.



Obrázek 4: Produkce šedé vody ve vybraných zemích (l/os/den) (Al-Gheethi et al., 2019).

Velké rozdíly jsou i v průběhu denní produkce šedé vody, které mají význam např. při stanovení objemu zásobníků, opět v porovnání venkovského a městského prostředí (Gross et al., 2015). Platí jak pro splachování toalet, tak pro praní prádla.

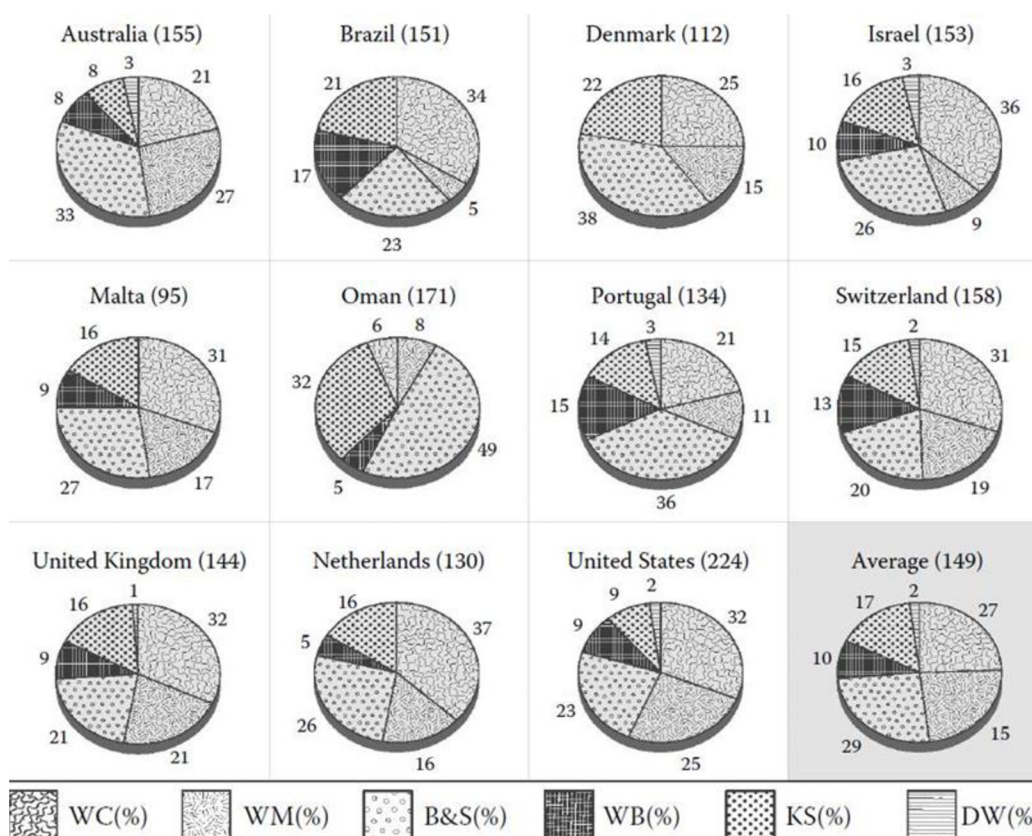
Nejvyšší průtok šedé vody byl zaznamenán mezi 7:00 a 9:30 hodin, znovu pak od 17:30 do 20:00 hodin, tedy před odchodem lidí do práce a po jejich návratu. Denní průběh průtoku šedé vody ve studentských kolejích byl téměř totožný. Maxima nastala mezi 07:00 a 09:00 hodin a mezi 20:00 hodin a 00:00 hodin (Ghunmi et al., 2008). Ve studentských kolejích v jižní Anglii byl maximální průtok pozorován ráno v 08:00 hodin a večer ve 22:00 hodin, nejnižší průtoky byly pozorovány v 05:00 a 15:00 hodin. V obytné budově nebyl zaznamenán žádný průtok po dobu několika hodin, zejména v pozdních ranních a časných odpoledních hodinách. Bylo zjištěno, že tento denní průběh je pravidelný a velmi podobný každý den. Podobný denní průběh byl i o víkendech, ale vrcholy a poklesy se objevily později. Je třeba poznamenat, že rozdíly mezi špičkami a nízkými průtoky jsou významnější v malých sběrných systémech (jednotlivé domy) než v relativně velkých sběrných místech, jako jsou výškové budovy (Gross et al., 2015).

Příklad průměrné denní hodnoty spotřeby pitné vody na osobu při různých činnostech v rámci Česka, konkrétně v pražských domácnostech ukazuje Tabulka 2. Celková průměrná denní spotřeba vody na osobu v roce 2022 byla v Praze 111 litrů (v ostatních regionech ČR je spotřeba vody na osobu a den nižší), oproti roku 2019 klesla o 3 litry, od 2020 o 2 litry (Pražské vodovody a kanalizace, 2023). Je tedy možné pozorovat sestupný trend spotřeby na obyvatele i vzhledem k aktuálním cenám.

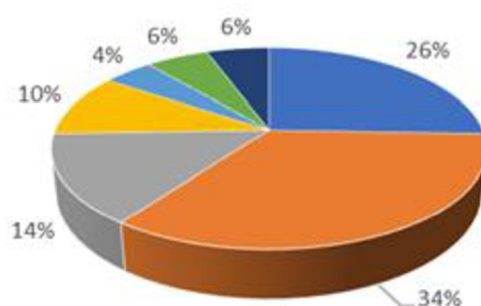
	Průměrné denní hodnoty (v litrech)	Průměrné denní hodnoty (v Kč)
WC	26	3,33
Os. hygiena, sprchování	40	5,13
Praní, úklid	18	2,31
Příprava jídla, mytí nádobí	10	1,28
Mytí rukou	6	0,77
Zalévání	5	0,64
Pití	2	0,26
Ostatní	4	0,51
CELKEM	111 litrů	14,23

Tabulka 2: Příklad průměrné denní hodnoty spotřeby pitné vody na osobu při různých činnostech v pražských domácnostech v roce 2022. Ceny spotřebované vody jsou kalkulovány z ceny vody platné v PVK od 1. 1. 2023 (vodné a stočné 128,18 Kč/m³) (Pražské vodovody a kanalizace, 2023).

Procentuální rozdělení spotřeby vody v ČR podle použití ukazuje Obrázek 6. 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 (Obrázek 5 a Obrázek 7) lze zjistit, že asi největší rozdíl je ve spotřebě vody na praní, která je v ČR o 19 % nižší oproti průměru.

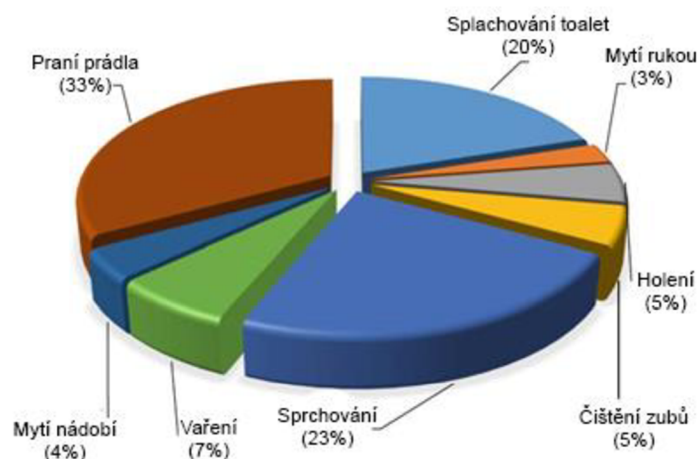


Obrázek 5: Spotřeba vody v domácnostech různých zemí (v %), WC - splachování toalet, WM - praní prádla, B&S - koupelna (sprcha, vana), WB - umyvadlo, KS - kuchyňský dřez, DW - myčka nádobí. Čísla v závorkách označují průměrnou denní spotřebu vody v litrech na obyvatele a den (Gross et al., 2015).



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

Obrázek 6: Průměrná spotřeba vody domácností v ČR (SČVK, 2019).



Obrázek 7: Průměrná spotřeba vody domácností ve světě (Al-Gheethi et al., 2019).

2.1.2 Složení šedých vod

Faktorů, které ovlivňují složení šedých vod, je celá řada. Nejvýznamnějším pak je zejména původ či zdroj, kde šedá voda vzniká. To determinuje následně i další fyzikálně-chemické vlastnosti, jako jsou teplota, pH, tvrdost, alkalita, barva, zákal, plovoucí látky, chemická a biochemická spotřeba kyslíku, koncentrace nutrientů, mikrobiologické zatížení apod.

Složky	Množství (mg/l)	(Diaper et al., 2008; Hourlier et al., 2010)
Chemické látky		
Fosforečnan disodný (Na_2PO_4)	39	39
Hydrogenuhličitan sodný (NaHCO_3)	25	25-70
Fullerova zemina	50	50
Síran draselný (K_2SO_4)	4,5	4,5
Fosforečnan sodný (NaH_2PO_4)	11,5	11,5
Komerční produkty		
Deodorant (Fa)	10	10
Šampon (Pantene)	720	720
Kondicionér (Pantene)	720	-
Odličovač (Himalayan)	10	10
Prací prášek (Peros)	150	150
Ústní voda (Colgate plax)	20	-
Vazelína	15	10-15
Zubní pasta (Colgate)	32,5	32,5
Rostlinný olej (olivový olej)	7	7
Prostředek na mytí rukou (Dettol)	10	10
Mýdlo (Pears)	64	-

Tabulka 3: Podrobné složení a porovnání sloučenin používaných pro syntetickou přípravu šedé vody (Pradhan et al., 2020).

Jednotlivé chemické složky zahrnují mýdla, detergenty, oleje, bílkoviny, tuky a anorganické ionty (Zuma et al., 2009) a dále prášky, kůži, vlasy a patogeny, které jsou antropogenního původu. Oproti kombinované odpadní vodě obsahující i černou vodu z toalet, má šedá voda nižší obsah organických znečišťujících látek a patogenů (Eriksson et al., 2002) a sloučenin dusíku (Spychała et al., 2019). Bylo prokázáno, že do šedých vod se může dostat i velké množství xenobiotických hydrofilních látek prostřednictvím koupelňových a pracích prostředků (Eriksson et al., 2003).

Velikost částic šedé vody se pohybuje v rozmezí 10-100 μm (Jefferson et al., 2004). Fyzikálně-chemické vlastnosti šedých vod navíc závisí na kvalitě a materiálu vodovodního potrubí, životním stylu, činnosti lidí, používaných výrobcích u zdroje a dalších faktorech (Noutsopoulos et al., 2018). Organické látky v šedé vodě jsou důležitým parametrem, který pomáhá posoudit kvalitu úpravy vody pro opětovné použití, a to vzhledem k jejímu potenciálnímu riziku pro ovzduší, půdu a rostliny (Dalahmeh et al., 2011). Šedá voda také obsahuje vysoké množství detergentů. Ty obsahují povrchově aktivní látky, bělidla, enzymy, konzervační látky, rozpouštědla, plnidla atd. (Morel et Diener, 2006).

Pro různé experimenty existují i různé „recepty“ na výrobu syntetické šedé vody (Diaper et al., 2008), která by se svým složením měla co nejvíce blížit skutečnosti. Jedním z modifikovaných receptů je např. následující šedá voda simulující odběr z umyvadel, sprch, van a praček. Syntetická směs se skládá z šamponu (360 mg/l), vody na mytí rukou (360 mg/l), zubní pasty (32,5 mg/l), hydratačního krému (10 mg/l), deodorantu (10 mg/l), pracího prostředku (150 mg/l), rostlinného oleje (7 mg/l), močoviny (7,5 mg/l), kyseliny mléčné (40 mg/l), jílu (50 mg/l), fosforečnanu draselného (3,9 mg/l) a sekundárně vyčištěné odpadní vody (20 ml/l) (Kotsia et al., 2020). Tabulka 3 popisuje podrobné složení syntetické šedé vody (Pradhan, 2020).

Fyzikální vlastnosti

Teplota – často vyšší, než teplota vody z vodovodu a kolísá v rozmezí 18-30 °C. Tyto poměrně vysoké teploty jsou způsobeny používáním teplé vody pro osobní hygienu a vypouštěním vody na vaření. Nejsou kritické pro biologické procesy čištění (aerobní a anaerobní rozklad probíhá v rozmezí 15-50 °C, přičemž optimální rozmezí je 25-50 °C). Na druhé straně vyšší teploty mohou způsobit zvýšený růst bakterií a sníženou rozpustnost CaCO_3 , což způsobuje srážení ve skladovacích nádržích nebo potrubních systémech (Morel et Diener, 2006).

Suspendované pevné látky – částice potravin, oleje a ostatních pevných látek z kuchyňských dřezů nebo vlasy a vlákna z prádla mohou vést k vysokému obsahu pevných látek v šedé vodě. Tyto částice a koloidy způsobují zákal ve vodě a mohou mít za následek i fyzické ucpání potrubí, čerpadel a filtrů, které se používají k čištění vody v čisticích procesech. Zejména biologicky nerozložitelná vlákna z oděvů (polyester, nylon, polyethylen), prací prášky, čisticí prostředky a mýdla jsou hlavními příčinami ucpávání technologií. Koncentrace suspendovaných látek v šedé vodě se pohybují v rozmezí 50-300 mg/l, ale v ojedinělých případech mohou dosahovat až 1 500 mg/l (Del Porto et Steinfeld, 2000). Nejvyšší koncentrace nerozpuštěných látek se obvykle vyskytují v kuchyňské a prací šedé vodě. Koncentrace suspendovaných látek silně závisí na množství použité vody. Pozorováním v Nepálu, Malajsii, Izraeli, Vietnamu a USA bylo zjištěno průměrné zatížení suspendovanými látkami 10-30 g/os/den, což představuje 25-35 % celkové denní koncentrace suspendovaných látek v odpadních vodách z domácností, včetně odpadních vod z toalet (Morel et Diener, 2006).

Chemické vlastnosti

Důležitými chemickými parametry jsou např. pH, alkalita, elektrická vodivost, koncentrace sodíku, biologické a chemické parametry, chemická spotřeba kyslíku (BSK, CHSK), obsah živin (dusík, fosfor) a problematických látek, jako jsou těžké kovy, dezinfekční prostředky, bělidla, povrchově aktivní látky nebo organické znečišťující látky v detergentech (Morel et Diener, 2006).

pH a alkalita – pro snazší další zpracování a zabránění negativním dopadům na půdu a rostliny při opětovném použití by měla šedá voda vykazovat pH v rozmezí 6,0-9,0 (USEPA, 2012). Hodnota pH šedé vody, která silně závisí na hodnotě pH dodávané vody, se obvykle pohybuje v tomto rozmezí. Nicméně z některých zdrojů (praní prádla) mohou být hodnoty vyšší v závislosti na použití pracích prášků a jiných zásaditých látek.

Salinita a koncentrace sodíku – šedá voda obsahuje soli, které mají vliv na konduktivitu neboli elektrickou vodivost (měřeno v $\mu\text{S}/\text{cm}$). Konduktivita měří salinitu všech iontů rozpuštěných v šedé vodě, včetně záporně nabitých iontů (např. Cl^- , NO_3^-) a kladně nabitých iontů (např. Ca^{2+} , Na^+). Nejběžnější solí je chlorid sodný, tedy běžná kuchyňská sůl. Dalšími důležitými zdroji solí jsou mýdla na bázi sodíku, dusičnany a fosforečnany obsažené v pracích prostředcích. Elektrická vodivost se obvykle pohybuje v rozmezí 300-1 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ale může být i vyšší (až 2 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Slanost šedé vody není obvykle problematická, ale může se stát nebezpečnou, pokud je šedá

voda opětovně používána k zavlažování, kdy může snížit výnosy plodin. Používání zasolené šedé vody k zavlažování po delší dobu může vést až ke zvýšenému zasolení svrchní vrstvy půdy. Zatímco konduktivita určuje všechny rozpustné soli v šedé vodě, nebezpečí sodíku spočívá v jeho specifických škodlivých účincích na fyzikální vlastnosti půdy v případě infiltrace šedé vody nebo jejího opětovného použití k zavlažování. Hodnoty adsorpčního poměru sodíku (angl. zkratka SAR) pro šedou vodu se pohybují v typickém rozmezí 2-10 mEq/l (udávaná v miliekvivalentech na litr), zejména v závislosti na použitém pracím prášku v domácnosti. Doporučená hodnota by u šedé vody pro zavlažování měla být nižší než 5 mEq/l (Gross et al., 2015).

Biologická a chemická spotřeba kyslíku (BSK, CHSK) – jsou parametry, které umožňují měřit organické znečištění vody. CHSK popisuje množství kyslíku potřebné k oxidaci všech organických látek obsažených v šedé vodě. BSK popisuje biologickou oxidaci prostřednictvím bakterií v určitém časovém rozmezí (obvykle 5 dní – BSK5). Hlavní skupiny organických látek, které se nacházejí v odpadní vodě, zahrnují bílkoviny, cukry, tuky a oleje a také různé jiné syntetické chemické látky, jako jsou povrchově aktivní látky, které nejsou snadno biologicky rozložitelné. Vypouštění šedých vod s vysokou koncentrací BSK a CHSK do povrchových vod vede k úbytku kyslíku, který pak není k dispozici pro vodní organismy. Zatížení BSK zjištěné v šedých vodách v různých zemích dosahuje výše 20-50 g/EO/d (Friedler, 2004). Koncentrace BSK a CHSK v šedé vodě silně závisí na celkové spotřebě vody. V zemích, kde je relativně nízká, jsou koncentrace BSK a CHSK vysoké. V Kostarice při průměrné spotřebě vody 107 l/EO/den byla naměřena průměrná hodnota BSK5 ve smíšené šedé vodě 167 mg/l (Dallas et al., 2004). Oproti tomu v Palestině, kde šedá voda pochází ze srovnatelných zdrojů (koupelny, kuchyně, prádelny), dosahovala produkce pouze 40 l/EO/d a naměřené průměrné hodnoty BSK5 byly až 590 mg/l a v ojedinělých případech přesahovaly 2 000 mg/l (Morel et Diener, 2006). Poměr CHSK/BSK je dobrým ukazatelem biologické rozložitelnosti šedých vod. Pokud je poměr CHSK/BSK nižší než 2-2,5, jedná se o snadno rozložitelnou odpadní vodu (Del Porto et Steinfeld, 2000). V Česku je poměr CHSK/BSK zhruba 4:1, což ukazuje na vyšší podíl hůře odbouratelných organických látek, u komunálních vod se poměr pohybuje kolem 2:1 (Biela, 2012). Biologická rozložitelnost šedých vod závisí především na typu syntetických povrchově aktivních látek použitých v detergitech a na tom, jaké je množství přítomného oleje a tuku. Proto je snahou zakázat a nahradit biologicky neodbouratelné, problematické povrchově aktivní látky biologicky odbouratelnými detergenty.

Fyzikálně-chemické vlastnosti šedých vod v Česku uvádí Tabulka 4.

Živiny (dusík, fosfor)

Šedá voda obvykle obsahuje nízké množství živin ve srovnání s odpadní vodou z toalet. Přesto jsou živiny, jako je dusík a fosfor, důležitými složkami vzhledem k jejich hodnotě jako hnojiva pro rostliny, významu pro přírodní čisticí procesy a jejich potenciálnímu negativnímu vlivu na vodní prostředí. Zejména vysoký obsah fosforu, který se někdy vyskytuje v šedých vodách, může vést k problémům, jako je např. eutrofizace vodních ploch. Obsah dusíku v šedých vodách je relativně nízký (hlavním zdrojem dusíku je moč v domovních odpadních vodách), nejvíce je zastoupen u vod z kuchyní, nejméně pak z koupelen a praček (Bartoník et al., 2012; Morel et Diener, 2006).

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 – 1300	–
Rozpuštěné látky	[mg/l]	–	126 – 599	–	–
Vodivost	[μS/m]	190 – 1400	82 – 22000	–	360 – 520
Alkalita (jako CaCO ₃)	[mg/l]	83 – 200	24 – 136	20 – 340	–
Tvrdość (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 4: Fyzikálně-chemické vlastnosti šedých vod ve sledovaných parametrech (Bartoník et al., 2012).

Dusík v šedých vodách pochází z amoniaku (např. čisticí prostředky), z bílkovin, šamponů a dalších výrobků pro domácnost (Del Porto et Steinfeld, 2000). V některých zvláštních případech může být významným zdrojem amoniakálního dusíku i voda z vodovodního řadu. Typické hodnoty dusíku ve směsné šedé vodě z domácností jsou v rozmezí 5-50 mg/l. V zemích, kde nebyly zakázány prací prostředky obsahující fosfor, jsou jeho hlavním zdrojem v šedé vodě. Průměrné koncentrace fosforu se obvykle pohybují v rozmezí 4-14 mg/l v oblastech, kde se používají nefosforečné detergenty (Eriksson et al., 2003). Mohou však dosahovat až 45-280 mg/l v domácnostech, kde se stále ještě používají tzv. fosforečné detergenty (Friedler, 2004). Koncentraci nutrientů v šedých vodách v Česku shrnuje Tabulka 5.

Nutrienty [mg/l]	Pračky	Sprchy, umývadla, vany	Kuchyně, myčky nádobí	Neseparované šedé vody
N-NH₄	<0,1 – 3,47	<0,1 – 25	0,2 – 23	–
N-NO₂	0,1 – 0,31	<0,05 – 0,2	–	–
N-NO₃	0,4 – 0,6	0 – 4,9	–	–
P-PO₄	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 5: Koncentrace nutrientů v šedých vodách (Bartoník et al., 2012).

Mikrobiální vlastnosti šedé vody

Šedá voda může představovat zdravotní riziko vzhledem k jejímu znečištění patogeny. Mikrobiologické nálezy obsahují koliformní bakterie, *Escherichia coli*, enterokoky, *Pseudomonas aeruginosa*, *Legionella* spp. mykobakterie, salmonely, leptospiry, viry aj. (Kořínková et al., 2021). Informací o přítomnosti patogenních mikroorganismů v šedé vodě v rozvojových zemích je málo. Patogeny, jako jsou viry, bakterie, prvoci a střevní parazité, pocházejí nejčastěji z výkalů infikovaných osob, mohou se dostat do šedé vody při mytí rukou po použití toalety, výměně plenek nebo praní látkových plen, osobní hygieně (zejména dětí) apod. Některé patogeny jsou také z mytí zeleniny a syrového masa. Hlavní zdravotní riziko však představují patogeny fekálního původu (Ledin et al., 2001). Fekální kontaminace šedé vody, tradičně vyjadřovaná fekálními indikátory jako jsou fekální koliformní bakterie, silně závisí na věkovém rozložení a jednotlivých členech domácnosti. Vysokou kontaminaci je třeba očekávat tam, kde jsou kojenci a malé děti. Uvádí se,

že průměrné koncentrace se pohybují kolem 10^3 - 10^6 KTJ/100 ml (Morel et Diener, 2006). Mikrobiologické zatížení šedých vod v ČR ukazuje Tabulka 6.

Olej a tuk

Šedá voda může obsahovat značné množství olejů a tuků, které pocházejí zejména z kuchyňských dřezů a myček nádobí. Významné koncentrace lze pozorovat také v šedých vodách z koupelen, kde se koncentrace pohybují v rozmezí 37-97 mg/l a praček 8-35 mg/l (Bartoník et al., 2012b). Obsah olejů a tuků v kuchyňské šedé vodě silně závisí na způsobu vaření a likvidaci odpadů v jednotlivých provozech (v některých zemích stále ještě povolené drtiče odpadu, nepřítomnost lapačů tuků v restauračních zařízeních atp.). Jakmile se šedá voda ochladí, tuk a mastnota se srážejí a mohou způsobit velké problémy, ať už na povrchu usazovacích nádrží, na vnitřním potrubí i na dalších technologiích (Friedler, 2004).

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

Povrchově aktivní látky (tenzidy) a další chemikálie pro domácnost

Povrchově aktivní látky (tenzidy) jsou hlavními složkami čisticích prostředků pro domácnost. Jsou to organické chemické látky, které mění vlastnosti vody. Snížením

povrchového napětí vody umožňují rychlejší čištění přípravků (např. prací prášek, prostředek na mytí nádobí, osobní hygienické pomůcky atd.). Množství povrchově aktivních látek přítomných v šedé vodě závisí na typu a množství použitého čisticího prostředku (Gross et al., 2015). Potenciální akumulace povrchově aktivních látek v půdě zavlažované šedou vodou může vést k zabránění kapilárního vztlínání a vzniku hydrofobních půd. Rovněž může dojít k problémům s toxicitou, pokud se ionty bóru (podobně jako ionty sodíku) hromadí v dostatečně vysokých koncentracích v rostlinách, kde mohou způsobit poškození plodin nebo snížení výnosu. Hlavním zdrojem bóru jsou detergenty. Ačkoli je bór pro rostliny nezbytnou mikroživinou, nadměrné množství je toxické (Morel et Diener, 2006). Již Paracelsus kdysi napsal: „Všechno je jed, ve všem je jed. Záleží pouze na dávce“. Dalšími rizikovými látkami v šedé vodě jsou bělidla, dezinfekční prostředky a rozpouštědla. Inhibice biologických procesů bělidlem začíná již při koncentraci 1,4 ml/l, přičemž k poměrně výrazné inhibici dochází již při 3 ml/l. Použitím ekologicky šetrných výrobků a zabráněním vylévání nebezpečných látek do odpadů, lze množství toxických látek v šedé vodě udržovat na nízké úrovni.

2.2 Způsoby čištění šedých vod

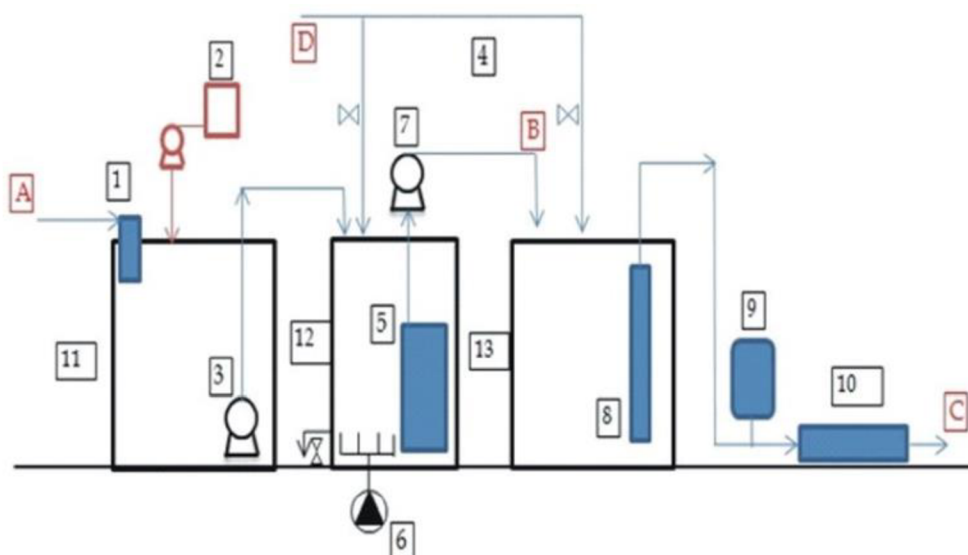
Způsoby a metody čištění jsou předmětem neustálého zkoumání a vědecké činnosti, zkoušejí se stále nové materiály a zařízení, inovují se technologie, zdokonalují se vynálezy či vznikají nové, v laboratořích se objevují nejrůznější metody zkoumání a posuzování vzorků. Na trhu je již celá řada sériově vyráběných zařízení pro čištění šedých vod vhodných do rodinných či bytových domů, i pro velké průmyslové podniky. Úspěšný systém odvádění a čištění šedé vody by měl splňovat více kritérií, jako například účinně odstraňovat znečišťující látky a patogeny, mít nízké náklady na výstavbu a provoz, být robustní, spolehlivý a schopný snášet velké výkyvy v kvalitě a množství vody a být přijatelný i pro veřejnost (Maimon et Gross, 2018).

Šedá voda je vhodná pro čištění na místě jejího vzniku, tedy decentralizovaně. Vzhledem k rostoucí míře recyklace šedých vod by bylo dobré, pokud by se budoucí výzkum zaměřil i na objasnění chování xenobiotických látek při procesech čištění, které se liší svou propracovaností od jednoduchých filtračních systémů až po realizace velkých mokřadů (Revitt, 2011). Existuje několik zkoumaných fyzikálních, chemických a biologických technologií pro čištění šedých vod v místě jejich vzniku, jako je například písková filtrace, koagulace, flokulace, rotační biologické reaktory

(RBC), pevné filmové reaktory, membránové bioreaktory (MBR), bio filmové reaktory s pohyblivým ložem (MBBR) či sekvenční dávkové reaktory (SBR) (Rodríguez, 2021).

Způsoby čištění se dají rozdělit na jednoduché dvoustupňové, kde se využívá hrubá filtrace a dezinfekce UV zářením nebo sloučeninami obsahujícími chlór, dále pak fyzikální metody (membránové filtrace, pískové filtrace, náplňové filtry, filtrační lože aj.), fyzikálně chemické čištění a biologické procesy, většinou jako doplněk membránových čištění, při kterých se kromě aktivačních procesů používají i biofiltry. Nejlepší kvality vyčištění šedých vod lze dosáhnout kombinací výše zmíněných procesů (Bartoník et al., 2012b). Další možné dělení je dle potřeby elektrické energie, tedy zda je pro metodu čištění potřeba, či nikoliv (např. gravitační metody pomocí pískových zemních filtrů).

Na trhu již existují hotové produkty, např. komplexní čistírny šedých vod pro výrobu tzv. „bílé vody“. I když výrobci jsou různí, princip zůstává podobný. Součástí takového zařízení je mechanické předčištění, 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 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

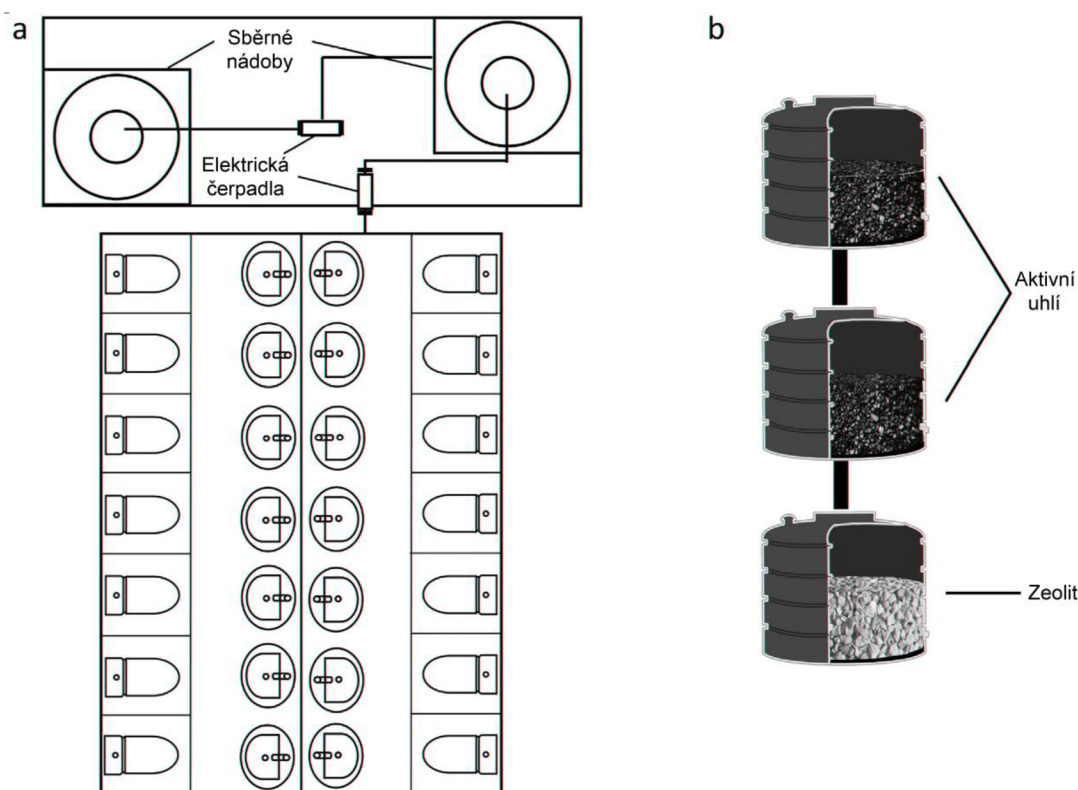


Obrázek 8: Technologické schéma čistírny šedých vod (Bartoník et al., 2012a). Legenda: 1) Jemné síto, 2) Dávkování NaOH, 3) Přečerpávání šedé vody do aktivační nádrže, 4) Přívod pitné vody, 5) Membránový modul, 6) Dmychadlo, 7) Čerpadlo permeátu, 8) Ponorné čerpadlo, 9) Membránová tlaková nádoba, 10)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

spodní části se nachází aerační systém 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 akumulární nádrže vyčištěné vody. Voda z akumulární 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 akumulární nádrže vyčištěné vody v případě nedostatku šedých či srážkových vod. Schéma zapojení ukazuje Obrázek 8.

Ve světě byly zkoumány různé způsoby čištění šedých vod, které berou v potaz i místní podmínky – a to jak přírodní, tak materiálové. V Jižní Africe byl vyzkoušen princip tzv. „mulčovací věže“, tedy válce naplněného směsí mulče, hrubého písku, jemného a hrubého štěrku (Zuma et al., 2007). V Kodani v Dánsku byla do suterénních prostor bytového domu instalována čistírna šedých vod, která se skládá z primární usazovací nádrže, rotačního biologického stykače (angl. RBC), což je biologický proces čištění s fixním filmem používaný při sekundárním čištění odpadních vod po primárním čištění. Primární proces úpravy zahrnuje odstranění písku a hrubého suspendovaného materiálu přes prosévací proces, po kterém následuje usazování nerozpuštěných látek. Následuje sekundární usazovací nádrž, pískové usazovací nádrže a dezinfekční jednotky s ultrafialovým zářením a zařízení na čištění provozní vody. Na toto zařízení je napojeno 84 bytů, které následně vyčištěnou vodu používají pro splachování toalet a závlahu (Revitt, 2011). Dalším systémem na čištění šedých vod vhodným pro odlehlé oblasti bez elektřiny je filtrační zařízení na bázi aktivního uhlí a zeolitu doplněné solárními panely, které pohánějí pumpy. Zachycená šedá voda se ukládá do akumulárních nádrží, kde je postupně upravována filtračním systémem. Ten se skládá ze dvou částí aktivního uhlí a jedné části zeolitu. Pro dezinfekci se používá chlór. Upravená šedá voda je uložena v nádrži s filtrovanou vodou, aby mohla být později použita např. k zavlažování (Rodríguez, 2021). Schéma zařízení z Chile ukazuje Obrázek 9.

Jinou alternativu v čištění šedých vod představuje pomalá písková filtrace. V případě nahrazení písku odpadem, jako filtračním médiem, má takové řešení dvojnásobný pozitivní dopad na životní prostředí. Studie rovněž uvedly jako filtrační média využití organického odpadu, jako části cukrové třtiny, piliny, otruby a borovicovou kůru (Zipf et al., 2016).

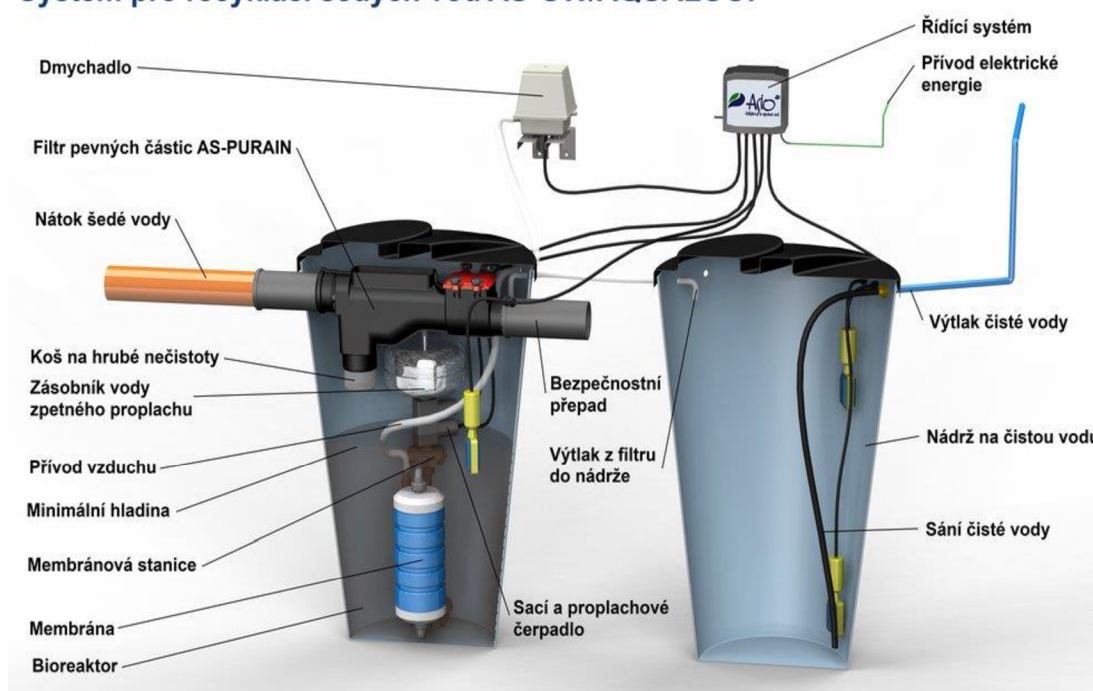


Obrázek 9: Schéma čistímy šedých vod. a) pohled shora, b) boční pohled se třemi sekcemi filtračního materiálu (Rodríguez, 2021).

Variantou je kompaktní pískový filtr (angl. DCSF). Jedná se o upravenou konstrukci pískového filtru, ve kterém je písek rozdělen do několika vrstev o výšce přibližně 10 cm, z nichž každá je umístěna v pohyblivé zásuvce, která je stohována vertikálně, každou další zásuvku odděluje 10 cm prostoru. Tento systém se snaží překonat problémy, které se běžně vyskytují v tradičních pískových filtrech, jako je zanášení, vznik zápachu a potřeba velkého pozemku pro zbudování filtru. Studie ukázala ekonomické přínosy a systém byl přijatelnou a proveditelnou metodou čištění šedé vody s minimálními nároky na údržbu (Assayed, 2015). Podobné řešení poskytuje i gravitační systém čištění šedé vody sloupem aktivního uhlí, písku a šterku (Samayamanthula et al., 2019) či PVC válce naplněné pískem sloužící jako filtrační kolona (Spychała et al., 2019). Dalším systémem uplatňujícím se v rámci čištění šedých vod v hustě zastavěných oblastech může být tzv. GROW (angl. Green Rooftop Water Recycling System) (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).

Dá se říci, že se ve světě přístup rozdělil na dva hlavní proudy – high-tech řešení (biologické čištění a separace kalu a bakterií membránami) nebo extenzivní řešení (vertikální biofiltry). Membránové ČOV se většinou používají ve veřejných budovách, kde se řeší větší množství vod, a kde je k dispozici kvalifikovaná obsluha, která pravidelně na stav technologií dohlíží a zajišťuje nutné čištění membrán kvůli jejich zanášení (Pidou, 2006). Extenzivní přístup se pak volí tam, kde je třeba nároky na obsluhu minimalizovat, tj. v rodinných domech a tam, kde je místo (zahrada) a poptávka po užitkové vodě (závlaha zeleně) (Plotěný, 2021b). Obrázek 10 ukazuje schéma komerčního systému nabízeného v rámci čištění šedých vod v ČR.

Systém pro recyklaci šedých vod AS-GW/AQUALOOP



Obrázek 10: Systém pro recyklaci šedých vod AS-GW Aqualoop (Asio, spol. s.r.o., 2023b).

Legislativa, či lépe řečeno česká technická norma ČSN 75 6780 Využití šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích (ČSN 75 6780, 2021), definuje čištěnou šedou vodu následovně: „Čištěná voda má být hygienicky (bakteriálně) nezávadná, pokud možno bezbarvá, bez plovoucích částic, a i po dlouhodobější akumulaci bez zápachu. Technologie čištění šedých vod musí být pro daný účel navržena tak, aby nevniklo žádné ohrožení veřejného zdraví.“ Následně pak uvádí dosud známé technologie čištění a dělení podle typu procesu na mechanické čištění (sedimentace, filtrace), chemické čištění (koagulace, elektrokoagulace, fotokatalýza, pokročilé oxidační procesy), fyzikální čištění (adsorpce nerozpuštěných látek na filtračním loži pískového filtru, membránová filtrace), biologické čištění (biofilmové

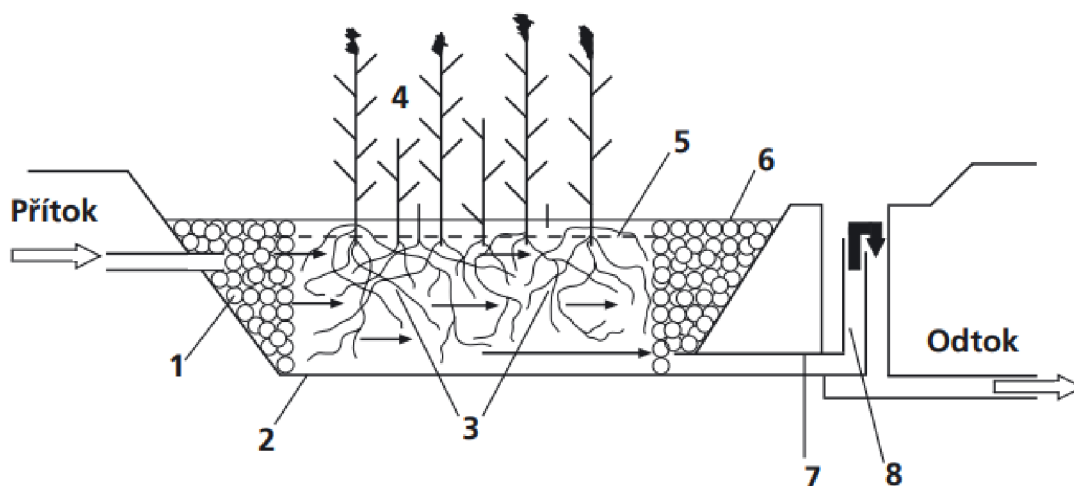
reaktory, aktivační nádrže, membránové bioreaktory, biologické provzdušňovací filtry, dezinfekce) a přírodní způsoby čištění (pískové filtry, kořenové čistírny, vertikální biofiltry) (ČSN 75 6780, 2021).

2.3 Přírodní způsoby čištění šedých vod

2.3.1 Kořenové čistírny odpadních vod

Kořenové čistírny odpadních vod (KČOV, půdní filtry s mokřadní vegetací) se řadí spolu s půdními (zemními) filtry (bez vegetace), biologickými nádržemi (součást stabilizačních nádrží), akvakulturami a bioeliminátory k druhům přírodního způsobu čištění (Šálek et al., 2008).

Tento extenzivní způsob využívá fyzikální, chemické a biologické samočistící procesy, které probíhají ve vodou plně nasyceném půdním prostředí. KČOV dělíme do dvou základních skupin podle typu proudění – s horizontálním a s vertikálním prouděním (Sojka, 2004). Dále je dělíme podle druhu použité vegetace na systémy s plovoucí vegetací, na systémy s rostlinami s plovoucími listy, s ponořenou (tzv. submerzní) vegetací a nejpočetnější skupinou jsou pak systémy s vynořenou (tzv. emerzní) vegetací. Další dělení umělých mokřadů je pak podle přítomnosti vodní hladiny, tedy na ty s povrchovým tokem a podpovrchovým tokem (Vymazal, 2004). Typické uspořádání kořenové čistírny s horizontálním průtokem ukazuje Obrázek 11.



Obrázek 11: Obr. 2. Typické uspořádání kořenové čistírny. Legenda: 1 – distribuční zóna (kamenivo, 50–200 mm), 2 – nepropustná bariéra (PE nebo PVC), 3 – filtrační materiál (kačírek, štěrk, drcené kamenivo), 4 – vegetace, 5 – výška vodní hladiny v kořenovém loži nastavitelná v odtokové šachtě, 6 – odtoková zóna (shodná s distribuční zónou), 7 – sběrná drenáž, 8 – regulace výšky hladiny (Vymazal, 2004).

Odpadní voda se v KČOV čistí za pomoci řízeného průtoku předčištěné odpadní vody umělým mokřadem s mokřadními rostlinami. Mezi hlavní procesy patří 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).

U systémů s plovoucí vegetací se používají především okřešky (*Lemna spp.*) a vodní hyacinty (*Eichhornia crassipes*). Vzhledem k vysoké produkci biomasy a její sklizni, k nutnosti provzdušňování a problematice růstu rostlin v našich klimatických podmínkách, je provoz těchto systémů v našich zeměpisných šířkách problematický a neekonomický. Podobně je tomu také u systémů s rostlinami s plovoucími listy (Vymazal, 2004). U systémů se submerzní vegetací je nutné, aby čištěná voda obsahovala pouze malé koncentrace nerozpuštěných látek a vyšší obsah rozpuštěného kyslíku. Pak u požitých rostlin, kterými jsou např. morovinka hustolistá (*Egeria densa*), vodní mor kanadský (*Elodea canadensis*) či přeslenice vodní (*Hydrilla verticillata*) není limitována fotosyntéza a dochází ke správné funkci čištění (Vymazal, 2004). Nejvíce využívanými systémy jsou pak ty s emerzní vegetací. Mezi nejpoužívanější rostliny nejen v Česku je možné zařadit orobinec úzkolistý i širokolistý (*Typha angustifolia*, *Typha latifolia*), rákos obecný (*Phragmites australis*), chrastici rákosovitou (*Phalaris arundinacea*), zblochan vodní (*Glyceria maxima*) a kosatec žlutý (*Iris pseudacorus*) (Šálek et al., 2008).

Kořenové čistírny odpadních vod jsou díky svému charakteru vhodné zejména při přerušovaném či nárazovém provozu zdroje odpadních vod, využití najdou zejména u rodinných domů, rekreačních objektů (chaty, chalupy) nebo na letních táborech. Dokážou se přizpůsobit kolísání koncentrací znečištění a celkovému produkovanému množství (Šálek et al., 2012). Dobré výsledky prokazují při odstraňování organických a nerozpuštěných látek (Vymazal, 2004). Při čištění šedé vody z umyvadel a sprch byla zjištěna vysoká účinnost při odstraňování nerozpuštěných látek a BSK 90-97 % při využití KČOV osázené rákosem obecným (*Phragmites australis*) (Winward et al., 2008), často také bývají použity jako třetí stupeň čištění za mechanicko-biologickými čistírnami nebo jako obecní čistírny do 1 000 EO. Nevhodné jsou naopak pro čištění průmyslových a infekčních vod (Sojka, 2004). Před vstupem odpadní vody do KČOV je vždy nutné z ní odstranit nerozpuštěné látky, aby nedocházelo k ucpávání filtračního lože. K tomu slouží různé prvky mechanického předčištění, jako jsou lapáky písku, česle či štěrbinové nádrže (Vymazal, 2004).

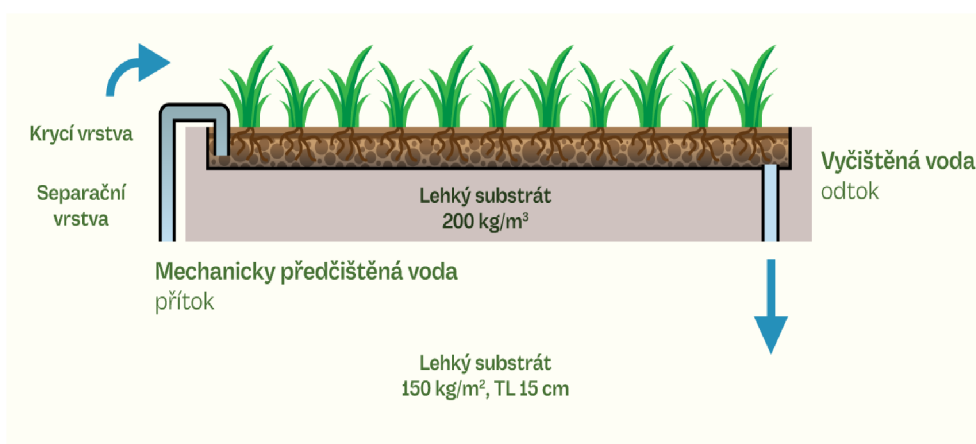
Dalším aspektem rozšíření a využívání KČOV je jejich estetický vzhled v určitých oblastech. Pokud se např. jedná o vysázení rákosu obecného, nemusí to být kladně

přijato veřejností, která by raději měla okrasný charakter kořenové čistírny (Calheiros et al., 2015). Proto byly v rámci vědeckých studií zkoumány i účinnosti čištění za pomoci okrasných rostlin v horizontálních KČOV s podpovrchovým prouděním (Kotsia et al., 2020), avšak ukázalo se, že největší slabinou těchto řešení je jejich nepřizpůsobivost v obdobích, kdy do KČOV neproudí dostatek vody k čištění a rostliny usychají.

Každý druh přírodního způsobu čištění, stejně jako ostatní druhy čištění šedých vod, má své výhody a nevýhody. Kořenové čistírny mohou fungovat i v rovnějších profilech, než např. pískové filtry. Sice jsou náročné na prostor, ale stejně jako u ostatních přírodních způsobů čištění je výhodná jejich ekonomická stránka, minimální požadavky na údržbu, nepotřebují elektrickou energii a jsou méně náchylné k poruchovosti. V závislosti na zemi a rozsahu KČOV je doba návratnosti investice od jednoho roku do dvaceti let (De Simone Souza et al., 2016). Nejsou však vhodné pro odstranění fosforu a amoniaku (Vymazal, 2004).

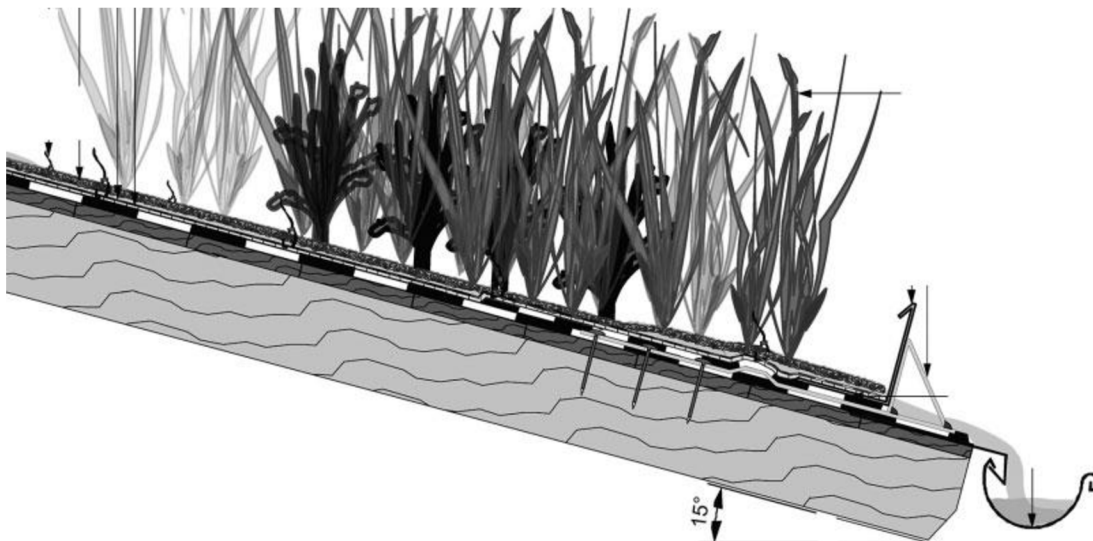
2.3.2 Přírodní systémy (NBS)

Ve světě se pro přírodní způsoby čištění, jako ekonomicky šetrná řešení, používá angl. zkratka NBS – Nature-based Solution, která představují energeticky účinné řešení s estetickým přístupem k ochraně životního prostředí. Jejich nevýhodou je velká náročnost na prostor. Vertikální NBS tento problém překonávají, ale musí využívat lehká média, aby se snížily náklady na jejich výstavbu. Jako pěstební média je možné použít např. perlit, kokosové vlákno, LECA a písek, případně nová média z místních zdrojů, jako jsou datlová semena a kávová sedlina (Pradhan et al., 2020).



Obrázek 12: Princip fungování mokřadní střechy (Kořenovky, 2023).

Na podobném principu, jen horizontálně, fungují i tzv. „čistící zahrady“ z okrasných rostlin, které poskytují technicky i ekonomicky proveditelné řešení pro čištění šedých vod, jehož další výhodou je zlepšení estetického vzhledu okolí městských, poloměstských a turistických oblastí (Kotsia et al., 2020). NBS, jako jsou čistící mokřady, rybníky a laguny, se aktivně používají jako spolehlivé a ekonomicky účinné technologie čištění odpadních vod již několik desetiletí. Přibývá inovativních přístupů při jejich používání při čištění odpadních vod, jako jsou živé stěny nebo zelené střechy (Dotro et al., 2017). V posledních letech se začínají globálně prosazovat i tzv. mokřadní střechy či mokřadní fasády (Kořenovky, 2023). Princip fungování ukazuje Obrázek 12. Mokřadní střechy i fasády jsou vhodné jako součást modro-zelené infrastruktury budoucnosti, a to zejména ve městech s akutním nedostatkem místa, v rámci decentralizovaných systémů čištění odpadních vod. Mezi další pozitiva lze řadit retenci srážkových vod a celkové zlepšení klimatu jak v budovách, tak v celém prostředí zástaveb (De Gissi et al., 2017b; Zehnsdorf et al., 2019). Tyto systémy navíc dosahují při relativně mělkém profilu střední až vysoké účinnosti při čištění šedých vod, v závislosti na klimatických podmínkách (Ramprasad et al., 2017). Podobné výsledky při využití střech pro čištění ukázaly i testy při použití rohoží s bahenními rostlinami s výškou kořenové vrstvy pouze 0,1 m (Zehnsdorf, 2016) schéma ukazuje Obrázek 13.



Obrázek 13: Uložení rohože s rostlinami (Zehnsdorf, 2016).

2.3.3 Podzemní pískové filtry

Podzemní pískové filtry (nebo také půdní filtry) jsou taktéž řazeny mezi přírodní způsoby čištění a používají se zejména na dočištění již čištěných, nejen šedých vod. Bývají řazeny až za umělé procesy čištění, tím se zvyšuje jejich účinnost. Jejich nevýhodou je kolmatace (zanášení) a vzhledem k problematické přístupnosti pro případné opravy či výměnu filtračního materiálu je třeba minimalizovat riziko, že se hrubé nečistoty či kaly dostanou přímo do filtračních vrstev. Při využití podzemního pískového filtru i KČOV se většinou nejprve zařazuje právě kořenová čistírna před půdní filtr pro odstranění problematického kalu (Šálek et al., 2008). Těleso půdního filtru se skládá z vrchní rozvodové zóny z hrubého kameniva nebo šterku frakce 16/32 mm, samotné čistící zóny s pískem frakce 2-4 mm a sběrnou vrstvou, která se umísťuje na dno tělesa. Následně je pak voda odvedena do odtokové šachty a potrubím z filtru ven, kde je buď infiltrována do půdy, nebo připravena k dalšímu dočištění či opětovnému využití. Na povrch z filtru vystupují pouze servisní poklop odtokové šachty sloužící pro kontrolu a případný odběr vzorků a odvětrávací potrubí. Čištění ve filtru probíhá za pomoci biologické membrány, která se utváří na filtračním písku a má formu šlemu, který brání rychlému průtoku vody a zajišťuje její postupnou infiltraci a následně biologické čištění mikroorganismy. Kal zůstává po celou dobu uvnitř tělesa a jeho množství ovlivňuje jak správnou funkci pískového filtru, tak jeho životnost (Šálek et al., 2008). Mezi hlavní výhody půdních filtrů patří jejich sezónnost, resp. přerušovaný provoz (rodinné domy, rekreační objekty, kempy), takřka bezúdržbová činnost, energetická nezávislost a ekonomická výhodnost. Naopak negativem může být jejich omezená životnost 15-20 let (při bezproblémovém provozu), nutnost vysokého spádu (min. 0,9 – 1,3) a zastavěná plocha. Na trhu existuje celá řada společností, které dodávají prefabrikované výrobky připravené k instalaci do připraveného zemního lože. Většinou se jedná o plastové, vodotěsné obdélníkové nádrže (jejich velikost závisí na předpokládaném množství vody k čištění podle počtu obyvatel) s připraveným rozváděcím i sběrným potrubím a oddělenou čistící šachtou, které se pak přímo na místě plní filtračním materiálem dle požadovaných hodnot. Aby nedocházelo ke smíšení jednotlivých složek filtru, používá se k separaci geotextílie. Následně se filtr zasype zeminou, která se většinou zatravní a místo se stane pochozím (Biowa, 2021).

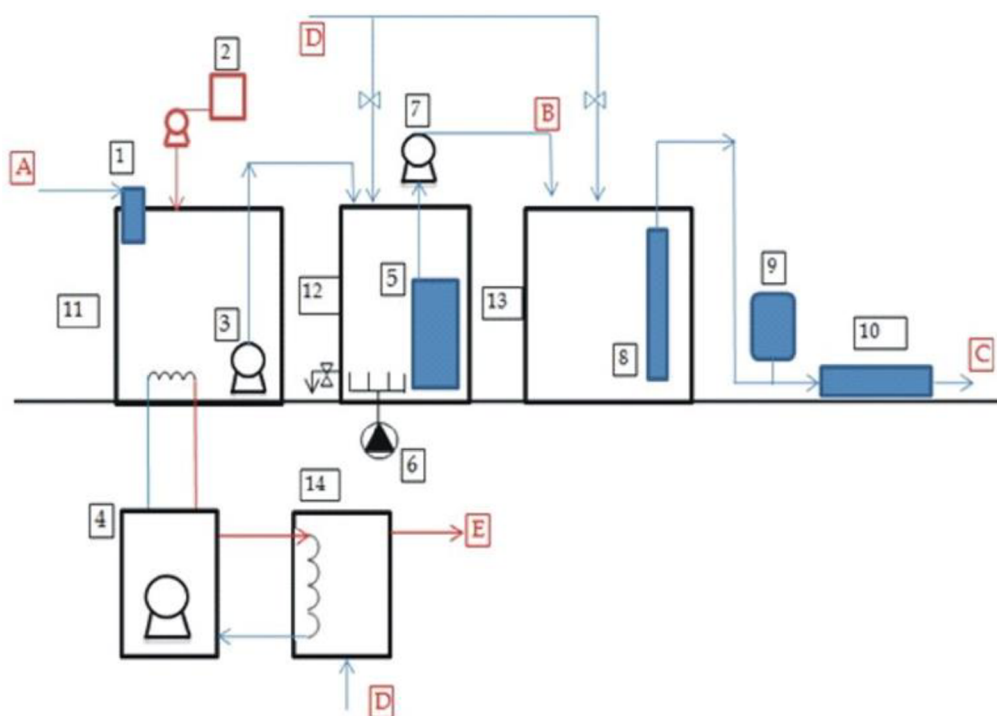
2.4 Využití šedých vod

„Voda není komerčním produktem jako ostatní výrobky, ale spíše dědictvím, které musí být chráněno, střeženo a nakládáno s ním jako takovým.“ (Směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky). Hlavním úkolem šedých vod je právě nahrazení pitné vody všude tam, kde je to možné a dává to smysl. Pro zvýšení využívání šedých vod platí obecně tři hlavní zásady – musí být položeny legislativní základy a poskytnuta finanční podpora ze strany státu, je potřeba dostatečná informovanost uživatelů a musí být na trhu finančně dostupné produkty pro čištění šedých vod (Santos et al., 2011). Pokud jsou tyto základní podmínky splněny a existuje o využití šedých vod obecné povědomí, nic nebrání např. majitelům rodinných či bytových domů a developerským firmám realizovat projekty, které známých výhod využijí. K motivaci používat tyto systémy ve větším měřítku pak slouží certifikace budov z hlediska ekologického stavitelství, např. LEED (angl. zkratka Leadership in Energy and Environmental Design), nebo BREEM (angl. zkratka Building Research Establishment Environmental Assessment Method), které motivují projekční společnosti k využití technických řešení vedoucích k recyklaci pitné vody a redukci spotřeby energií (Asio, 2023).

Šedé vody se mohou podílet i na udržování konceptů modrozelené infrastruktury, např. pro zavlažování zelených střech na bytových, administrativních či průmyslových komplexech, zavlažování rozšiřující se městské zeleně (čímž přispívají k ochlazení měst v rámci boje proti globálnímu oteplování), mohou pomoci s nedostatkem vody v rozvojových zemích a oblastech s kritickým nedostatkem vody a tím v konečném důsledku zmírnit dopad migrační krize. Při dostatečné hygienizaci mohou být použity v zemědělství ve formě kapkové závlahy (Ministerstvo zahraničních věcí státu Izrael, 2020) či hydroponie.

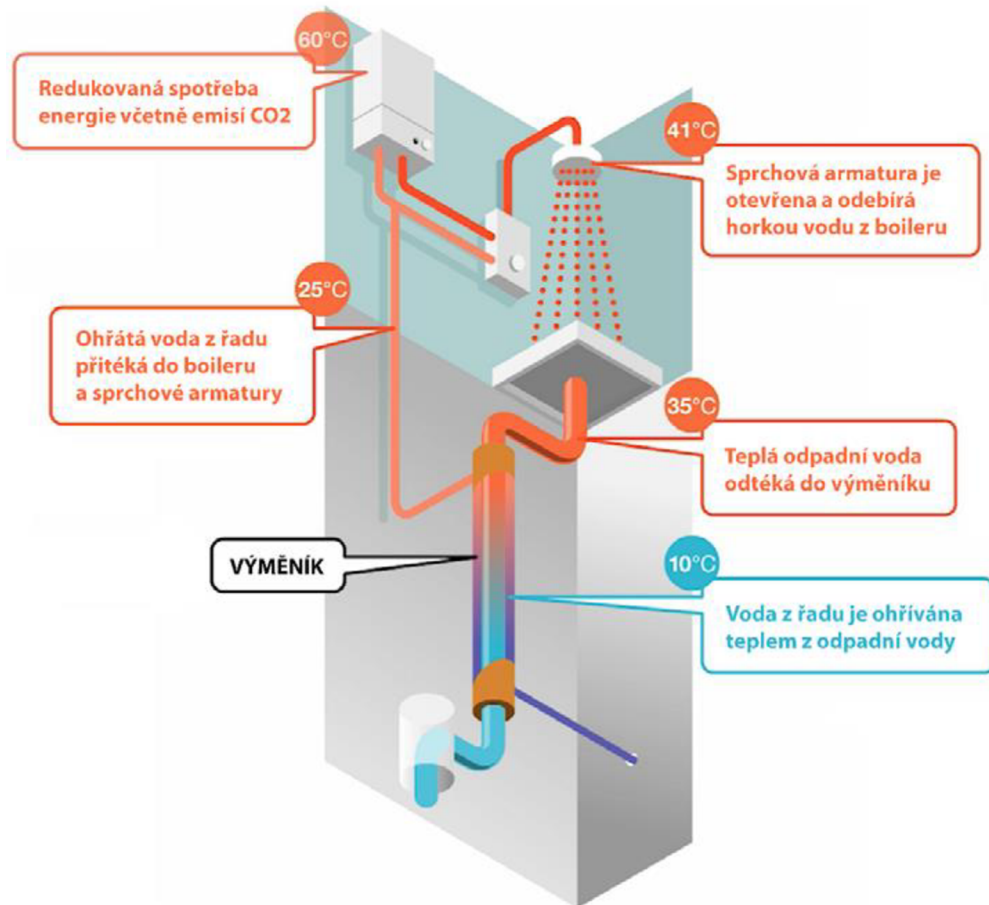
V Česku se v posledních letech množí velké developerské projekty, které problematiku šedých vod řeší. Počínaje prvním projektem u nás, hotelem Mosaic House, který byl jakýmsi průkopníkem v této oblasti, kdy byla šedá voda využita např. pro splachování toalet (Ekolist.cz, 2010), podobně jako v hotelu Palma Beach na Mallorce (March, 2004), přes bytové domy Botanica K (SKANSKA a.s., 2019) budovu SOŠ (TZBinfo, 2022) až po první modrozelenou čtvrť Modřanský cukrovar v Praze (SKANSKA a.s., 2021) či chystanou udržitelnou městskou čtvrť Chytré Líchy v Židlochovicích (Židlochovice, 2023).

Alternativní pohled na využívání šedých vod je z hlediska jejich energetického potenciálu. Přes výměníky z nich lze získávat odpadní teplo na zpětný přehřev teplé vody, a to dvěma způsoby – centrálně, nebo lokálně. Jednotlivá řešení ukazuje Obrázek 14, resp. Obrázek 15.



Obrázek 14: Schéma zapojení centrálního systému akumulace tepla v rámci čistírny šedých vod (Bartoník et al. 2012b). 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, 14) Zásobník TUV, 15) Tepelný výměník, A) Šedá voda, B) Permeát, C) Vyčištěná šedá voda do spotřebišť, D) Pitná voda, E) Teplá užitková voda (TUV).

Lokální systémy odběru tepla jsou vhodnější pro rodinné domy, ve kterých je nižší produkce šedých vod i celkový průtok. Tomu odpovídají i nižší investice celého řešení. Centrální systémy jsou sice finančně náročnější, ale lze u nich dosáhnout většího tepelného zisku a hodí se tedy pro velké provozy typu škol, hotelů, wellnes center, lázní apod. Návratnost u těchto zařízení je tak kratší (Bartoník et al., 2012b).



Obrázek 15: Příklad zapojení individuálního výměníku pro předehřev vody pro sprchu (Česká rada pro šetrné budovy, 2022).

Pro získávání tepla z šedých vod se využívají rekuperační, regenerační nebo směšovací výměníky, nebo při lokálním využití, např. přímo ve sprchách, tzv. protiproudé trubkové výměníky (Česká rada pro šetrné budovy, 2022).

U každého projektu je třeba vždy posoudit, zda se recyklace šedých vod vyplatí. Je třeba vycházet z dostupnosti vstupů a výstupů na konkrétní lokalitě a jejich ceny. Obecně se to vyplatí tam, kde je nedostatek pitné vody a je nutno ji např. dovážet, nebo tam, kde je drahá likvidace odpadních vod (Asio, 2023).

Rozšiřování využití šedých vod v budoucnu má svá úskalí, neboť se objevují a ve složení šedých vod zjišťují stále nové polutanty, jako jsou mikro (nano) plasty, pesticidy, léčiva (zejména antibiotika), hormonální látky a další, které ovlivňují životní prostředí a mohou představovat riziko pro naše zdraví (Růžička, 2021). Nezbyvá než věřit, že i s tímto problémem si lidstvo poradí.

2.5 Legislativa v oblasti šedých vod

V České republice jsme byli legislativně oproti vyspělejšími zemím, které řeší problematiku šedých vod, poněkud nazpět. V posledních letech se daří tento deficit postupně srovnávat, ať už transkripcí evropských norem, překlady a vydáváním ČSN norem, tak novelizacemi v zákonech. Takřka po deseti letech se podařilo vydat neočekávanější českou normu řešící problematiku šedých vod s názvem ČSN 75 6780 Využití šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích, kterou Česká agentura pro standardizaci dokonce ocenila za popularizaci technické normalizace (Hodobod, 2022). Jak už název napovídá, řeší problematiku srážkové a šedé vody platnou pro projektování, montáž, zkoušení a údržbu zařízení v budovách i přilehlých pozemcích (ČSN 75 6780, 2021). Je národním předpisem, který doplňuje a navazuje na ČSN EN 16941-1 a ČSN EN 16941-2 a obsahuje požadavky, které nejsou v těchto evropských normách zpracovány dostatečně podrobně, nebo nejsou uvedeny vůbec (ČSN 75 6780, 2021) a dokumentuje naplňování strategií pro adaptaci na změnu klimatu či cirkulární ekonomie v ČR (Plotěný, 2021a). Konečně je tedy v Česku k dispozici jasná definice užitkové vody a její parametry, které pomohou i stavebníkům při projektování jednotlivých řešení pro recyklaci vody a její další využití k zalévání, splachování či praní. Třídy kvality recyklované vody, minimální požadavky na kvalitu vody a monitoring jsou obsaženy v Nařízení evropského parlamentu a Rady (EU) 2020/741 ze dne 25. 5. 2020 o minimálních požadavcích na opětovné využívání vody. Hodnocením rizik se zabývá i norma ČSN ISO 20761 (75 9021) Opětovné využití vody v městských oblastech. Popisuje ukazatele a metody hodnocení bezpečnosti opětovného využití vody a přijetí veřejnosti pro uživatele normy kteří navrhují (projektanti), provozují (provozovatelé) a kontrolují (úřady) (ČSN 75 9021, 2020). Jako směrnice pro hodnocení a management zdravotních rizik souvisejících s patogeny obsaženými v recyklované vodě existuje ČSN ISO 20426 (75 9022) (ČSN 75 9022, 2020). Pro hodnocení účinnosti technologií čištění u systémů k opětovnému využití vody s porovnáním naměřených a cílových hodnot slouží ČSN ISO 20468-1 (75 9020) (ČSN 75 9020, 2020). Podrobný seznam dalších platných právních předpisů souvisejících s šedou vodou je možné nalézt v části Předmluva ČSN 75 6780 (ČSN 75 6780, 2021). Dále existují různé analýzy rizik, např. metoda kvantitativního stanovení mikrobiálního rizika (QMRA) či tzv. DALY (z angl. disability-adjusted life years) k porovnání dopadů na zdraví způsobených expozicemi různými kontaminanty (Matějů et al., 2021).

Požadavky na kvalitu pro opětovné použití šedých vod jsou k dispozici jako předpisy a pokyny v celé řadě zemí, včetně stanovení limitů. Vždy záleží na účelu

opětovného použití, na původu šedých vod a na možnosti kontaktu člověka s recyklovanou vodou (Matějů et al., 2021). V rámci EU se používá již avizovaná norma EN 16941-2 (prEN 16941-2, 2017). V Austrálii např. existuje předpis „Australian guidelines for water recycling (Phase 1 a 2)“, kterým byl zaveden kompletní soubor pokynů pro řízení zdravotních a environmentálních rizik a pokrývá použití recyklované šedé vody a upravené odpadní vody pro specifické účely, vč. zalévání a zavlažování zahrad i městské zeleně, mytí aut, protipožární a hasící systémy, chladicí vody a průmyslové využití (Matějů et al., 2021). Ve Velké Británii existuje několik norem, které řeší různé aspekty problematiky šedých vod, např. BS 8525-1:2010 Greywater systems. Code of practice, BS 8525-2:2011 Greywater systems. Domestic greywater treatment equipment, či BS 8595:2013 Code of practise for the selection of water reuse system. Své pokyny či doporučení vydala i Světová zdravotnická organizace (WHO). V USA jsou v rámci šedých vod již řešeny i materiály a barevnost jednotlivých potrubí pro vyčištěnou šedou vodu na stavbách (USEPA, 2012). Zatímco např. v japonském Tokiu jsou povinné instalace technologií pro opětovné využití šedé vody pro všechny budovy větší než 30 000 m², nebo s potenciálem produkce šedých vod větší než 100 m³ na den (Oron et al., 2014), tak v Latinské Americe není recyklace šedých vod ještě tak běžná, a to zejména z důvodu nedostatku hygienicky ošetřené infrastruktury. A tam, kde jsou již připraveny legislativní podmínky a používání šedé vody je povoleno (např. v Chile), tato opatření nejsou zase známa mezi veřejností (Rodríguez, 2021).

Produkce šedé vody, Y_G , v litrech za den (l/den) se vypočítá podle aktuální normy (ČSN 75 6780, 2021) dle následujícího vzorce:

$$Y_G = n \cdot (Q_s \cdot t_s \cdot u_s + V_{BT} \cdot u_{BT} + Q_{HWP} \cdot t_{HWP} \cdot u_{HWP} + V_{WM} \cdot u_{WM} + Q_{KS} \cdot t_{KS} \cdot u_{KS} + V_{DW} \cdot u_{DW})$$

kde je

Y_G produkce šedé vody v litrech za den (l/d);

n počet osob;

Q_s průtok vody od sprchy v litrech za minutu (l/m);

t_s doba používání sprchy v minutách (min);

u_s počet využití sprchy na osobu a den (1/osoba /d);

V_{BT} objem vody při použití vany v litrech (l) (nejedná se o maximální objem vany);

u_{BT} počet využití vany na osobu a den (1/osoba/d);

Q_{HWP} průtok vody od umyvadla v litrech za minutu (l/min);

t_{HWB} doba používání umyvadla v minutách (min);

u_{HWB} počet využití umyvadla na osobu a den (1/osoba/d);

V_{WM} objem vody na jeden cyklus praní v pračce v litrech (l);

u_{WM} počet cyklů praní v pračce na osobu a den (1/osoba/d);

Q_{KS} průtok vody výtokovou armaturou u kuchyňského dřezu (teplá a studená voda) v litrech za minutu (l/min);

t_{KS} doba používání kuchyňského dřezu v minutách (min);

u_{KS} počet využití výtokové armatury u kuchyňského dřezu na osobu a den (1/osoba/d);

V_{DW} objem vody na jeden cyklus mytí nádobí v myčce v litrech (l);

u_{DW} počet cyklů mytí nádobí v myčce na osobu a den (1/osoba/d).

Typickou průměrnou denní produkci a potřebu šedé vody pak ukazuje Tabulka 7.

Obyvatelé	Produkce ^a	Potřeba		
		WC	Praní ^b	Jiná použití nepitné vody ^c
1 osoba	60	35	15	10

^a Produkce ze sprch, van a/nebo umyvadel.
^b Tyto údaje vycházejí z průměrné denní potřeby. Pračka obvykle potřebuje 30 l až 60 l na jeden cyklus praní.
^c Například zalévání zahrad.

Tabulka 7: Průměrná denní produkce a spotřeba šedé vody (ČSN 75 6780, 2021)).

Závěrem je tedy možné říct, že i když v některých zemích není legislativně celá problematika šedých vod dostatečně řešena, v Česku se situace podstatně zlepšila. Norem řešících uspořádání zařízení a způsobu ověřování funkce je celá řada, stejně jako těch pro navrhování zařízení z hlediska nejrůznějších výpočtů či řešení rizik s šedou vodou a její recyklací spojených.

3. Metodika experimentální části

3.1 Zájmová lokalita

Tábořiště spolku a místo konání letních dětských táborů, které je zájmovou lokalitou, se nachází poblíž obce Číměř v jižních Čechách, cca 12 km JJV směrem od Jindřichova Hradce, v přírodním parku Česká Kanada v katastrálním území Číměř [623865]. Je situováno na louce v těsném sousedství lesa bez možnosti připojení na elektřinu i rozvody pitné vody, toalety jsou řešeny formou suchých latrín. Celková rozloha katastru tábora je 7 807 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, 2022). Vzhledem k umístění louky na kopci není v bezprostředním okolí žádný využitelný zdroj nepitné, např. povrchové vody ve formě vodoteče. Veškerá voda je do tábořiště dovážena v barelech z obecního vodovodu nedaleké obce Číměř, jedinou výjimkou je 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 voda nepitná, užitková pro osvěžení při hrách, na zalévání bylinkového záhonu, na zchlazení při indiánské sauně, či při hašení ohniště. Dovezená pitná voda se rovněž užívá k veškeré hygieně táborníků, tj. k mytí rukou a čištění zubů (za pomoci menších kanýstrů s kohoutky), sprchování, vaření a mytí nádobí. Před realizací níže popsaného řešení se veškerá odpadní voda pouze infiltrovala do půdy bez jakékoliv úpravy pomocí tzv. „vsakovací jámy“.

3.2 Návrh řešení čištění šedých vod

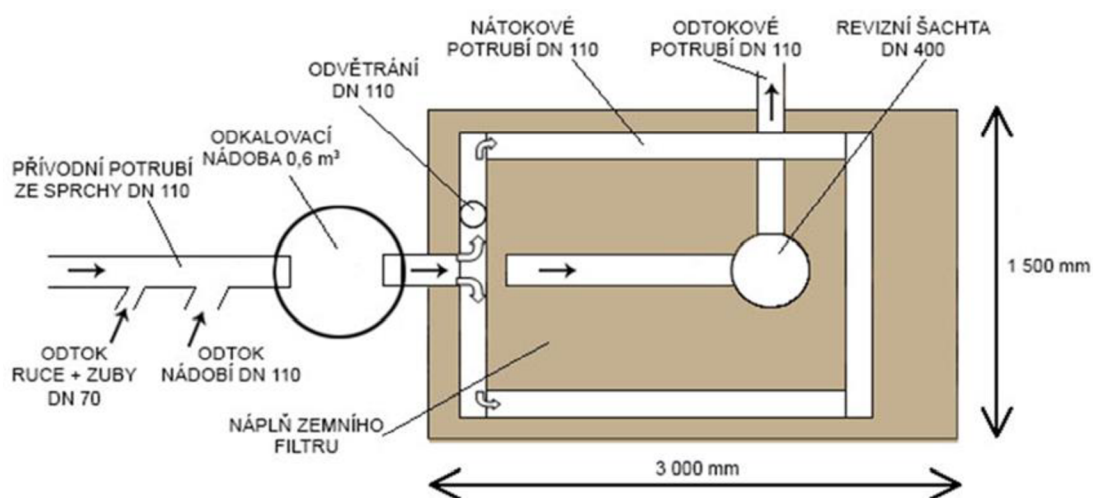
Pro účely experimentu s čištěním šedých vod v rámci letního dětské tábora bylo překročeno k rozhodnutí, že vzhledem k místním limitním podmínkám, jako je kapacita tábora, minimální svažitost a skladba okolního terénu, nepřítomnost elektrické energie, přerušovaný provoz a sezónnost, možnost napojení ostatních provozů, estetičnost a v neposlední řadě rovněž vzhledem k ekonomické náročnosti, že nejvhodnějším řešením pro čištění šedých vod vzniklých při táborovém provozu bude instalace zemního pískového filtru, případně doplněného o malou KČOV. Původní tezí bylo zejména zlepšení nakládání s odpadními vodami v rámci tábořiště v souladu s platnou legislativou ČR (i když zde je nutné podotknout, že dle platné legislativy zákon neukládá v rámci nakládání s odpadními vodami provozovateli letního

dětského tábora bez pevné stavby žádné povinnosti, realizace takového řešení je tedy čistě dobrovolná a přírodě prospěšná) a zároveň vyřešit jak hygienické, tak estetické podmínky okolního prostředí.

Při výběru konkrétního typu zemního pískového filtru, jako samostatné čistící jednotky, se vycházelo z výpočtu pro jeho velikost s ohledem na maximální kapacitu tábora. Ta 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 posloužil k výpočtu plochy filtru dle vzorce $S_f = \frac{PO \cdot Q_d \cdot k}{h_d}$ [m²], kde *PO* je počet obyvatel, *Q_d* je průměrná denní produkce odpadních vod [m³.os⁻¹.d⁻¹], *k* je součinitel charakterizující místní podmínky (1,0-1,6) a *h_d* je hydraulické zatížení filtru, tzv. denní náпустná výška [m.d⁻¹]. Výpočet: $S_f = \frac{70 \cdot 0,00643 \cdot 1}{0,15} = 3$ [m²] (Šálek et al., 2012). Jako nejvýhodnější místo pro umístění filtru byl zvolen nejnižší výškový bod v tábořišti, aby bylo dosaženo dostatečného gravitačního spádu ze všech provozů. Zároveň je to místo, které leží blízko provozů s očekávanou velkou produkcí šedé vody (sprcha a mytí nádobí), čímž se zjednodušil i transport odpadní vody a zkrátila se délka spojovacího potrubí. Pro transport šedé vody z mytí rukou z táborové kuchyně do filtru bylo použito kýblů a vyústění sběrného potrubí nad úroveň terénu. Při řešení financování projektu se za pomoci řady jednání 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 i filtračního písku hrubosti 2/4. Celý systém byl navržen tak, aby po ukončení sezóny mohlo být vše demontováno a uklizeno a zůstaly tak pouze zazátkované vstupy do podzemních částí filtru a příváděcího potrubí. Půdní pískový filtr byl vybrán i s vědomím, že je velmi citlivý na kolmataci a vyplavování kalu do filtru. Z tohoto důvodu byla před filtr předřazena odkalovací nádoba s objemem 1 m³ dle vlastního návrhu na bázi jednodemového septiku, do které bylo zaústěno potrubí z ostatních provozů, zejména pak z mytí nádobí.

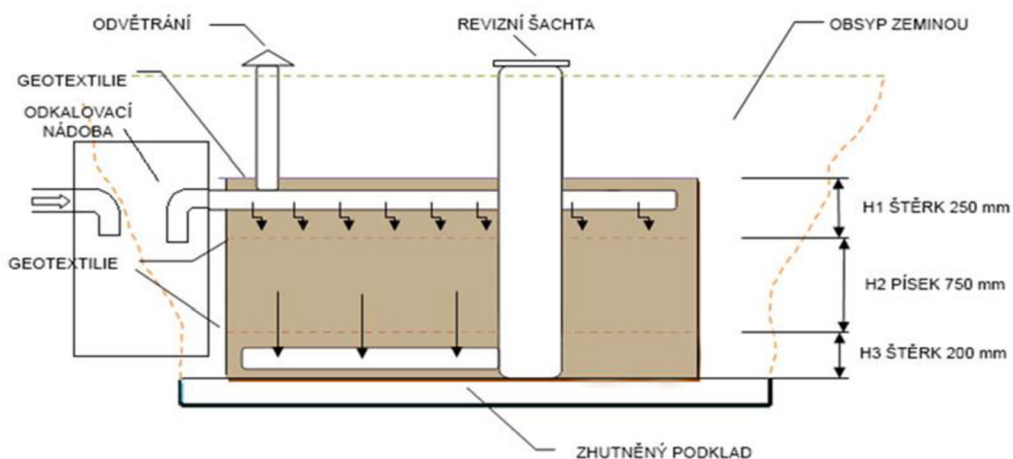
3.2.1 Instalace zemního pískového filtru

Před samotnou instalací zemního pískového filtru bylo nejprve nutné provést potřebné zemní úpravy, zejména pak výkopové práce. Bez potřebné mechanizace a pouze za pomoci ruční práce s lopatou a krumpáčem to byla práce velmi zdoluhavá, a to i vzhledem ke kamenitému podloží. Původní plán jámy s podsypem a vyložení jezírkové fólie se ukázal jako nerealizovatelný, a to zejména vzhledem k ostrým kamenům a hrozícímu riziku protržení fólie. Proto bylo následně přistoupeno k náhradnímu řešení formou prefabrikovaného korpusu. Do připravené prohlubně o rozměrech 3200 x 1700 x 1300 mm tak byla na pískový podsyp a geotextílii o gramáži 400 g/m² instalována plastová nádoba o rozměrech 3000 x 1500 x 1200 mm. Následně byl filtr obsypán směsí prosáté zeminy a šterku, která byla lehce zhutněna, aby při plnění filtračním materiálem nedošlo k deformaci výrobku. Pro odkalovací nádobu kulatého půdorysu byla rovněž vyhloubena jáma, stejně jako pro vyústění odtokového potrubí z filtru. Obojí z důvodu zachování gravitačního průtoku čištěné šedé vody. Následovalo napojení spojovacích potrubí v rámci filtru i propojení s odkalovací nádobou a dosypání samotné filtrační náplně. Jednotlivé vrstvy, každá oddělená od druhé geotextílií, byly složeny v pořadí 25 cm šterku frakce 16/32 podél sběrného potrubí u dna filtru, nad ní následovala vrstva 75 cm filtračního písku zrnitosti 2/4 a poslední vrstvu tvořilo 20 cm šterku frakce 16/32 kolem perforovaného potrubí pro rovnoměrné rozvedení šedé vody přes celou plochu filtru. Celkem bylo použito 5,4 m³ materiálu o váze cca 10 tun, z toho přes 2 m³ šterku a téměř 3,4 m³ písku. Vrchní vrstva šterku byla přikryta geotextílií a cca 40 cm prosáté zeminy z výkopu.



Obrázek 16: Schéma zapojení experimentálního zemního pískového filtru.

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, 2021). Schéma napojení jednotlivých částí ukazuje Obrázek 16 a Obrázek 17.



Obrázek 17: Řez zapojením experimentálního zemního pískového filtru.



Obrázek 18: Realizace experimentálního zemního pískového filtru, vlevo výkopové práce před usazením filtru, vpravo finální úprava po usazení.

Obrázek 18 dokumentuje průběh realizace filtru. Kompletní fotodokumentace dílčích kroků a postupu je pak uvedena v Příloze (8.1), stejně jako následné usazení a napojení odkalovací nádoby, napojení odtoků z koryta mytí rukou, čištění zubů a mycího pultu.

3.2.2 Napojení provozních míst

Před napojením táborové sprchy bylo třeba nejprve upravit původní infiltrační podloží. Pro řízený odtok šedé vody přes sběrné potrubí byla pomocí silnější jezírkové fólie a geotextilie vytvořena vyspádovaná vana s hloubkou cca 40 cm, na jejíž dno byl na další vrstvu geotextilie položen štěrk frakce 16/32 pro rozložení množství odtokové vody v čase a rovněž pro zachytávání hrubých nečistot, které by mohly potrubí ucpat. V nejnižším místě pak bylo do fólie pomocí manžet a speciálního lepidla vlepeno odpadní potrubí DN 110 a napojeno na odkalovací nádobu. Pochozí rošt pak zajistila konstrukce z teakového dřeva.

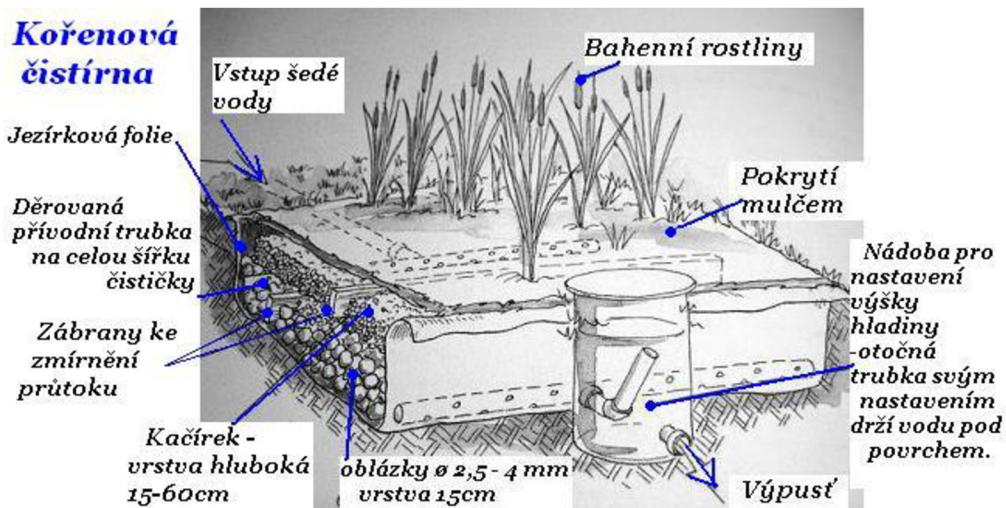
Pro napojení ostatních provozů na odkalovací nádrž bylo použito potrubí HTB uložené do vykopaných terénních rýh (na pískový zásyp) přikrytých zeminou. V zemi jsou tak patrná pouze vyústění jednotlivých potrubí. Ostatní rozvody (mycí pult tvořený z napůl rozříznutých sudů i koryto na čištění zubů) jsou po dobu, kdy není zařízení používáno, skryty pod zemí.

3.2.3 Připojení dočištění pomocí KČOV

Po prvním roce používání zemního filtru bylo v rámci pokračování experimentu rozhodnuto o rozšíření způsobu čištění šedých vod o malou KČOV se záměrem otestovat, zda se její zařazení až za zemní pískový filtr nějakým způsobem odrazí v kvalitě filtrované vody. Po zvážení možných variant byla jako nejvhodnější vybrána kořenová čistírna odpadních vod s horizontálním podpovrchovým prouděním, tedy bez volné vodní hladiny (zejména kvůli výskytu komárů, případně zápachu) s emerzní vegetací, v tomto případě s pomocí rostlin orobince širokolistého (*Typha latifolia*).

Postup byl zpočátku podobný, jako při realizaci zemního pískového filtru. Bylo potřeba rozšířit jámu s vyústěním odtokového potrubí z filtru, následně na pískové lože instalovat podpůrnou konstrukci proti možnému protržení jezírkové fólie kameny z okolního terénu. Následně bylo na přítok z filtru instalováno perforované horizontální potrubí pro rovnoměrné napuštění KČOV a celá vana byla naplněna filtračním materiálem. Jednotlivé vrstvy byly tvořeny z oblázků o průměru 2-4 mm (cca

15 cm), kačírku a štěrku (cca 40 cm) a po vysazení rostlin i mulčem. Do vany byly rovněž instalovány zábrany ke zmírnění průtoku kolmo proti proudění vody. Na odtoku z KČOV pak byla instalována odpadní trubka s otočným kolenem pro nastavení výšky hladiny pod povrchem a odebírání vzorků. Schéma zapojení KČOV i řez ukazuje Obrázek 19, výslednou podobu pak Obrázek 20. Fotodokumentace jednotlivých kroků je pak uvedena v Příloze (8.2).



Obrázek 19: Řez KČOV s horizontálním podpovrchovým prouděním (Ekovesnice.cz, 2012).



Obrázek 20: Vysazení orobince do připraveného štěrkového lože. V popředí stavitelný odtok, na regulaci výše hladiny vody v KČOV.

3.3 Monitoring dlouhodobé účinnosti

3.3.1 Frekvence a podmínky odběru vzorků

Vzorky vody byly odebírány v letech 2019–2021. V roce 2019 a 2020 vždy pouze v průběhu letního dětského tábora, v roce 2021 i během přípravných víkendů od dubna do června. Pro odebírání 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 podlážku skrz kterou voda protékala), voda z mytí nádobí (vzorky odebírány přímo z napuštěných dřezů s použitou vodou, před oplachem) a voda z odtoku filtru (používána revizní šachta zemního pískového filtru a kádinka na šňůře). V roce 2021 navíc byl odběr prováděn na výtokovém potrubí z napojené KČOV. Vzorky byly odebírány v průběhu letního dětského tábora v následujících termínech:

30. 6. - 13. 7. 2019. Průměrná teplota vzduchu v měřeném období byla 18,6 °C, o 1,9 °C nad dlouhodobým normálem. Srážkově bylo období o 25 % pod dlouhodobým normálem (ČHMÚ, 2022).

1. – 18. 7. 2020. Průměrná teplota vzduchu v měřeném období byla 17,1 °C, o 0,2 °C pod dlouhodobým normálem. Srážkově bylo období o 44 % nad dlouhodobým normálem (ČHMÚ, 2022). V tomto termínu došlo ke dvěma klimatickým událostem (přívalové deště), které ovlivnily odběr a výsledky vzorků. Dvakrát během tohoto termínu byl zemní filtr zaplaven a dostala se do něj balastní voda ze srážek.

1. – 17. 7. 2021. Průměrná teplota vzduchu v měřeném období byla 17,8 °C, o 0,2 °C nad dlouhodobým normálem. Srážkově bylo období o 25 % nad dlouhodobým normálem (ČHMÚ, 2022). V tomto termínu došlo k jedné klimatické události (přívalový déšť), která měla vliv na odběr i výsledky vzorků. V průběhu tohoto roku po zbudování KČOV byly navíc odebrány vzorky i o víkendech 17. – 18. 4., 8. – 9. 5., 29. – 30. 5. a 26. – 27. 6.

Pro zajištění stejných podmínek při odběrech a měření byla vypracována následující metodika:

- před každým odběrem vzorku popsat fixou zkumavku – označit vzorek číslem, pro jistotu ještě nalepit štítek z lepenky – psát na ni obyčejnou tužkou;
- pro každé místo odběru připravit 2 zkumavky;

- 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);
- vzhledem k časovým důvodům změřit pH, vodivost a kyslík pouze u několika kontrolních vzorků, zapsat do tabulky;
- zkumavky se vzorky uložit do chladicího boxu a následně do mrazáku, převoz vzorků do laboratoře pak zajistit v chladícím boxu.

Celkem během období měření bylo odebráno 100 vzorků, u některých z nich bylo přímo na místě měřeno pH, elektrická konduktivita a rozpuštěný kyslík přenosným multimetrem Hach Lange s měnitelnými sondami. K mytí nádobí byly použity výrobky ze snadno biologicky rozložitelných materiálů, u mytí rukou ani sprchování žádné omezení na přípravky nebylo stanoveno.

V rámci edukační činnosti a seznámení dětí s problematikou šedých vod bylo také kromě vysvětlení principu fungování zemního pískového filtru jejich přímé zapojení do experimentu. Dobrovolníci z řad táborových dětí se v roce 2019 podíleli na testu klíčivosti podle následujícího návodu:

- připravit si a označit 10 ks plastových Petriho misek pro každý vzorek vody zvlášť (ruce, nádobí, sprcha, odtok);
- nastříhat kolečka filtračního papíru a vložit do čistých Petriho misek;
- navlhčit filtrační papír šedou vodou (max. 10ml – zaznamenat použitý objem);
- do každé Petriho misky vložit 10 semínek salátu;
- každý den kontrolovat, že je filtrační papír vlhký, pokud vysychá, tak opět navlhčit šedou vodou z konkrétního daného zdroje a zapsat přidané množství;
- než začnou semínka klíčit, nechat mističky překryté filtračním papírem, následně odkrýt;
- každý den zaznamenávat do tabulky kolik semínek vyklíčilo;
- na konci testu klíčivosti změřit pravítkem délku kořínku a klíčku (stonek, listy), zapsat do tabulek pro každé semínko a mističku zvlášť.

Výsledky zjištěné dětmi byly zaneseny do celkové tabulky. Nakonec se povedlo test dokončit s takřka 90 % úspěšností, a i přes občasné nesnáze malých pomocníků je možné jejich výsledky interpretovat jako relevantní. Výsledek testu klíčivosti pak ukazuje následující Obrázek 21.



Obrázek 21: Příprava k měření rostlin během testu klíčivosti.

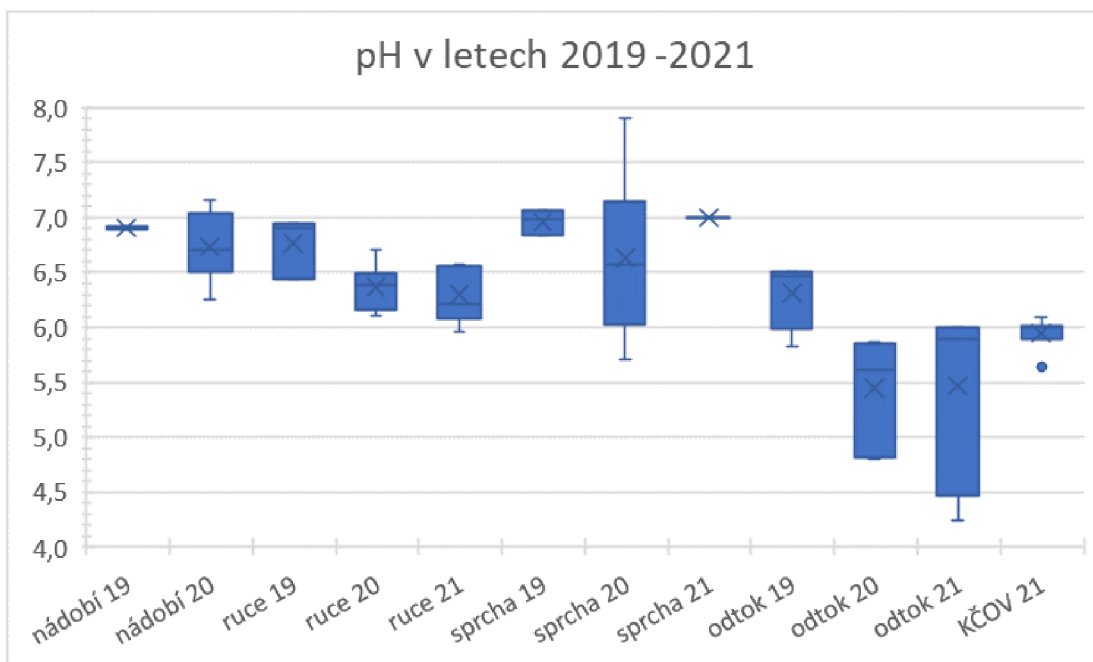
3.3.2 Laboratorní zpracování vzorků

Zmražené vzorky byly zpracovány vždy po skončení tábora v hydrochemické laboratoři Katedry aplikované ekologie na FŽP ČZU v Praze Suchdole. 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, termostat HACH DRB 200 a spektrofotometr Agilent Cary 60 UV-Vis Model G6860A pro stanovení amonných iontů. Odebrané vzorky byly přefiltrovány přes 22 μ m PES filtr 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. U vybraných vzorků z roku 2021 rovněž proběhlo měření na obsah těžkých kovů a kyvetový test Hach LCK 332 s rozsahem měření 0,05 – 2,0 mg/l na anionaktivní tenzidy. Přístrojem Eutech Instruments pH 700 bylo měřeno pH vzorků, které nebyly měřeny přímo v místě tábořiště pH sondou. Konduktivita (vodivost) pak byla měřena přístrojem Hach Hq 30d Flexi a příslušnou sondou Hach Conductivity.

4. Výsledky

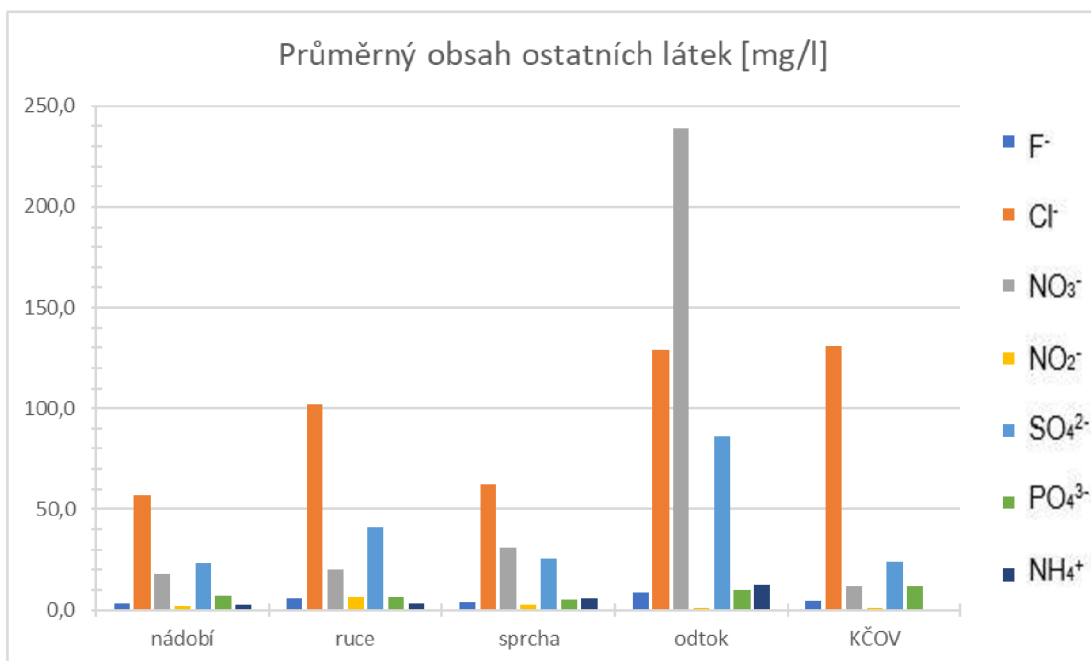
Vzhledem k okolním skutečnostem (např. přívalové deště, které zaplavily filtr) nebylo vždy možné vzorky přímo na místě odebrat, u některých došlo k poškození předčasným rozmrazením z důvodu odstávky proudu v místě, kde byly vzorky v průběhu tábora ukládány, část pak při testování vykazovala neměřitelné hodnoty. Avšak i po odstranění těchto několika vzorků byl počet dostatečný, aby naměřené hodnoty byly validní. V následujících grafech a tabulkách jsou uvedeny hodnoty jednotlivých měření, ať už přímo z místa tábořiště, nebo z laboratoře.

Krabicový graf (viz Obrázek 22) zobrazuje kolísání pH v letech 2019–2021. Zajímavé je sledovat hodnoty pH na odtoku, neboť nejnižší hodnoty byly naměřeny během přípravných víkendů v dubnu a květnu, kdy byly odebrány vzorky z filtru po zimě a filtr ještě nebyl v klasickém provozu. Postupně se hodnoty dostávaly blíže k průměru a v druhé polovině tábora se pohybovaly kolem hodnoty 6, stejně jako u KČOV, která byla zapojena před začátkem termínu tábora.



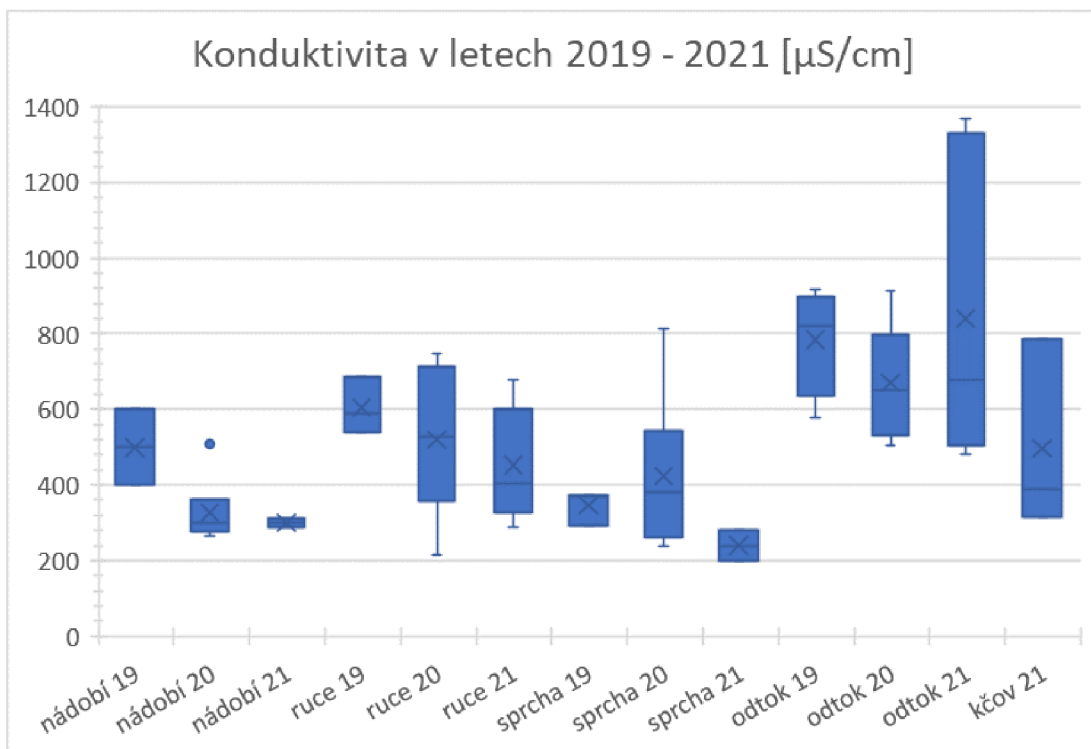
Obrázek 22: Hodnota pH naměřená v letech 2019–2021 z jednotlivých táborových provozů.

Jak se u výsledků odebraných vzorků z roku 2021 ukázalo, pH nebylo zdaleka jediným parametrem s velkým výkyvem hodnoty u vzorků odebraných v dubnovém a květnovém termínu. Podobné výkyvy byly během přípravných víkendů naměřeny i u chloridů, dusičnanů a siřičitanů (viz Obrázek 23), kdy byly vykazovány hodnoty násobně vyšší než během táborů.



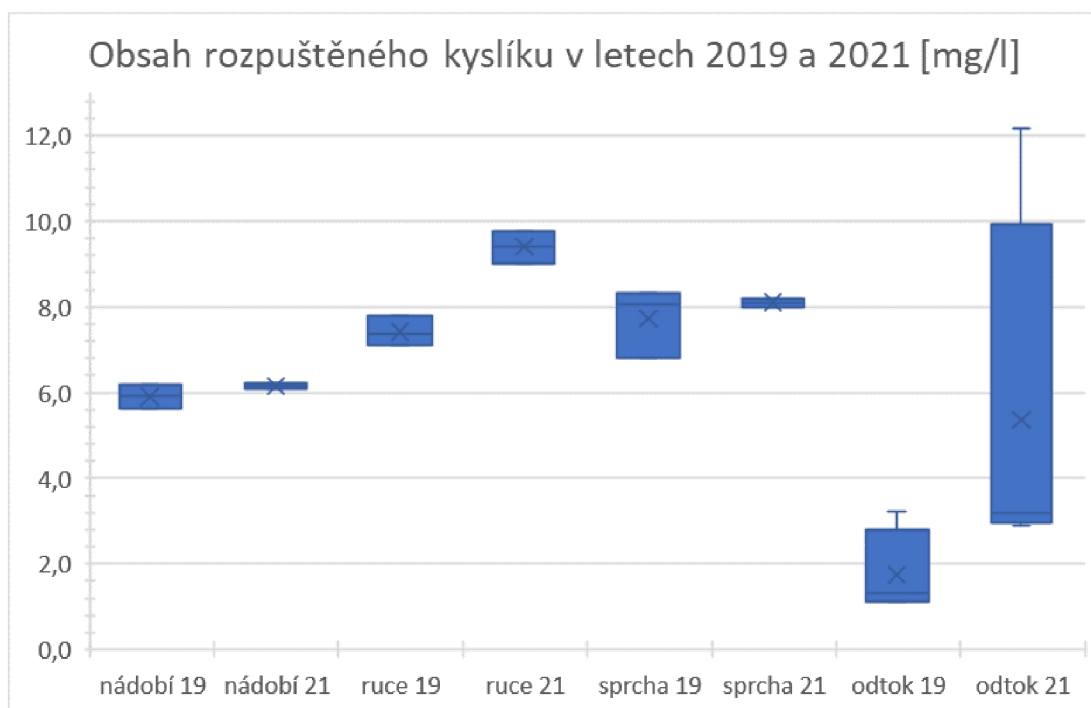
Obrázek 23: Průměrná hodnota obsažených látek ve vzorcích vody odebraných z táborových provozů v letech 2019–2021.

Obrázek 24 znázorňuje krabicový graf konduktivity, tedy měrné vodivosti, která nepřímo vyjadřuje obsah minerálních látek ve vodě. Nejvyšší míra koncentrace elektrolytů byla naměřena na odtoku, po zařazení KČOV pro sekundární dočištění pak hodnoty mírně poklesly.



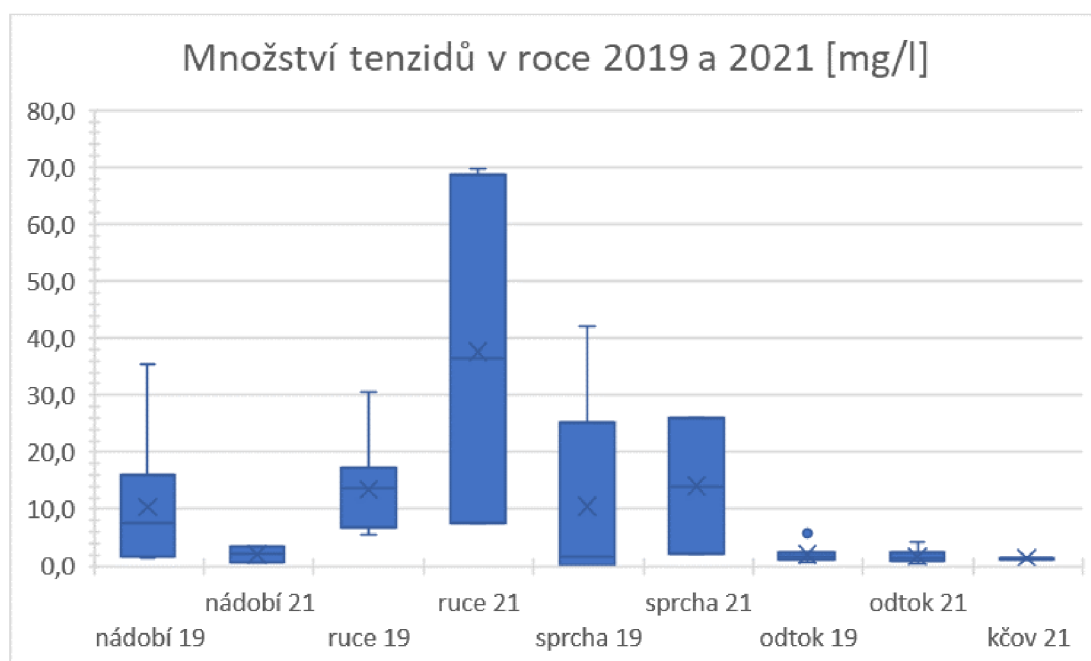
Obrázek 24: Hodnoty konduktivity odebraných vzorků v letech 2019–2021.

Na dalším grafu (Obrázek 25) je vidět porovnání obsahu rozpuštěného kyslíku v roce 2019 a 2021. U odtoku byla naměřena vůbec největší hodnota přes 12 mg/l u vzorku z přípravného víkendu, průměrné hodnoty jsou pak výrazně nižší.



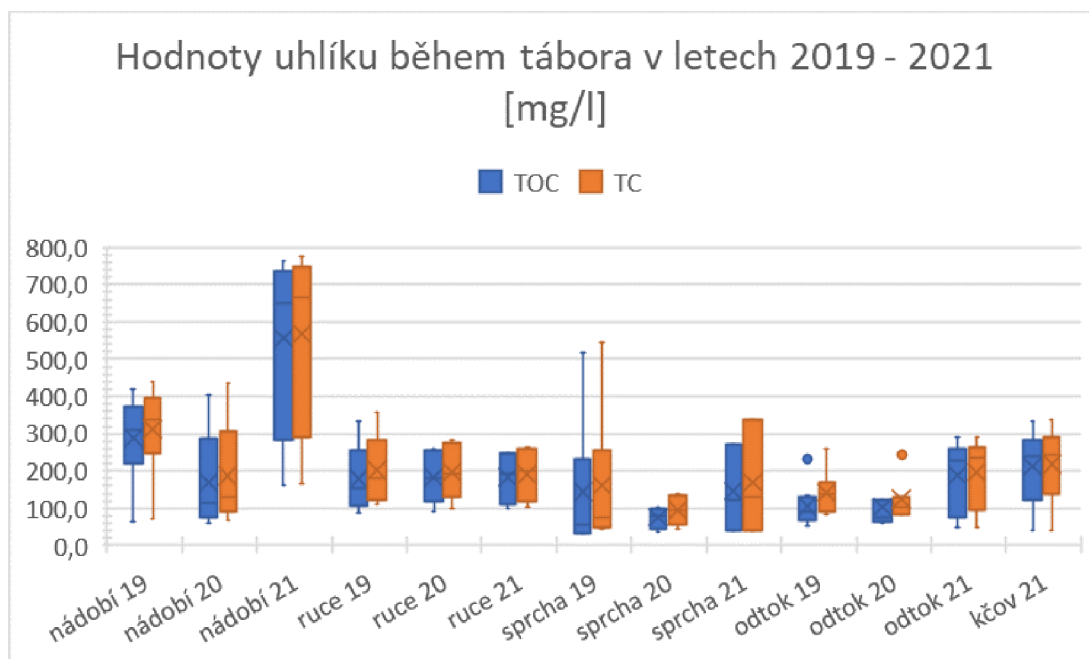
Obrázek 25: Porovnání obsahu rozpuštěného kyslíku v roce 2019 a 2021.

Podle očekávání se u tenzidů nejvyšší hodnoty objevují u rukou a sprchy, kdy mýdla a šampóny narušují povrchové napětí vody. Z výsledků lze říct, že účinnost jak zemního pískového filtru, tak KČOV, je u povrchně aktivních látek poměrně vysoká, viz Obrázek 26.

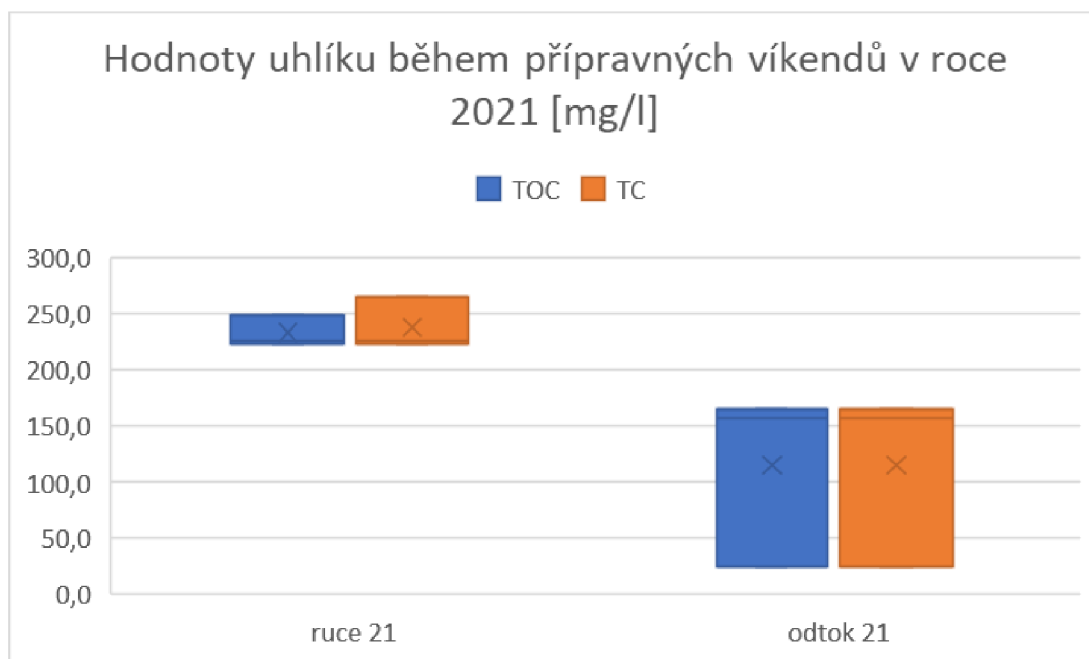


Obrázek 26: Porovnání množství tenzidů v roce 2019 a 2021.

Následující dva krabicové grafy zobrazují hodnoty uhlíku a dusíku. Obrázek 27 hodnoty celkového organického uhlíku (angl. zkratka TOC) a celkového uhlíku (angl. zkratka TC) v porovnání let 2019–2021 během tábora a Obrázek 28 pak ukazuje hodnoty ze vzorků odebraných o přípravných víkendech v dubnu, květnu a červnu 2021, kdy ještě nebyla v provozu sprcha, mycí pult ani KČOV.

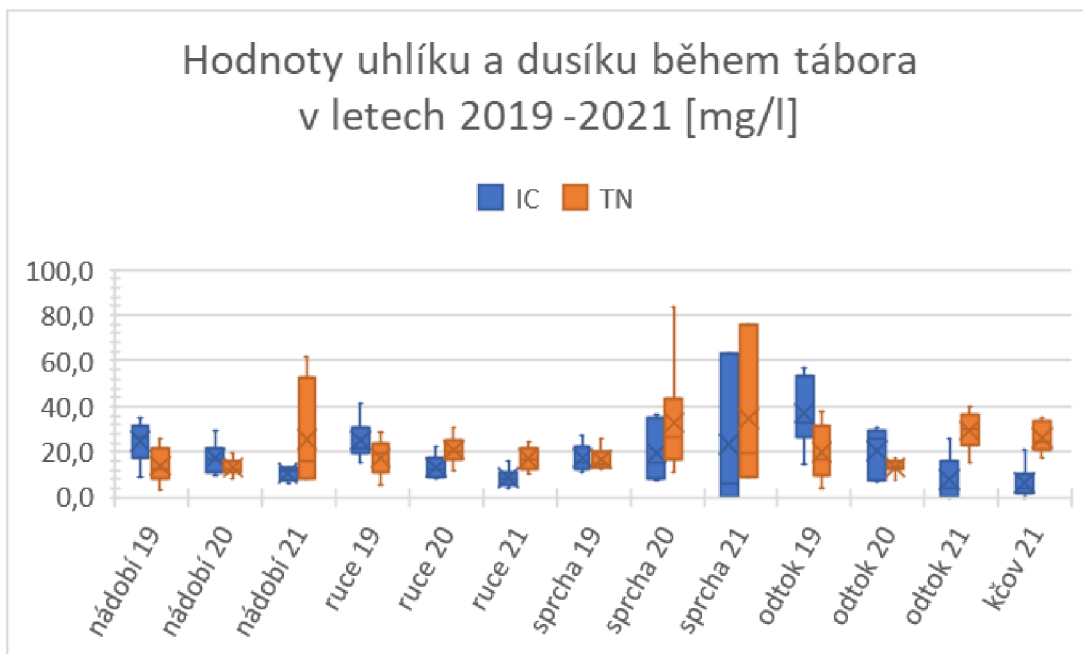


Obrázek 27: Hodnoty celkového organického uhlíku (TOC) a celkového uhlíku (TC) z odebraných vzorků v průběhu konání táborů v letech 2019-2021.

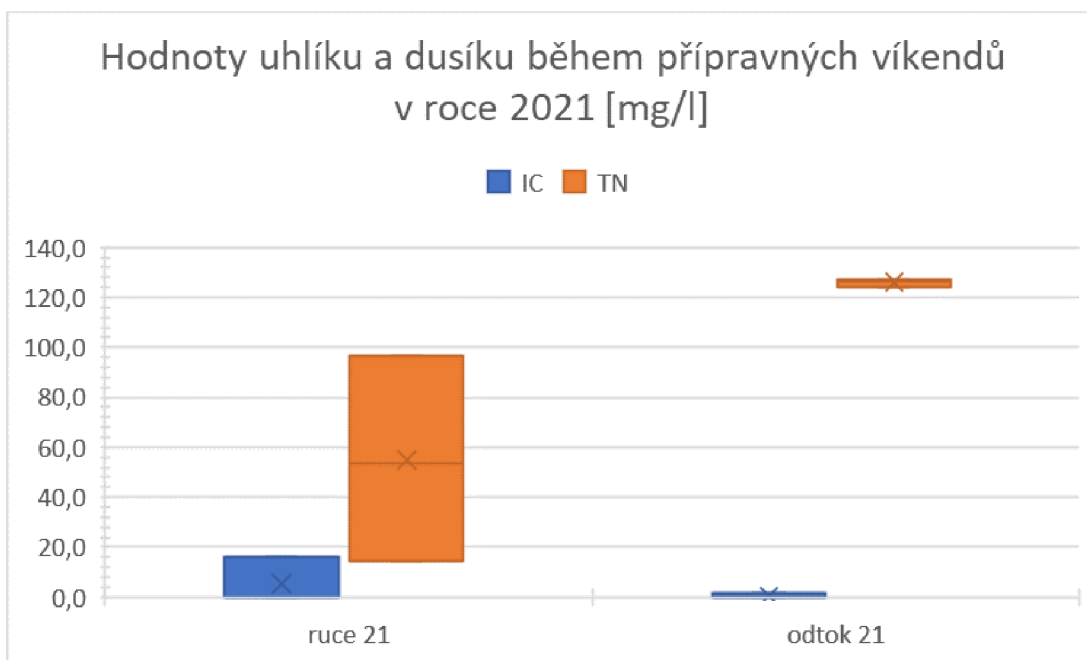


Obrázek 28: Hodnoty celkového organického uhlíku (TOC) a celkového uhlíku (TC) z odebraných vzorků v průběhu přípravných víkendů v roce 2021.

U množství celkového anorganického uhlíku (angl. zkratka IC) a zejména u celkového dusíku (angl. zkratka TN) byl velký rozdíl právě mezi víkendy v roce 2021, kdy byl filtr po zimní přestávce teprve postupně zaplňován vodou pouze z mytí rukou, a tábory v letech 2019-2021 (viz Obrázek 29 a Obrázek 30). Zatímco o víkendech byly hodnoty dusíku přes 120 mg/l, během táborů pak v průměru okolo 20-30 mg/l.

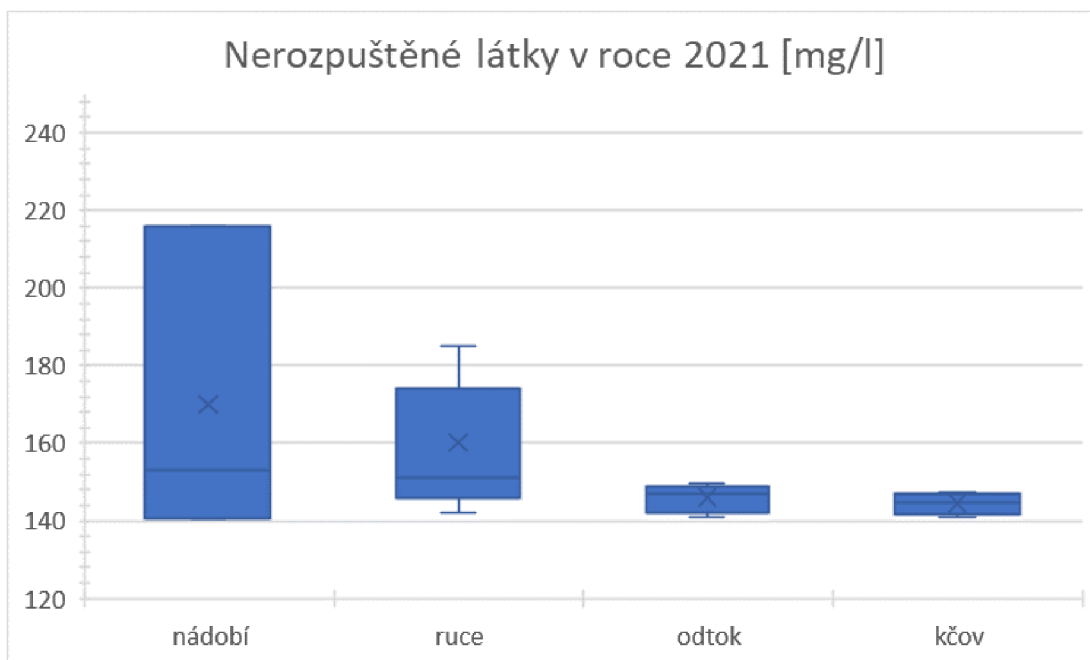


Obrázek 29: Hodnoty anorganického uhlíku (IC) a celkového dusíku (TN) během tábora v letech 2019-2021.



Obrázek 30: Hodnoty anorganického uhlíku (IC) a celkového dusíku (TN) během přípravných víkendů v roce 2021.

V roce 2021 byly z odebraných vzorků změřeny i hodnoty nerozpuštěných látek (Obrázek 31) a průměrný obsah kovů na odtoku (Tabulka 8) během víkendů v dubnu a květnu. Při měření CHSK pomocí kyvetového testu Hach LCI400 byly výsledky i přes opakování testů neprůkazné a vykazovaly velmi nestandardní hodnoty, proto nebyly v celkových výsledcích zohledněny.

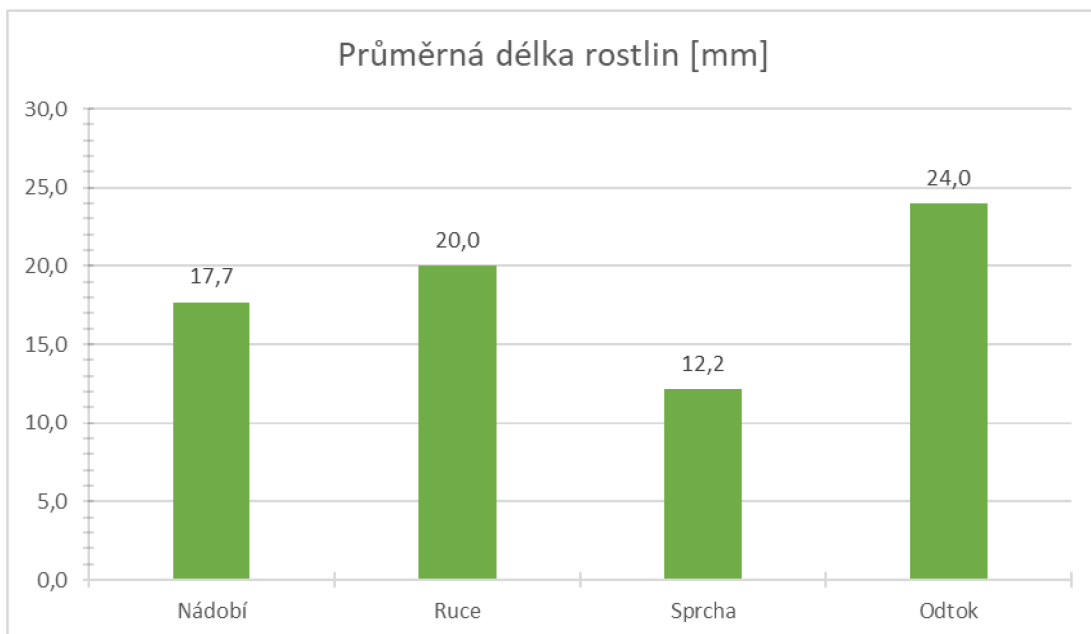


Obrázek 31: Hodnoty nerozpuštěných látek z jednotlivých táborových provozů v roce 2021. Pozn.: Vzorky ze sprchy nebyly k dispozici.

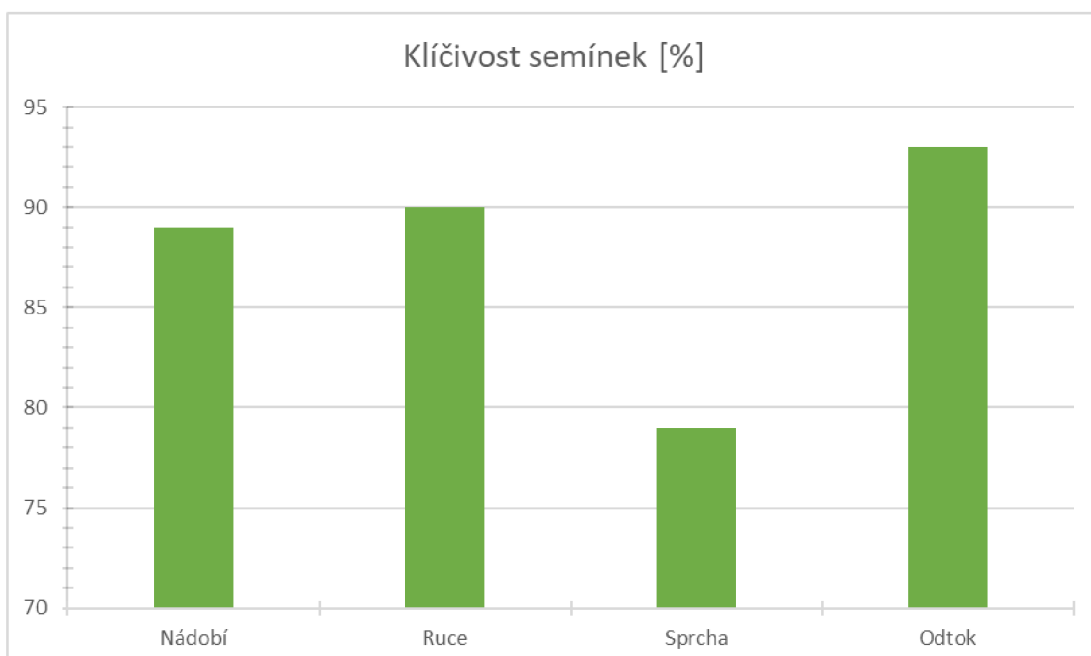
Průměrný obsah kovů na odtoku v roce 2021 [mg/l]							
Prvek	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd
Hodnota	4,34	0,09	0,05	0,05	0,01	31,35	0,01
Prvek	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg
Hodnota	0,03	0,00	0,02	0,06	15,15	0,10	7,13
Prvek	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Se
Hodnota	0,48	0,00	23,23	0,03	0,93	0,01	0,00
Prvek	Sr	Ti	Tl	V	Zn		
Hodnota	0,10	0,00	0,00	0,00	1,92		

Tabulka 8: Průměrný obsah kovů na odtoku v roce 2021.

Na základě testu klíčivosti lze konstatovat, že rostlin s nejdelším stonkem i kořínky bylo v roce 2019 dosaženo závlahou z odtoku, stejně tak tomu bylo i u procentuální úspěšnosti vyklíčení semínek. V obou případech se semínkům nejméně dařilo při zavlažování vodou ze sprchy, jak ukazuje Obrázek 32 a Obrázek 33.

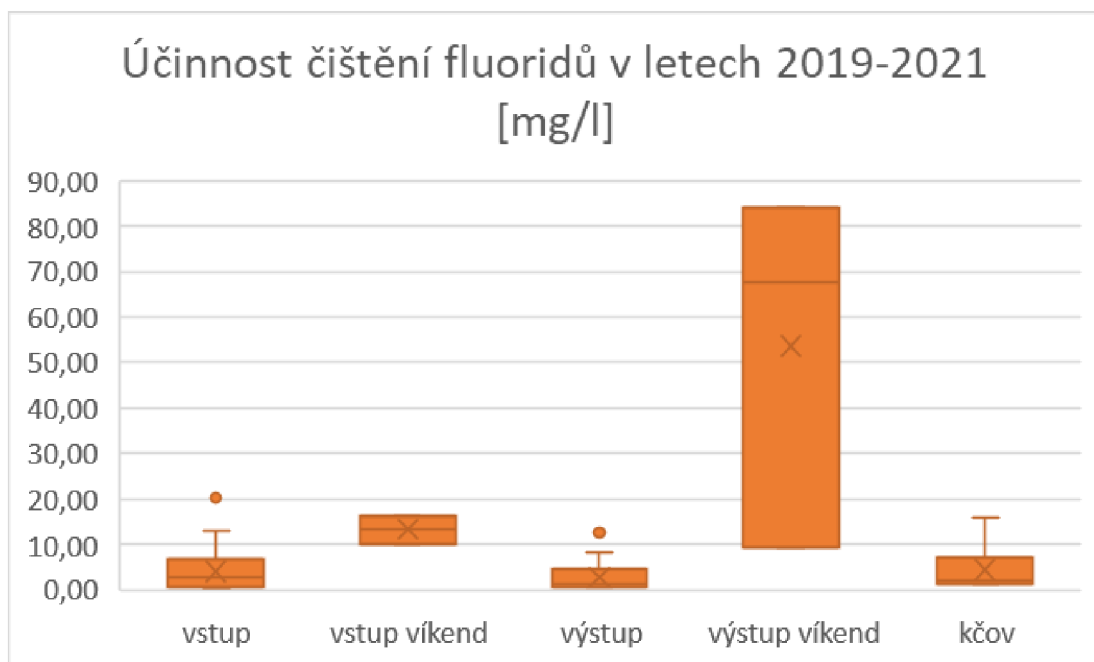


Obrázek 32: Průměrná délka rostlinek salátu zavlažovaná vodou z jednotlivých táborových provozů v roce 2019.

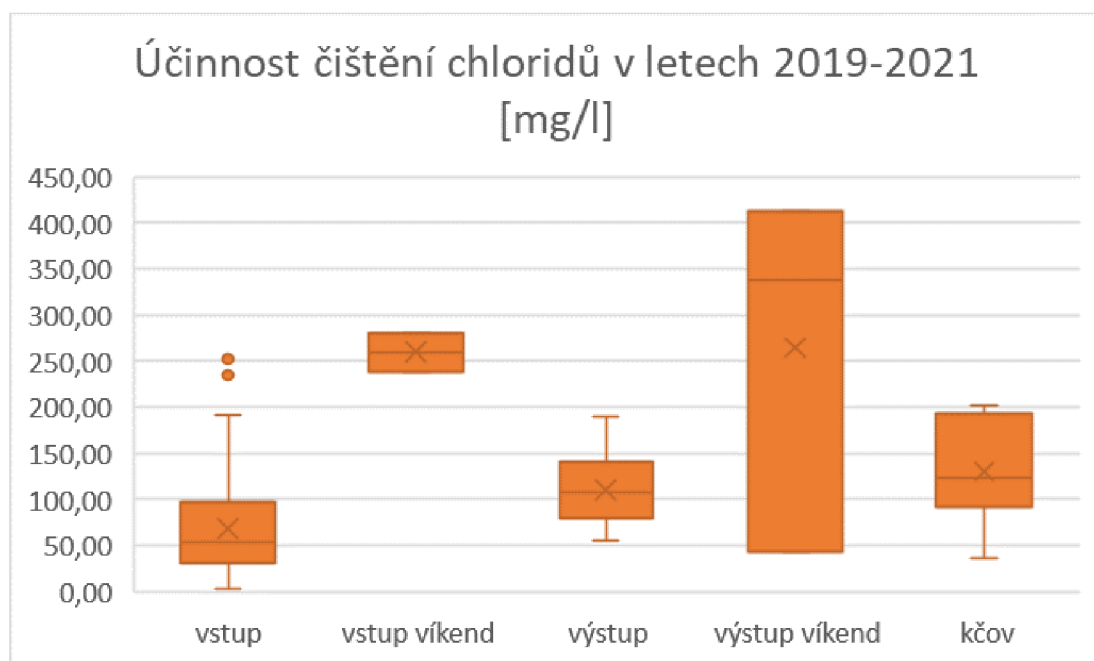


Obrázek 33: Procentuální úspěšnost klíčivosti semínek při použití vody na závlahu odebrané z jednotlivých táborových provozů v roce 2019.

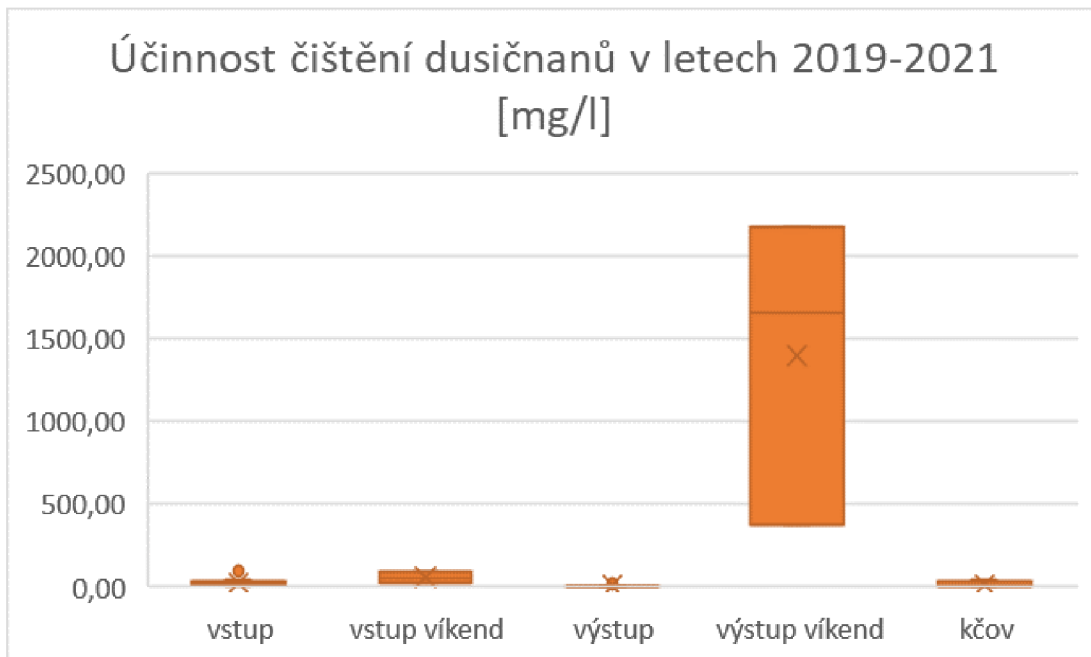
Následující grafy (Obrázek 34-40) shrnují dlouhodobou účinnost v jednotlivých sledovaných parametrech v průběhu let 2019-2021 na vstupu (nádobí, ruce, sprcha), na výstupu (odtok ze zemního pískového filtru) a KČOV po připojení v roce 2021 (odtokové potrubí z KČOV). Kde byly odebrány vzorky u víkendových provozů v roce 2021, tam jsou v grafech na vstupech i výstupech odděleny zvlášť.



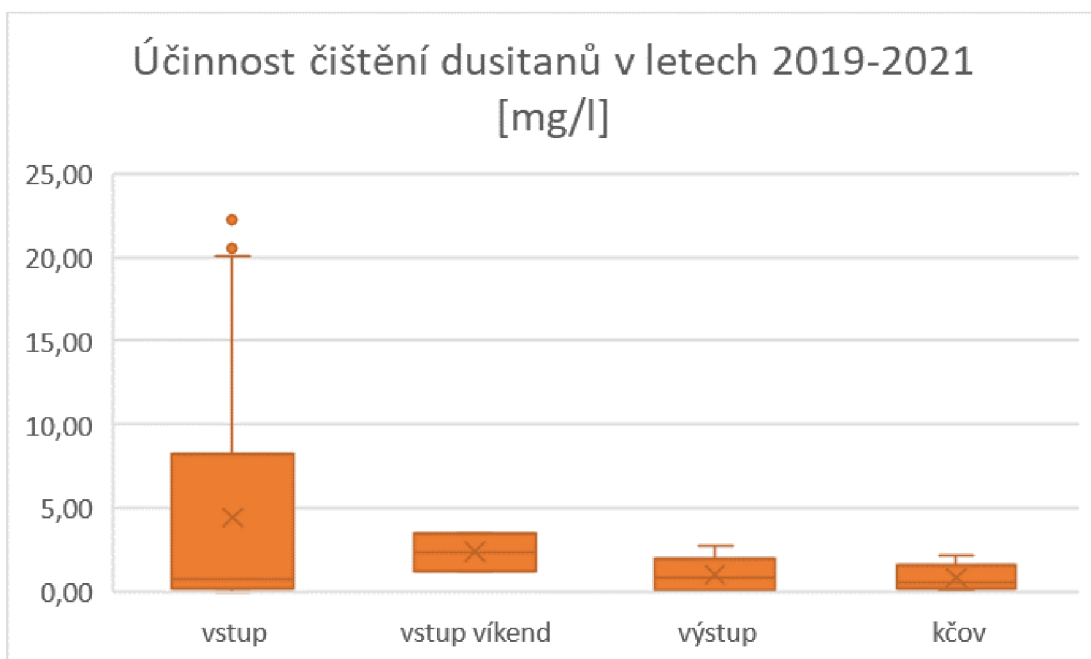
Obrázek 34: Účinnost čištění fluoridů (F^-) v letech 2019-2021.



Obrázek 35: Účinnost čištění chloridů (Cl^-) v letech 2019-2021.

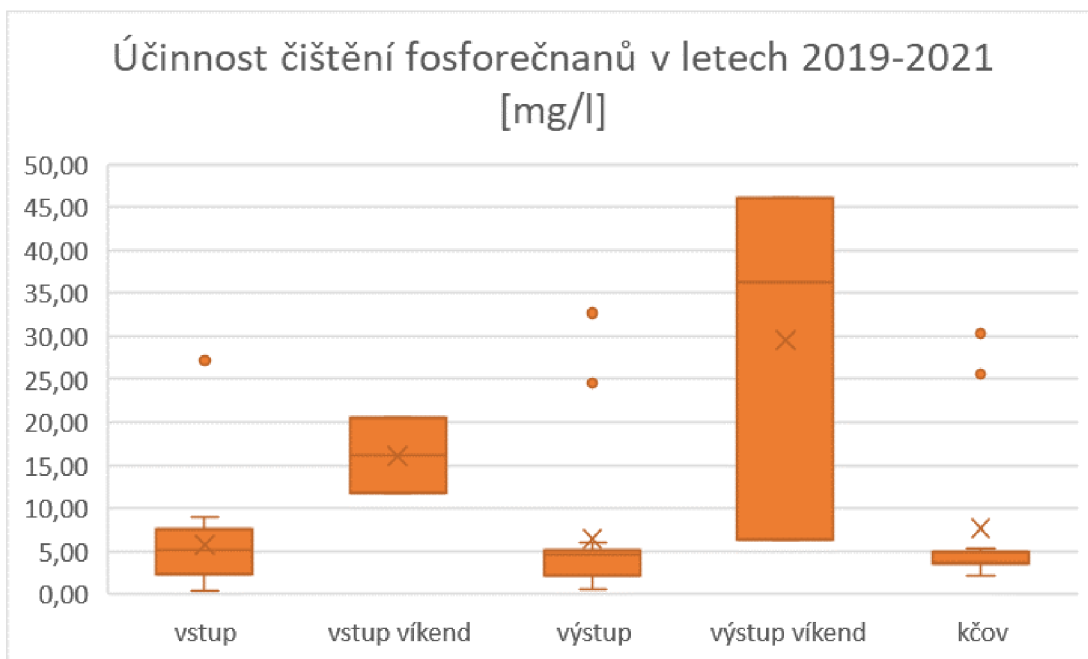


Obrázek 36: Účinnost čištění dusičnanů (NO_3^-) v letech 2019-2021.

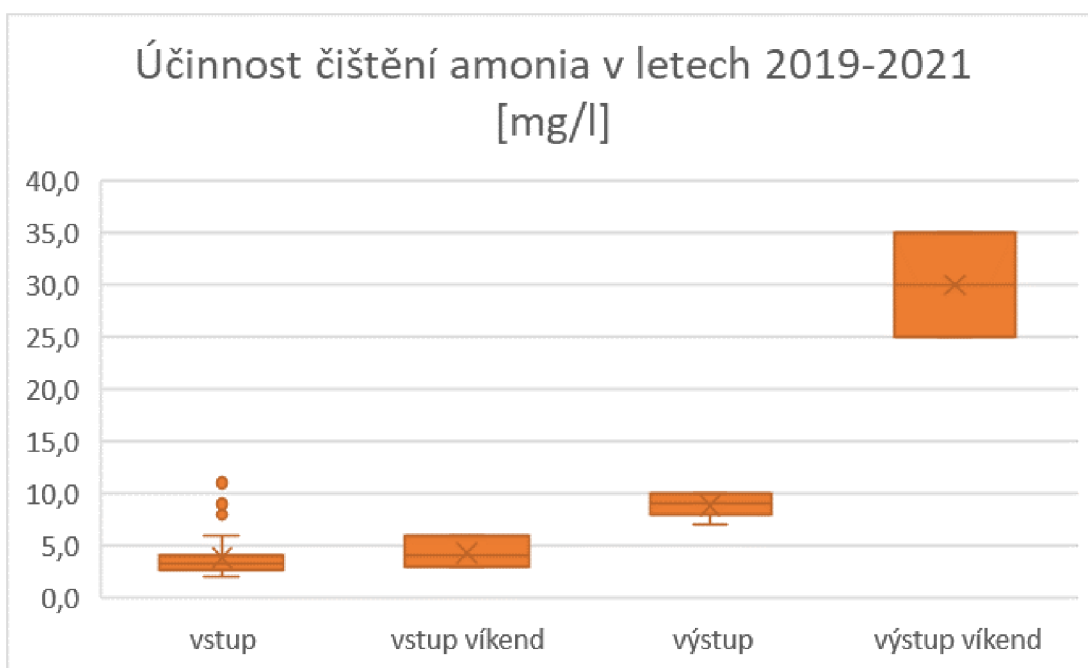


Obrázek 37: Účinnost čištění dusitanů (NO_2^-) v letech 2019-2021.

Na grafu účinnosti čištění fosforečnanů (viz Obrázek 38) jsou vidět na odtoku i KČOV dva vzorky, kde zvýšená hodnota byla pravděpodobně způsobena vylitím vody z praní prádla přímo do odkalovací nádoby, tedy tato hodnota není zaznamenána na vstupu.

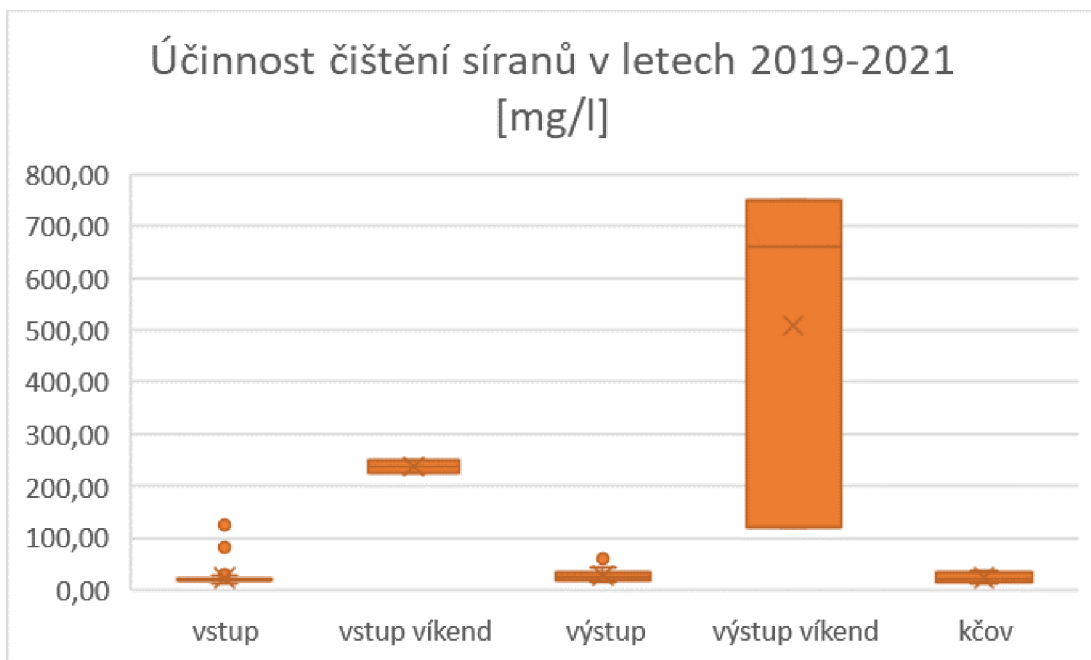


Obrázek 38: Účinnost čištění fosforečnanů (PO₄³⁻) v letech 2019-2021.

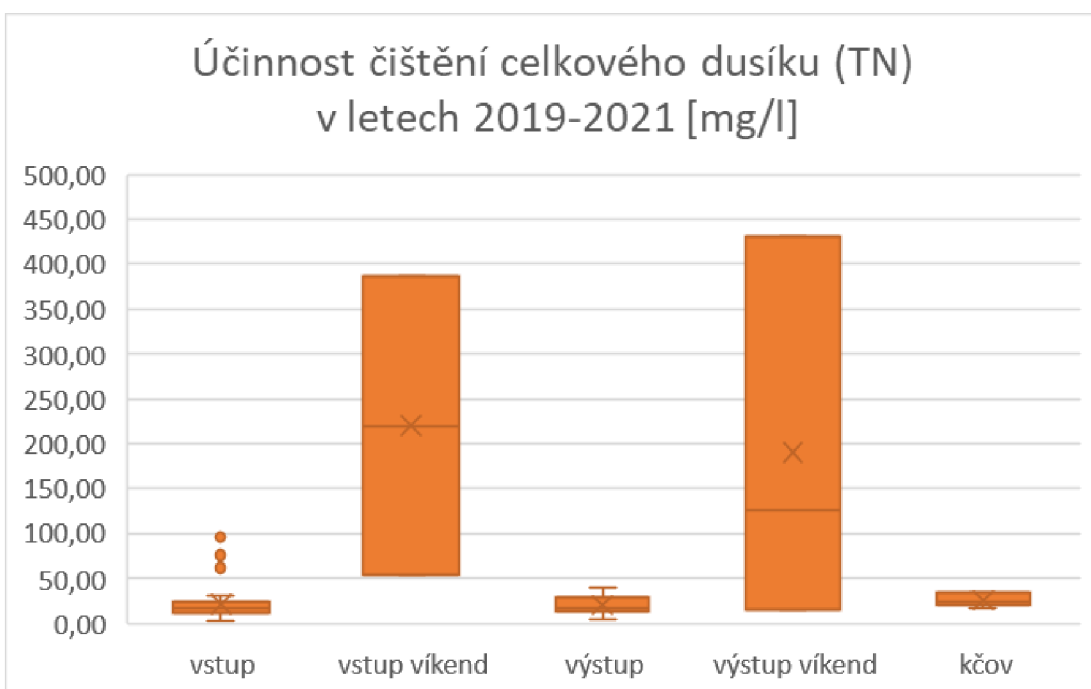


Obrázek 39: Účinnost čištění amonia (NH₄⁺) v letech 2019–2021.

Takřka ve všech sledovaných parametrech byly naměřené hodnoty ze vzorků odebraných o jarních víkendech v roce 2021 výrazně vyšší než v průběhu tábora. Tedy v době, kdy v revizní šachtě na odtoku byla ještě voda po zimní odstavce. Čím déle byl filtr v provozu, tím byly hodnoty nižší.



Obrázek 40: Účinnost čištění síranů (SO_4^{2-}) v letech 2019-2021.



Obrázek 41: Účinnost čištění celkového dusíku (TN) v letech 2019-2021.

5. Diskuse

5.1 Vyhodnocení dlouhodobé účinnosti

Na základě grafů uvedených v kapitole Výsledky je možné porovnat účinnost filtrace šedých vod prostřednictvím zemního pískového filtru a dále pak zhodnotit smysluplnost zapojení KČOV jako sekundárního dočištění.

Problematickými se ukázaly zejména hodnoty pH, dusičnanů, síranů a chloridů na odtoku při dlouhodobé nečinnosti filtru (po zimní přestávce). Zemní filtry jsou sice doporučovány pro přerušovaný provoz (Šálek et al., 2012; Hrkal, 2018) ale jak se ukázalo na přípravných víkendech v dubnu, květnu a červnu roku 2021, zemnímu filtru trvá návrat do běžného provozního stavu v řádu několika dní. Z výsledků KČOV, která byla zhotovena a zprovozněna až několik dní před zahájením tábora, je patrné, že měřené hodnoty se poté dostaly zpět k průměru z předešlých let. Z toho lze usuzovat, že pískový zemní filtr je pro takovéto instalace sice vhodný, ale v případě využívání čištěné vody např. pro závlahu je nutné nejprve počkat, až se v něm opět aktivují mikrobiologické procesy, které probíhají na filtračním materiálu uvnitř tělesa. Před plným zatížením je tedy více než vhodné filtr zapojit v dostatečném předstihu již během přípravných víkendů. Během delší odstávky, kdy byla bez přítoku část šedé vody zadržována v revizní šachtě filtru, rovněž došlo k pokrytí vodní hladiny zápachajícím povlakem, který byl způsoben zvýšeným obsahem síranů. Tento problém byl odstraněn po uvedení filtru do plného provozu, kdy povlak zmizel a šedá voda na odtoku přestala být cítit. Dalším zjištěním bylo, že při přívalovém dešti, kdy celá prohlubeň okolo zemního filtru i malé KČOV byla zaplavena (a to včetně jednotlivých provozů) a do systému se dostalo velké množství balastní vody, filtr dimenzovaný na určité množství šedé vody přestal plnit svou funkci a díky malému zdržení šedé vody v tělese filtru se dle optického zjištění významně zhoršila kvalita vody na odtoku i KČOV (zákal, zápach). Po nějakém čase se při standardních podmínkách opět situace vrátila do normálu.

Během dosavadního provozu filtru došlo ještě k jedné dopředu neočekávané situaci, která mohla mít vliv na výslednou kvalitu šedé vody. Do odkalovací nádoby se dostalo přes sběrné potrubí několik hlodavců a vzhledem k tomu, že prostup do filtru je ošetřen proti vniknutí kalu a tuků z mytí nádobí sražených na vodní hladině, není již proti spádu úniku. Došlo tedy k úhynu hlodavců utonutím a než byla těla v poklopem uzavřené nádobě objevena, došlo k jejich částečnému rozkladu.

Při dodržování provozních podmínek však i po 3 letech přerušovaného provozu plní zemní pískový filtr svůj účel. Drobná vylepšení v budoucnu by se měla týkat zejména lepšího zabezpečení proti možnému vniknutí většího množství plovoucích látek do filtru (jemnější síto na vstupním potrubí do filtru), hlodavců do odkalovací nádoby (izolace a mřížky u vyústění potrubí) a zejména proti vstupu balastní vody v podobě přívalových dešťových srážek do celého systému (zašpuntování či překrytí dřezů na mytí nádobí a odstavení koryta na čištění zubů od sběrného potrubí).

Při budování malé KČOV panovaly obavy z několika věcí. Za prvé, zda bude její poddimenzovaná velikost vynucená sklonitostí terénu a okolním místem mít nějaký vliv na zlepšení kvality vody. Za druhé, zda rostliny v ní zasazené a nasbírané v okolních rybnících přežijí a budou plnit svou funkci (i vzhledem k nutnému zahloubení tělesa) a za třetí, zda to při porovnání ekonomického hlediska a pracnosti realizace bude odpovídat možnostem opětovného využití šedé vody na táboře.

Co se týče průměrných naměřených hodnot na výstupech z odtoku a KČOV, došlo ke zlepšení parametrů hned u jedenácti z šestnácti sledovaných položek. Nejlepších výsledků pak bylo dosaženo u F^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , IC, TN a tenzidů. Rovněž bylo zlepšeno pH. Z tohoto pohledu byl tedy krok zbudování sekundárního způsobu čištění správný. Některé rostliny vysazené v květnu roku 2021 před konáním tábora bylo nutné vyměnit, neboť se neuchytily. Což naštěstí vzhledem ke zdrojům v okolí nebyl problém. Větší vliv na jejich prosperitu však mělo zastínění stanoviště, ve kterém sice rostliny během tábora rostly, ale než se mohl řádně rozrůst jejich kořenový systém, uhynuly. Největším problémem se však ukázala sezónnost. Po skončení tábora a při nedostatku dešťových srážek vzhledem k malé kapacitě půdního filtru nemají rostliny dostatek vláhy. Odpověď na třetí otázku je složitá a úzce souvisí s předchozími dvěma problémy. Z dlouhodobého hlediska je pravděpodobně situace ohledně zachování KČOV neúnosná, zejména kvůli malé ploše, nedostatečné sklonitosti terénu dané výškou odtoku ze zemního pískového filtru, odumírajícím rostlinám. To jsou zásadní nedostatky dané limitními podmínkami místa. Na druhou stranu je nutno říct, že další filtrační materiál ve formě kačírku a drobného štěrku, delší doba zdržení v dalším stupni filtrace před vsakováním nebo možným opětovným využitím, to vše může být využito i nadále, jen to již nebude sloužit jako KČOV.

Nicméně jedním z cílů bylo dosáhnout v rámci experimentu po primárním a sekundárním vyčištění i takové kvality vody, aby bylo možné její opětovné využití v rámci tábora. Tedy nikoliv jen proto, aby byla voda po vyčištění vhodná pro infiltraci do podloží formou např. štěrkového drénu. Vzhledem k možným zdravotním rizikům není možné, aby se takto vyčištěná voda dostala do kontaktu s dětmi, proto její

opětovné využití na táboře má své limity. Avšak vzhledem k dosaženým parametrům je možné ji částečně použít pro závlahu, např. bylinkových záhonů. Z legislativního hlediska je dána kvalita vody pro závlahu normou ČSN 75 7143 upřesňující podmínky pro povrchové, podzemní nebo jinak vhodně upravené vody, aby mohly být použity pro závlahu. V normě je obsaženo dělení vody na doplňkové závlahy do tří tříd. I. třída – vody vhodné k závlaze (použitelná pro zemědělské a lesní kultury bez omezení), II. třída – vody podmíněně vhodné k závlaze a III. třída – vody nevhodné k závlaze (ČSN 75 7143, 1992). Následující Tabulka 9 uvádí limitní hodnoty v porovnání s hodnotami dosaženými po primárním a sekundárním stupni čištění šedé vody na letním dětském táboře.

Parametr	Symbol	Jednotka	Limit ČSN 75 7143			Ø Hodnoty	
			I. Třída	II. Třída	III. Třída	Odtok	KČOV
Barva	-	mg Pt/l	norma nestanovuje			-	-
Zákal	Z	NTU	norma nestanovuje			-	-
Reakce vody	pH	-	5,0 - 8,5	4,5 - 9,0	<4,5 a >9,0	5,5	5,9
Vodivost	K	μS/cm	norma nestanovuje			756,9	496
Uhličitanová tvrdost vody	-	mg/l	norma nestanovuje			-	-
Tvrdost vody	-	°dH	norma nestanovuje			-	-
		mmol/l	norma nestanovuje			-	-
Zbytkový chlor	Cl ₂	mg/l	norma nestanovuje			-	-
Železo	Fe ⁻	mg/l	10	100	> 100	0,06	n.n.
Chloridy	Cl ⁻	mg/l	300	400	> 400	128,8	130,6
Dusičnany	NO ₃ ⁻	mg/l	norma nestanovuje			238,9	11,89
Amonné ionty	NH ₄ ⁺	mg/l	norma nestanovuje			12,33	n.n.
Sírany	SO ₄ ²⁻	mg/l	250	300	> 300	86,29	23,88
Karbonátová alkalita, pro pH 4,5 a 8,3	KNK	mmol/l	norma nestanovuje			-	-
Fosfáty			PO ₄ ³⁻	mg/l	norma nestanovuje		
Hořčík	Mg ²⁺	mg/l	norma nestanovuje			7,13	-
Vápník	Ca ²⁺	mg/l	norma nestanovuje			31,3	-
Biologická spotřeba kyslíku	BSK	mg/l O ₂	norma nestanovuje			-	-

Tabulka 9: Sledované parametry vody pro doplňkové závlahy dle normy ČSN 75 7143 doplněné o průměrné naměřené hodnoty ze vzorků odebraných z odtoku v letech 2019-2021 a KČOV v roce 2021. Pozn.: n.n. – hodnoty nebyly naměřeny.

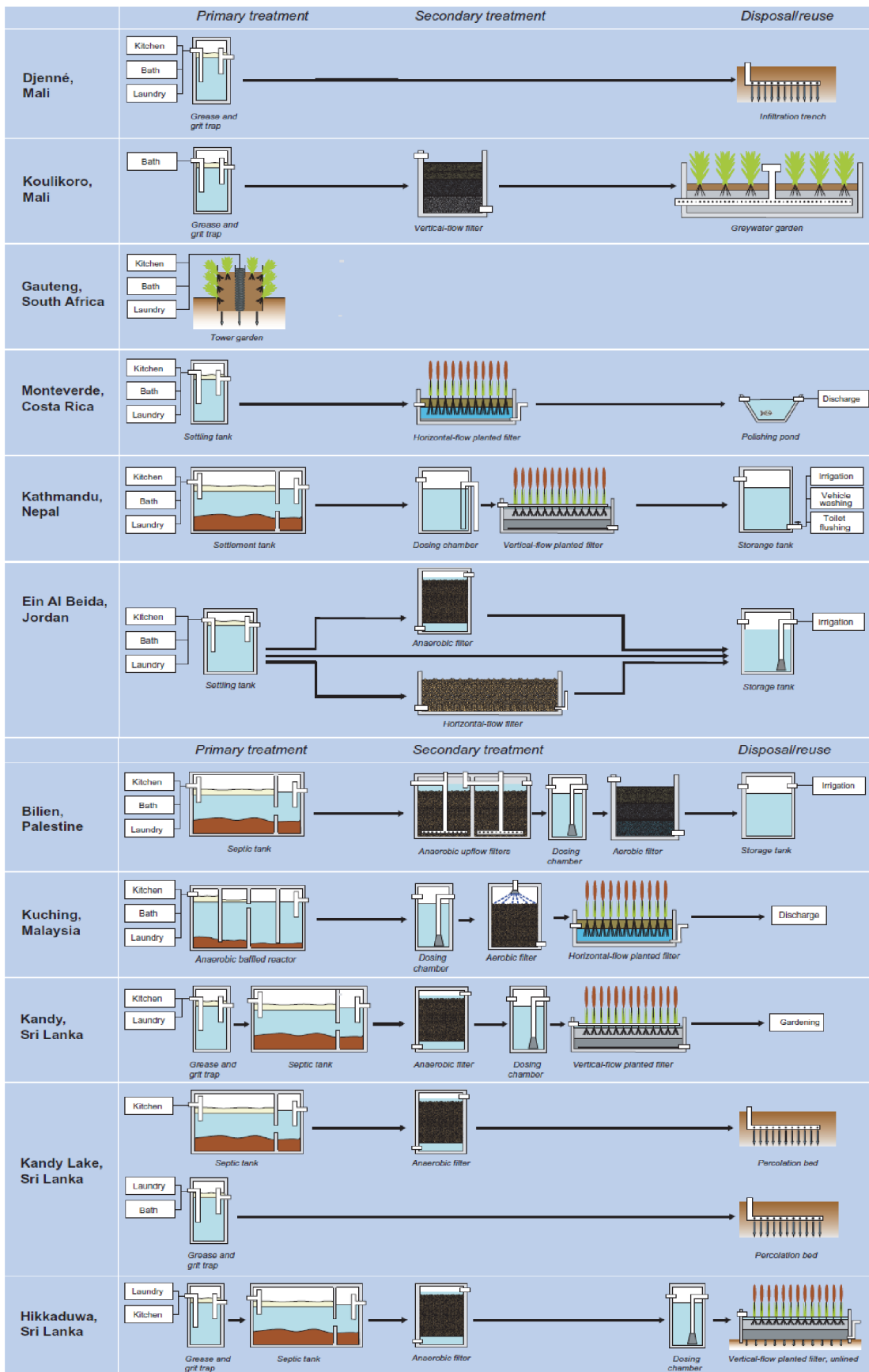
Z naměřených průměrných hodnot na odtoku ze zemního pískového filtru i z KČOV vyplývá, že voda může být použita pro závlahu v rámci I. třídy, neboť ve sledovaných parametrech nebyly překročeny stanovené limity. Tedy v tomto případě byla potvrzena účinnost primárního i sekundárního čištění. Požadavky na kvalitu čištěné šedé vody pro závlahu jsou rovněž řešeny v ČSN 75 6780, ale zde jsou uvedeny možné aplikace pouze s přihlédnutím na fekální streptokoky, E.coli, Salmonelu a potenciální infekční stádia parazitů lidí a zvířat (ČSN 75 6780, 2021).

5.2 Přírodní filtrační materiály

Koncept čištění šedých vod přímo na letním dětské táboře pomocí zemního pískového filtru a využití malé KČOV jako sekundárního dočištění není v našich podmínkách úplně běžný. Existuje však široké spektrum studií, které zkoumaly jednotlivé filtrační systémy a materiály při různých typech zapojení a v různých prostředích, od jednoduchého vsakování prostřednictvím příkopů až po sofistikované systémy založené na kombinaci anaerobních a aerobních filtrů. Tato relativně levnější řešení využívající povětšinou čištění šedých vod pomocí gravitace bez potřeby elektrické energie se rozšířila zejména v ekonomicky méně rozvinutých zemích. Přehled různých typů systémů a zapojení podobného charakteru jako je předmětný experiment ukazuje Obrázek 42 (Morel et Diener, 2006).

V systému čištění šedé vody formou mulčovací věže, kde filtračním materiálem byl mulč, hrubý písek a štěrk, byla prokázána při studii v Jižní Africe omezená účinnost při odstraňování např. chloridů. Při přerušovaném provozu a delší nečinnosti filtru byl rovněž zaznamenán nárůst fosforečnanů, než se opět přítok do filtru upravil na denní produkci (Zuma et al., 2009). Tedy podobně, jako tomu bylo v případě popisovaného experimentu na dětském táboře.

Při porovnání účinnosti čištění se systémy na přírodní bázi (NBS), kdy byly v rámci vědecké studie na Blízkém východě použity jako filtrační materiály datlová semena, perlit, kokosová vlákna, keramzit (LECA) a písek, bylo potvrzeno, že pro odstranění nerozpuštěných látek je nejlepším filtračním médiem písek spolu s kokosovými vlákny, nejnižší účinnost pak byla naměřena u keramzitu. Podobné tomu bylo i ostatních měřených parametrů, zejména kvůli větší pórovitosti ostatních materiálů a tím pádem menší době zdržení (Pradhan et al., 2020).



Obrázek 42: Porovnání filtračních systémů šedých vod v zemích s nižší životní úrovní obyvatelstva. Sloupec vlevo popisuje lokalitu, následuje primární čištění, popřípadě sekundární čištění a vpravo využití šedých vod pro další účely (Morel et Diener, 2006).

Jiná vědecká studie se zabývala čištěním šedých vod pomocí pomalého pískového filtru, za kterým byl osazen granulový filtr s aktivním uhlím, nebo ve druhé variantě byl pískový filtr nahrazen břidlicovým odpadem (Zipf et al., 2016). Šedá voda pocházela z umyvadel na toaletách. V průběhu měření byly zaznamenány velké rozdíly v kvalitě vstupní šedé vody, i když byl zdroj stále stejný. Tedy jako v případě některých hodnot ze vzorků šedé vody z mytí rukou na táboře. Výsledkem experimentu bylo konstatování, že obě filtrační média (tedy písek a břidlicový odpad) mají podobné vlastnosti filtrace u pH a koliformních bakterií, nicméně pro CHSK, BSK a tenzidy se ukázal jako účinnější břidlicový odpad. Tabulka 10 ukazuje srovnání mezi průměrnými hodnotami tenzidů a pH brazilského experimentu v porovnání s pískovým filtrem a KČOV z dětského tábora.

Mnoho dalších experimentů a vědeckých studií se věnuje zkoumání různých přírodních filtračních materiálů, které by byly dostupnou a ekonomicky výhodnou variantou dražších a elektřinu využívajících zařízení. Snahou by v budoucnu mohlo být i spojení problematiky s opětovným využíváním odpadů jako filtračního média.

		(Zipf, 2016)					Dětský tábor	
		voda z umyvadel	pískový filtr	břidlicový odpad	pískový filtr + aktivní uhlí	břidlicový odpad + aktivní uhlí	odtok	KČOV
tenzidy [mg/l]	max	14,84	11,8	11,6	6,64	5,5	5,83	1,5
	průměr	7,4	5,68	5,54	2	1,56	1,93	1,37
	min	3,24	1,06	0,6	0,5	0,16	0,44	1,28
pH	max	9,82	9,67	9,25	9,59	10,72	6,51	6,02
	průměr	7,6	7,64	7,8	7,57	7,57	5,52	5,85
	min	6,72	7,12	7,23	6,86	7	4,25	5,64

Tabulka 10: Porovnání hodnot tenzidů a pH mezi dvěma experimenty (Zipf et al., 2016).

6. Závěr

Dlouhodobá účinnost čištění šedých vod za pomoci zemního pískového filtru byla vyhodnocena na základě výsledků z rozborů vzorků odebraných z různých táborových provozů (ze sprchy, mytí rukou, mytí nádobí) a z odtoku filtru v průběhu let 2019–2021. Navíc v roce 2021 byla jako sekundární čištění vybudována malá KČOV, která měla za úkol hodnoty základních ukazatelů kvality šedých vod na výstupu ještě zlepšit.

V rámci experimentu se podařilo splnit cíle, které byly na začátku stanoveny, a vlastními silami vybudovat fungující filtrační zařízení, které může na svém místě při dodržování provozních podmínek dále sloužit svému účelu a být tak ku prospěchu uživatelů tábořiště, okolí, a hlavně životnímu prostředí. Experiment rovněž ukázal, na co je třeba si dávat pozor, že někdy i přes veškerou snahu a dobrý úmysl může dojít k situacím, které mají za následek snížené efektivity čištění šedé vody, či zanášení filtru. Následující roky teprve potvrdí, zda i při těchto specifických podmínkách bude životnost filtru uváděných 15-20 let, nebo méně. Dále se ukázalo, že zbudování KČOV dozajista smysl má, ale musí být vytvořena v pro ni příhodných podmínkách a při zajištění, byť minimální, leč pravidelné údržby a kontroly. Což při sezónním táborovém provozu není v praxi reálné. Je tak otázkou, zda se v budoucnu v takových podmínkách spíše nevěnovat jinému typu sekundárního dočištění, například dalšímu zemnímu filtru s jinými filtračními náplněmi, např. ze zeolitu nebo aktivního uhlí, případně mykorhizy, kterým by nevadilo ani nutné zahloubení z důvodu úrovně výtokového potrubí z filtru, ani nedostatek slunečního svitu a lépe by se navíc přizpůsobily velkému kolísání produkce šedých vod a dlouhým prodlevám v používání filtračního systému. Tím by se kvalita vyčištěných šedých vod z táborových provozů mohla dále zlepšovat, ať by již skončila jako závlaha pro bylinky, nebo zasakováním do podloží. A kdo ví, zda lidé, kteří při svých toulkách krásnou okolní přírodou zavítají pro občerstvení k nedaleké studánce, si nedají doušek lahodné pitné vody, která bude částečně pocházet z šedých vod tábořiště infiltrovaných do vod podzemních.

V Česku je opětovné používání šedých vod vlastně stále ještě na začátku. Sice již existují velké developerské projekty, problematikou se začali zabývat ve větším projektanti, zlepšila se i legislativa, na trhu je celá řada produktů pro rodinné domy, ale pořád chybí obecné povědomí. Snad se to brzy povede zlepšit i díky podpoře státu, jakou je v současné době např. program „Využití přečištěné odpadní vody s možným využitím srážkové vody“ v programu Nová zelená úsporám.

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.

Assayed A. C., 2015: Assessing the efficiency of an innovative method for onsite greywater treatment: Drawer compacted sand filter – A case study in Jordan. *Ecological Engineering* 81. P. 525-533.

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.

Calheiros C., Raquel V., Mesquita B., Brix H., Rangel A., Castro, P., 2015: Constructed wetland with a polyculture of ornamental plants for wastewater treatment at a rural tourism facility. *Ecological Engineering* 79. P. 1-7.

Dalahmeh S. S., Hylander L. D., Vinnerås B., Pell M., Öborn I., Jönsson H., 2011: Potential of organic filter materials for treating greywater to achieve irrigation quality: a review. *Water Science & Technology*. P. 1832–1840.

Dallas S., Scheffe B., Ho G., 2004: Reedbeds for greywater treatment—case study in Santa Elena-Monteverde, Costa Rica, Central America. *Ecological Engineering*. P. 55-61.

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.

De Simone Souza H. H., Loureiro P., Boncz M. A., 2016: A constructed wetland system for residential greywater reuse. *Desalination and Water Treatment*. P. 1-13.

Del Porto D., Steinfeld C., 2000: *The Composting Toilet System Book: A Practical Guide to Choosing, Planning and Maintaining Composting Toilet Systems, a Water-Saving, Pollution-Preventing Wastewater Solution*: Center for Ecological Pollution Prevention. 240 s.

Diaper C., Toifl M., Storey M., 2008: *Greywater Technology Testing Protocol*. Water for a Healthy Country National Research Flagship. 36 s.

Dotro G., Molle P., Nivala J., Puigagut J., Stein O., von Sperling M., 2017: *Treatment Wetland*. Biological Wastewater Treatment Series. 172 s.

Eriksson E., Auffarth K., Eilersen A.-M., Henze M., Ledin A., 2003: Household chemicals and personal care products as sources for xenobiotic organic compounds in grey wastewater. *Water SA* 29. P. 135-146.

Eriksson E., Auffarth K., Henze M., Ledin A., 2002: Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*. P. 85-104.

Friedler F., 2004: Quality of Individual Domestic Greywater Streams and its Implication for On-Site Treatment and Reuse Possibilities. *Environmental Technology*. P. 997-1008.

Ghunmi L. A., Zeeman G., Lier J., Fayed M., 2008: Quantitative and qualitative characteristics of grey water for reuse requirements and treatment alternatives: the case of Jordan. *Water Science & Technology*. P. 1385-1396.

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

Hrkal Z., 2018: *Voda včera dnes a zítra*. Mladá fronta. 216 s.

Jefferson B., Palmer A., Jeffrey P., Stuetz R., Judd S., 2004: Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. *Water Science and Technology*. P. 157-164.

Kořínková M., Matějů L., Drahošová Z., Štěpánková M., Bartáček J., Šátková, B., 2021: Úloha lidského faktoru při recyklaci šedých vod. *Vodárenská biologie 2021*. Vodní zdroje – Ekomonitor, Praha, Chrudim. S. 106-110.

Kotsia D., Deligianni A., Fyllas N. M., Stasinakis A. S., Fountoulakis M. S., 2020: Converting treatment wetlands into "treatment gardens": Use of ornamental plants for greywater treatment. *Science of the Total Environment* 744. P. 1-9.

Ledin A., Eriksson E., Henze M., 2001: Aspects of groundwater recharge using grey wastewater. *Decentralised sanitation and reuse : Concepts, systems and implementation*. P. 354-370.

Maimon A., Gross, A., 2018: Greywater: Limitations and perspective. *Current Opinion in Environmental Science & Health* 2. P. 1-6.

March J. G., 2004: Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain). *Desalination* 164. P. 241-247.

Mekonnen M., Hoekstra A., 2016: Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances* 2. P. 1-6.

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

Noutsopoulos C. A., Kouris N., Charchousi D., Mendrinou P., Galani A., Koumaki E., 2018: Greywater characterization and loadings - Physicochemical treatment to promote onsite reuse. *Journal of Environmental Management*. P. 337-346.

Oron G., Adel M., Agmon V., Fridler E., Halperin R., Leshem E., Weinberg D., 2014: Greywater use in Israel and worldwide: Standards. *Water Research*. P. 58, 92-101.

Pidou M., 2006: Hybrid membrane processes for water reuse. School of Applied Science. Department of Sustainable Systems. Cranfields, UK: Cranfield University. 256 s.

Pradhan S., Helal M. I., Al-Ghamdi S. G., Mackey H. R., 2020: Performance evaluation of various individual and mixed media for greywater treatment in vertical nature-based systems. *Chemosphere* 245. P. 1-12.

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.

Revitt D. M., 2011: The implications of household greywater treatment and reuse for municipal wastewater flows and micropollutant loads. *Water Research* 45. P. 1549–1560.

Rodríguez C. S., 2021: Life cycle assessment of greywater treatment systems for water-reuse management in rural areas. *Science of The Total Environment* 795. P. 1-15.

Samayamanthula D. R., Sabarathinam Ch., Bhandary H., 2019: Treatment and effective utilization of greywater. *Applied Water Science* 9. P. 1-12.

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

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

Sojka J., 2004: Malé čistírny odpadních vod. ERA, Brno. 98 s.

Spychała M., Nieć J., Zawadzki P., Matz R., Nguyen T., 2019: Removal of Volatile Solids from Greywater Using Sand Filters. *Applied Sciences* 9. P. 1-13.

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

Vymazal J., 2004. Kořenové čistírny odpadních vod. ENKI o.p.s, Třeboň. 14 s.

Winward G., Avery L., Frazer-Williams R., Pidou M., Jeffrey P., Stephenson T., Jefferson B., 2008: A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse. *Ecological Engineering* 32. P. 187-197.

Zehnsdorf A. S., 2016. Grauwasserreinigung mit einer Sumpfpflanzenmatte unter Praxisbedingungen. *Chemie Ingenieur Technik*. S. 1-8.

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.

Zhou X., Zhao F., Guo Y., Zhang Y., You G., 2018: A hydrogel-based antifouling solar evaporator for highly efficient water desalination. *Energy & Environmental Science* 8(11). P. 1-8.

Zipf M. S., Pinheiro I. G., Conegero M. G., 2016: Simplified greywater treatment systems: Slow filters of sand and slate waste followed by granular activated carbon. *Journal of Environmental Management* 176. P. 119-127.

Zuma B. M., Tandlich R., Whittington-Jones K. J., Burgess J. E., 2009: Mulch tower treatment system Part I. Overall performance in greywater treatment. *Desalination* 242. P. 38-56.

7.2 Internetové zdroje

ASIO, spol. s r.o., 2023a: Energie šedých vod (online) [cit. 2023.03.31], dostupné z <<https://www.asio.cz/cz/energie-sedych-vod>>.

ASIO, spol. s r.o., 2023b: Čistírny šedých vod AS-GW/AQUALOOP (online) [cit. 2023.03.31], dostupné z <<https://www.asio.cz/cz/p/142.cistirny-sedych-vod-as-gw-aqualoop>>.

Beránková M., 2016: Odpadní voda – odpad nebo poklad? (online) [cit. 2023.03.31], 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. 2023.03.31], 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., 2021: Zemní filtr pískový (online) [cit. 2023.03.31], dostupné z <<https://biowa.cz/zemni-piskovy-filtr/>>.

Česká rada pro šetrné budovy, 2022: CZGBC (online) [cit. 2023.03.31], dostupné z <<https://www.czgbc.org/files/2022/01/5a6939b042bdaafae6134cd9a117bd2b.pdf>>.

ČHMÚ, 2022: Český hydrometeorologický úřad: Územní srážky (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky#>>.

ČÚZK, 2022: Český úřad zeměměřický a katastrální: Nahlížení do katastru nemovitostí (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <<https://nahlizenidokn.cuzk.cz/VyberKatastrMapa.aspx>>.

CZEXPO, 2022: CZEXPO: Solar Air Water Earth Resource (S.A.W.E.R.) (online) [cit. 2023.03.31], dostupné z <<https://www.czexpo.com/s-a-w-e-r/>>.

Ekolist.cz, 2010: „Zelený“ hotel Mosaic House samotné hosty k šetrnosti nenutí (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <<https://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/zpravy-zd/zeleny-hotel-mosaic-house-samotne-hosty-k-ekologii-nenuti>>.

Ekovesnice.cz, 2012: Rybníkář (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <<http://ekovesnice.cz/711-rybnikar.html>>.

Hodboď, J. 2022: Nejprínosnější původní normou 2021/2022 je ČSN 75 6780 Využití šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <<https://voda.tzb-info.cz/24474-nejprinosnejši-puvodni-normou-2021-2022-je-csn-75-6780-vyuziti-sedych-a-srazkovych-vod-v-budovach-a-na-prilehlych-pozemcich>>.

Kořenovky, 2023: Kořenovky (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <<https://www.korenova-cisticka.cz/>>.

Matějů L., Drahošová Z., Matoušková N., Kořínková M., Bartáček J., Šátková, B. 2021: Potřebujeme právní úpravu pro využití šedých vod? (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/filepath/prezentace/19_mat_eju.pdf>.

Ministerstvo zahraničních věcí státu Izrael, 2020: Izrael: Světová velmoc v hospodaření s vodou a vodohospodářských technologiích (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <https://embassies.gov.il/Praha/NewsAndEvents/Documents/Israel-GlobalLeaderinWaterTech_HR_TB_210x210_cmyk_cz_FINAL_nahled.pdf>.

Ovodarenstvi.cz, (2022). Nejvíce vody spotřebují v USA, nejvíce zaplatí v (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <<https://www.ovodarenstvi.cz/clanky/nejvice-vody-spotrebuji-v-usa-nejvice-zaplati-v-dansku/>>.

Plotěný K., 2019: Recyklace šedých vod a jejich využití (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <<https://www.asio.cz/cz/news/recyklace-sedych-vod-a-jejich-vyuziti.962>>.

Plotěný K., 2021: Nová norma ČSN 75 6780 (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <<https://www.asio.cz/cz/news/nova-norma-csn-75-6780.1205>>.

Plotěný K., 2021: Technická opatření pro využití šedé vody (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <<https://www.asio.cz/cz/news/technicka-opatreni-pro-vyuziti-sede-vody.1129>>.

Pražské vodovody a kanalizace, 2023: Spotřeba (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <<https://www.pvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/>>.

TZBinfo, 2022: První energeticky a uhlíkově pozitivní školní budova v ČR slavnostně otevřena (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <<https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/24301-prvni-energeticky-a-uhlikove-pozitivni-skolni-budova-v-cr-slavnostne-otevrena>>.

Růžička V., 2021: Důležité momenty z konference Voda (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <<https://voda.tzb-info.cz/22987-dulezite-momenty-z-konference-voda-2021>>.

SČVK, 2019: Spotřeba vody (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <<https://www.scvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/>>.

SKANSKA a.s., 2019: Den Země: Skanska přispívá k ochraně přírody (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <<https://services.files.skanska.com/file/download/ea04052d-0541-4752-83bd-d3d0939e0569.2>>.

SKANSKA a. s., 2021: V Praze vyroste první modrozelená čtvrť (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <<https://residential.skanska.cz/blog/v-praze-vyroste-prvni-modrozelena-ctvrt>>.

World Economic Forum, 2023: The Global Risks Report (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <<https://www.weforum.org/reports/global-risks-report-2023/>>.

USEPA, 2012: US Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <<https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-08/documents/2012-guidelines-water-reuse.pdf>>.

WHO, 2022: World Health Organisation: Drinking-water (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>>.

Židlochovice, 2023: Chytré Líchy (online) [cit. 2022.03.31], dostupné z <<https://www.chytrelichy.cz/>>.

7.3 Legislativní zdroje

California Plumbing Code, 2021: Chapter 15. Alternate Water Sources for Nonpotable Applications. U.S. California.

ČSN 75 6780, 2021: Využití šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích. Česká republika.

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

ČSN 75 9020, 2020: Směrnice pro hodnocení účinnosti technologií čištění pro systémy k opětovnému využití vody - Část 1: Obecně. Česká republika.

ČSN 75 9021, Duben 2020: Opětovné využití vody v městských oblastech - Směrnice pro hodnocení bezpečnosti opětovného využití vody - Hodnocené ukazatele a metody. Česká republika.

ČSN 75 9022, 2020: Směrnice pro posuzování a management zdravotních rizik pro opětovné využití vody k nepitným účelům. Česká republika.

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

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

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

Směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. EU.

8. Příloha - Obrazová dokumentace

8.1 Realizace zemního pískového filtru krok za krokem



Obrázek 43: Vsakovací jáma - původní stav (vlevo) a výkopové práce (vpravo).



Obrázek 44: Výkopové práce, v pozadí odtoková jáma, vlevo táborová sprcha.



Obrázek 45: Prosévání zeminy, navážka náplně filtru.



Obrázek 46: Usazení filtru, první vrstva štěrku (vlevo), geotextilní kryt před pískovou náplní (vpravo).



Obrázek 47: Kompletace pískové náplně.



Obrázek 48: Geotextilní kryt před finální vrstvou štěrku (vlevo) a poslední vrstva štěrku (vpravo). Průběžně probíhající obsyp zeminou.



Obrázek 49: Instalace odvodušňovacího potrubí, finální vrstva geotextílie (vlevo), úprava okolního terénu (vpravo).



Obrázek 50: Instalace odkalovací nádoby.



Obrázek 51: Odkalovací nádoba - umístění nátoky a odtoku (vlevo), koryto na čištění zubů a výlevka na mytí rukou (vpravo).



Obrázek 52: Realizace pultů na mytí nádobí.



Obrázek 53: Napojení všech provozů k zemnímu pískovému filtru a ukázka drenáže pro odvodnění vody ze střechy.



Obrázek 54: Příprava podkladu odvodnění táborové sprchy.



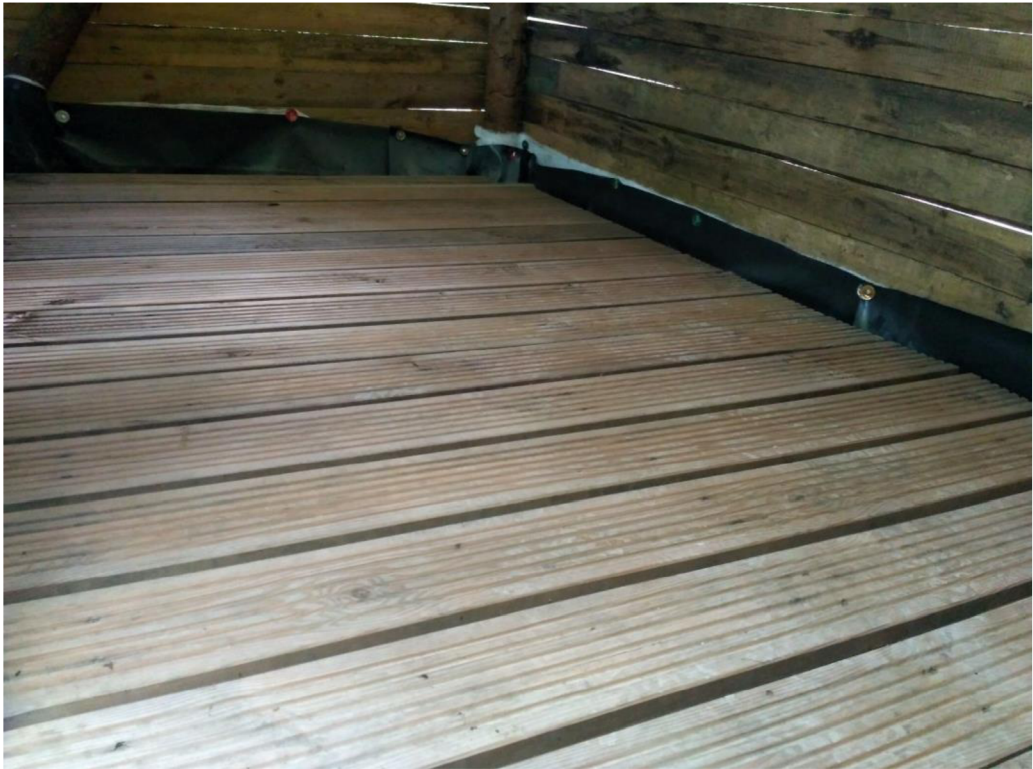
Obrázek 56: Vypádování podkladu a instalace geotextílie proti poškození fólie.



Obrázek 55: Instalace jezírkové fólie a její následné překrytí ochrannou geotextílií.



Obrázek 58: Zarovnání vrstvy štěrku.



Obrázek 57: Finální úprava táborové sprchy instalováním dřevěných pochozích roštů.

8.2 Realizace sekundárního dočištění pomocí KČOV



Obrázek 59: Terénní úpravy kamenitého podloží pro zbudování KČOV.



Obrázek 60: Zakrytí konstrukce geotextilií a usazení odtokového potrubí.



Obrázek 61: Distribuce vody do KČOV skrz nátokové potrubí.



Obrázek 62: Instalace finální drobné štěrkové vrstvy přes vysazením rostlin (vlevo) a vysazení orobince do připraveného štěrkového lože. V popředí stavitelný odtok, na regulaci výše hladiny vody v KČOV.

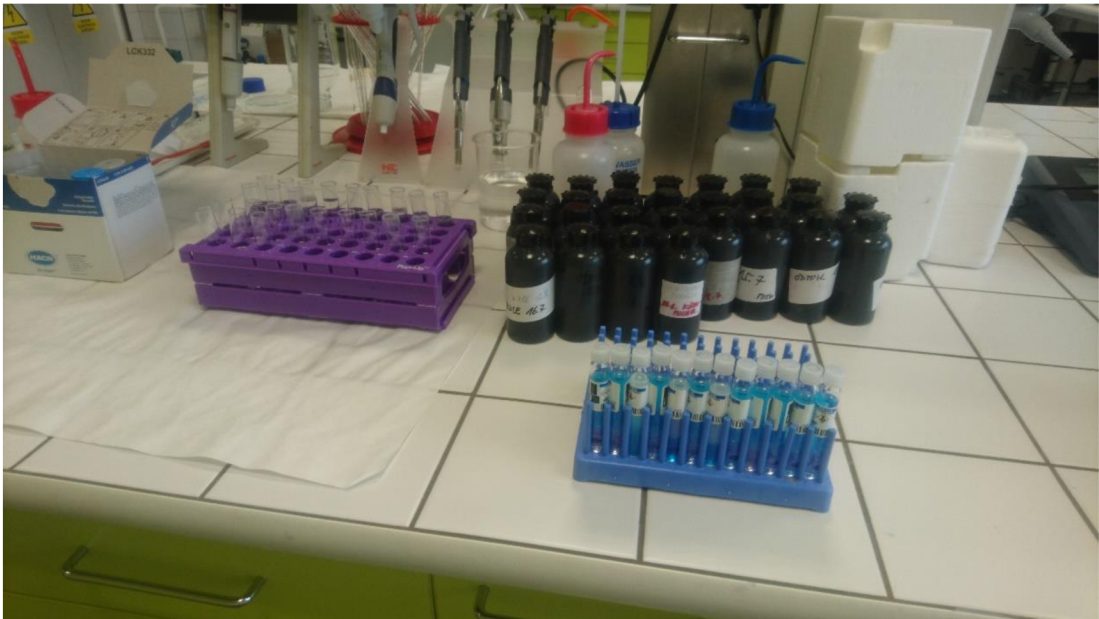
8.3 Práce v laboratoři



Obrázek 63: Příprava ředění odebraných vzorků pro měření v laboratoři.



Obrázek 64: Analyzátor uhlíku a dusíku s připravenými vzorky.



Obrázek 65: Příprava na kyvetový test pro stanovení anionaktivních tenzidů.



Obrázek 66: Použitý spektrofotometr pro stanovení anionaktivních tenzidů.

8.4 Kompletní výsledky testování vzorků

Sledované parametry	F	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	TOC	TC	IC	TN	Tenzidy	pH	Vodivost	Rozpuštěný kyslík	NH ₄ ⁺	NL	
	[mg/l ⁻¹]	[mg/l ⁻¹]	[mg/l ⁻¹]	[mg/l ⁻¹]	[mg/l ⁻¹]	[mg/l ⁻¹]	[mg/l ⁻¹]	[mg/l ⁻¹]	[mg/l ⁻¹]	[mg/l ⁻¹]	[mg/l ⁻¹]	[mg/l ⁻¹]	[µs/cm]	[mg/l ⁻¹]	[mg/l ⁻¹]	[mg/l ⁻¹]	
Nádobí	min	0,13	15,68	0,25	0,04	14,42	0,36	58,97	68,70	6,41	3,05	0,65	267,00	5,63	2,00	140,50	
	max	9,62	235,37	43,23	7,76	40,70	27,19	765,37	776,63	35,29	61,88	35,40	600,00	6,19	3,50	216,00	
	P90	7,20	92,44	32,37	6,78	32,79	10,74	649,82	663,21	31,57	23,66	16,69	536,30	6,13	3,50	203,44	
Ruce	Ø	3,27	56,56	17,63	2,04	22,92	7,17	306,39	326,22	19,67	15,89	9,01	370,50	5,91	2,60	169,89	
	min	0,11	3,00	0,35	0,01	12,48	2,08	88,85	100,16	0,01	5,53	5,46	215,00	7,10	2,50	142,00	
	max	16,34	281,22	91,52	22,20	249,64	20,49	926,22	942,46	41,01	96,71	69,70	6,95	746,00	9,78	6,00	185,00
Sprcha	P90	10,16	187,80	37,57	13,35	67,29	15,23	319,61	346,22	27,91	30,12	58,50	6,85	695,20	9,48	4,50	178,40
	Ø	5,77	101,83	20,00	6,20	40,96	6,25	227,57	244,22	16,57	22,87	20,85	514,21	8,21	3,53	160,14	
	min	0,15	11,96	16,44	0,05	14,09	2,65	31,80	42,02	0,12	8,63	0,12	200,00	6,82	2,00	n.n.	
Odtok	max	20,17	252,45	96,45	20,01	125,07	7,68	519,00	546,05	63,34	83,39	42,00	8,27	813,00	8,31	11,00	n.n.
	P90	7,99	140,74	42,57	6,73	23,80	7,31	253,05	295,79	35,46	53,25	29,20	7,18	489,90	8,26	9,40	n.n.
	Ø	3,67	62,38	30,96	2,83	25,43	5,38	118,45	137,82	19,37	26,16	11,26	6,80	377,30	7,73	5,83	n.n.
KČOV*	max	83,99	412,71	2172	2,71	750,18	46,15	289,44	289,55	56,88	431,47	5,83	6,51	1370,00	12,15	35,00	149,50
	P90	11,23	186,52	755,40	2,29	96,08	33,07	242,70	252,47	47,37	91,97	3,53	6,46	1078,60	10,66	26,50	149,20
	Ø	8,90	128,82	238,90	1,02	86,29	9,93	126,00	147,04	21,03	55,73	1,93	5,52	756,94	5,07	12,33	146,00
KČOV*	min	1,12	36,72	0,24	0,07	14,12	2,13	40,72	40,73	0,01	17,02	1,28	5,64	316,00	n.n.	141,00	
	max	15,70	201,19	46	2,15	36,34	30,34	335,66	337,99	20,66	34,76	1,50	6,02	785,00	n.n.	147,50	
	P90	10,05	196,08	32,26	1,81	34,22	27,99	301,20	305,87	13,83	33,98	1,46	5,99	705,60	n.n.	147,05	
Ø	4,41	130,62	11,89	0,85	23,88	11,83	211,75	218,06	5,64	26,02	1,37	5,85	496,33	n.n.	144,50		

Tabulka 11: Výsledky naměřených hodnot ze vzorků odebraných z jednotlivých provozů v letech 2019–2021. *KČOV pouze v roce 2021. Hodnoty z jednotlivých provozů – minimální, maximální, 90. percentil a průměr.