

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA  
V PRAZE FAKULTA ŽIVOTNÍHO  
PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE



Fakulta životního  
prostředí

**Vliv zálivky šedou vodou na vlastnosti půdy  
po přidání biocharu**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Bakalant: Martin Čečetka

Konzultant práce: Ing. Jiří Bouček

Vedoucí práce: doc. Ing. Kateřina Berchová Ph.D.

2022

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Martin Čečetka

Krajinářství

Územní technická a správní služba

Název práce

**Vliv závlivky šedou vodou na vlastnosti půdy po přidání biocharu**

Název anglicky

**Influence of gray water irrigation on soil properties after addition of biochar**

---

### Cíle práce

Cílem práce je stanovení anorganických prvků pomocí hmotnostní spektrometrie z výlužích půdy s přidaným biocharem. Půda bude zalévána šedou vodou (odpadní voda z domácností a neprůmyslových budov obsahující tenzidy), kohoutkovou, a destilovanou vodou. Obsahy anorganických prvků ve výlužích budou srovnány.

1. Stanovení anorganických prvků ve výluhu šedou vodou
2. Stanovení anorganických prvků ve výluhu kohoutkovou vodou
3. Stanovení anorganických prvků ve výluhu destilovanou vodou
4. Srovnání výsledků mezi výluhy
5. Zhodnocení možnosti využití šedé vody s přidáním biocharu pro pěstování rostlin.

### Metodika

Experimentální práce.

Pokus bude proveden v laboratorních podmínkách, kde budou získány výluhy z jednotlivých treatmentů. Obsah prvků bude stanoven pomocí ICP-MS spektrometrie. Data, získána ze spektrometrie, budou statisticky vyhodnocena.

---

**Doporučený rozsah práce**

40 stran, 2 grafy

**Klíčová slova**

Biochar, tenzidy, šedá voda, anorganický prvek

---

**Doporučené zdroje informací**

*Biochar for Environmental Management : Science, Technology and Implementation. [elektronický zdroj] /.*

LEHMANN, J. – JOSEPH, S..

LEHMANN, J. – JOSEPH, S. *Biochar for environmental management : science and technology.* London ; Sterling: Earthscan, 2009. ISBN 978-1-84407-658-1.

OK, Y S. – UCHIMIYA, S M. – CHANG, S X. – BOLAN, N. *Biochar : production, characterization, and applications.* Boca Raton: CRC Press, 2016. ISBN 978-1482242294.

PRAČKE, K. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. FAKULTA AGROBIOLOGIE, POTRAVINOVÝCH A PŘÍRODNÍCH ZDROJŮ. *Uplatnění biocharu při remediaci půd kontaminovaných rizikovými prvky : doktorská disertační práce.* Disertační práce. Praha: 2018.

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

---

**Předběžný termín obhajoby**

2021/22 LS – FZP

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Kateřina Berchová, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra aplikované ekologie

**Konzultant**

Ing. Jiří Bouček

---

Elektronicky schváleno dne 23. 3. 2022

**prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 23. 3. 2022

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2022

---

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Vliv zálivky šedou vodou na vlastnosti půdy po přidání biocharu vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Kateřiny Berchové Ph.D. a odborného pracovníka Ing. Jiřího Boučka. Citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne .....

.....

## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Kateřině Berchové, Ph.D. za odborné vedení a konzultace, dobré rady a cenné informace, které mi poskytla při zpracování bakalářské práce. Můj velký dík patří rovněž školiteli Ing. Jiřímu Boučkovi za pomoc při laboratorních pokusech a poskytování rad pro zpracování bakalářské práce. Na závěr děkuji své rodině za trpělivost a podporu v průběhu celého mého studia.

## **Abstrakt**

Nacházíme se v době, kdy dochází vlivem klimatických změn k trendu poklesu hladiny podzemní vody. Rozložení výskytu srážek na planetě je nerovnoměrné. V různých ročních obdobích se častěji projevují období delšího sucha. S tím souvisí i kolísání hladiny vodních toků. V souvislosti s poklesem hladiny podzemních vod se zároveň znatelně začíná projevovat i její nedostatek pro každodenní spotřebu. V důsledku těchto jevů se lidstvo snaží najít způsoby, jak lépe hospodařit s vodou. Jednou z možností je recyklace již použitých vod na účely, ke kterým není třeba použití pitné vody. Tato bakalářská práce je zaměřena konkrétně na recyklaci šedé vody pro její další využití v zemědělství. V rámci práce jsme se zaměřili na filtraci šedé vody pomocí přidání biocharu. Výzkum probíhal v laboratorních podmínkách České zemědělské Univerzity v Praze v období od ledna 2021 do března 2021. V rámci testování byl sledován rozdíl mezi třemi zkušebními vzorky. Vzorky byly umístěny do třech pokusných nádob o objemu 50 l. Do těchto nádob byla napuštěna samostatně voda destilovaná s přidáním biocharu a tenzidů, dále voda kohoutková s biocharem a kohoutková voda s biocharem a tenzidy. Pro výzkum byl použit biochar z dřeva napadeném kůrovcem. Vzorek kohoutkové vody s přimícháním tenzidu simuloval šedou vodu. V daném období se každý týden z jednotlivých pokusných nádob odebíraly vzorky, na nichž byly zkoumány přítomné anorganické látky a jejich množství. Na základě zjištěných výsledků bylo možné stanovit podíl anorganických látek, které byly obsaženy v jednotlivých roztocích s destilovanou, šedou vodou a pitnou vodou. Výsledky experimentu ukázaly, zda došlo k rozdílům ve výskytu vybraných anorganických látek v roztocích a zda dochází k jejich adsorpci po použití biocharu. Výsledky ukázaly, že biochar z kůrovcového dříví funguje jako účinná filtrace šedé vody, ale jeho schopnost adsorbovat těžké kovy se neprojevila.

**Klíčová slova:** biochar, šedá voda, tenzidy, anorganické látky

## **Abstract**

Nowadays the level of groundwater trends to fall due to the climate changes. On the planet there is an uneven distribution of precipitation. The periods of prolonged drought in different seasons are more common. This is also related to the fluctuation of the water level in watercourses. In connection with the decline of groundwater its lack for everyday consumption starts to be noticeable at the same time. As a result of these phenomena the mankind is pursuing to find ways of better water management. One option is to recycle already used water for the purposes that do not require the use of drinking water. This bachelor thesis is focused specifically on recycling of gray water for further use in agriculture. In our work we focused on gray water filtration by the addition of biochar. The research took place in the laboratory conditions of the Czech University of Life Sciences in Prague in the period of January to March 2021. As part of the testing the differences between the three test samples was monitored. The samples were placed in three experimental 50 l vessels. These three vessels contained distilled water with the addition of biochar and surfactants, tap water with biochar and tap water with biochar and surfactants, respectively. For our research we used the biochar made from the wood infected by the bark beetle. Gray water was simulated by a sample of tap water mixed with surfactant. Every week of the given period the samples were taken from individual test vessels. In these samples the presence of inorganic substances and their volumes were examined. Based on the results it was possible to determine the proportion of inorganic substances that were contained in individual solutions with distilled, gray and drinking water. The results of this experiment showed possible differences in the occurrence of selected inorganic substances in solutions and the level of adsorption after the use of biochar. The results showed that the biochar extracted from the wood infected by the bark beetle works as an effective filtration of gray water. However its ability to adsorb heavy metals was not proved.

**Key words:** biochar, gray water, surfactants, inorganic substances

## Použité zkratky

AE	oxyethylenát
BSK	biochemická ztráta kyslíku
ČOV	čistírna odpadních vod
ČR	Česká republika
ČSN	Česká státní forma
EN	Evropská norma
EO	ekvivalentní obyvatel
CHSK	chemická ztráta kyslíku
KČOV	kořenová čistírna odpadních vod
LAS	natrium-sek-alkylbenzensulfonát
MES	methylestersulfonát
PPL	pomocné půdní látky



## Obsah

1	ÚVOD .....	12
2	Cíle práce .....	14
3	Literární rešerše .....	15
3.1	Biochar .....	15
3.1.1	Vlastnosti biocharu .....	16
3.1.2	Výroba biocharu .....	17
3.1.3	Typy biocharu .....	18
3.1.4	Využití biocharu .....	19
3.1.5	Odstranění kovů pomocí biocharu .....	20
3.1.6	Nebezpečí biocharu .....	21
3.2	Odpadní vody .....	22
3.2.1	Složení odpadních vod .....	22
3.3	Druhy odpadních vod .....	23
3.3.1	Čištění odpadních vod .....	24
3.3.2	Metody čištění odpadních vod .....	25
3.3.3	Čistírny odpadních vod .....	26
3.3.4	Kořenové čistírny odpadních vod .....	28
3.3.5	Šedá voda .....	29
3.3.6	Chemické složení šedých vod .....	30
3.3.7	Čištění šedých vod .....	31
3.3.8	Recyklace šedé vody .....	31
3.3.9	Využití šedých vod v České republice .....	34
3.4	Tenzidy .....	36
3.4.1	Dělení tenzidů .....	36
3.5	Shrnutí .....	38
4	Metodika .....	40

4.1	Odběry .....	40
4.2	Měření pH a konduktivity .....	41
4.3	Měření ICP .....	41
4.4	Zpracování dat .....	41
4.4.1	Statistická analýza .....	42
4.5	Výsledky .....	43
5	Diskuse .....	54
6	Závěr .....	57
7	Seznam použité literatury .....	58
8	Přílohy .....	66

Seznam grafů:

Graf 1: <i>Spotřeba pitné vody v domácnostech</i> .....	31
Graf 2: <i>Hodnoty měření množství hliníku v zálivkách</i> .....	44
Graf 3: <i>Hodnoty měření množství barya v zálivkách</i> .....	45
Graf 4: <i>Hodnoty měření množství sodíku v zálivkách</i> .....	46
Graf 5: <i>Hodnoty měření množství křemíku v zálivkách</i> .....	47
Graf 6: <i>Hodnoty měření množství stroncia v zálivkách</i> .....	48
Graf 7: <i>Hodnoty měření množství fluoridu v zálivkách</i> .....	49
Graf 8: <i>Hodnoty měření množství chloridu v zálivkách</i> .....	50
Graf 9: <i>Hodnoty měření množství konduktivity zálivkách</i> .....	51
Graf 10: <i>Hodnoty měření množství pH v zálivkách</i> .....	52

# 1 ÚVOD

V současné době můžeme pozorovat rozsáhlé změny klimatu způsobené vlivem člověka na životní prostředí. Počátek těchto změn souvisí s počátkem průmyslové revoluce a intenzivním obděláváním půdy. V souvislosti s rozvojem průmyslu se postupně začalo měnit životní prostředí. Na životní prostředí má dále významný vliv urbanizace měst, tedy zvyšování počtu obyvatelstva a jejich stěhování do měst. Největší rozmach rozvoje průmyslu a zvyšování počtu obyvatel lze zaznamenat ve 20. století. Od druhé poloviny 20. století se často setkáváme s pojmem globální oteplování (Stejskal, 2012). Největší ovlivnění životního prostředí, prostřednictvím antropogenní činnosti, je způsoben zvyšováním emisí skleníkových plynů jako je například oxid uhličitý, methan a oxid dusný. Vlivem globálního oteplování dochází k nerovnoměrnému rozložení srážek. Z tohoto důvodu se častěji setkáváme s poklesem hladiny podzemních vod, které se podílejí na zásobování obyvatelstva pitnou vodou. Lidstvo je v důsledku tohoto jevu nuceno hledat alternativní zdroje pro získávání pitné a užitkové vody. Jako příklad lze zmínit odsolování mořské vody, které je velmi nákladné. Je nutné se zamyslet nad novou alternativou hledání vodních zdrojů. Jednou z možností je využití odpadních vod produkovaných lidskou činností.

Vlivem globalizace a zvyšováním životních standardů lidí roste rovněž spotřeba pitné vody. K tomu úměrně narůstá množství produkovaných odpadních vod, které mají velký potenciál pro další využití. Odpadní vody se dělí na černou odpadní vodu, obsahující močovinu a exkrementy, žlutou odpadní vodu, která obsahuje pouze močovinu, šedou odpadní vodu, tj. voda z kuchyní a koupelen a dešťovou vodu ze střech a zpevněných povrchů (Beránková, 2016)

Opětovné použití šedých vod vytvořených v koupelnách by mohlo uspokojit poptávku po vodě vhodnou ke splachování toalet, čímž může dojít ke snížení spotřeby pitné vody v domácnostech o 30–40 % (Friedler & Hadari 2006). Šedá voda by mohla být po správné úpravě použita v zemědělství, průmyslu a dalších odvětvích, kde není potřeba pitná voda (Tumová, 2019). Jako správná alternativa by se mohla jevit technologie využívající biochar pro filtraci šedé vody. Následně by se mohla používat

přečištěná šedá voda k závlahám rostlin a tím tak pomoci snížení spotřeby pitné vody v mnoha oblastech zemědělství.

V posledních letech s rozvojem průmyslu a narůstajícím počtem obyvatel se snaží zemědělci, co nejvíce zvýšit výnosy na svých polích. Často jsou k tomu používána umělá hnojiva nebo postřiky bohaté na dusičnany, které nejsou šetrné k životnímu prostředí. Při použití umělých hnojiv sice dochází ke zvýšení výnosů plodin, nevýhodou však je velké množství aplikovaných dusičnanů do ornice. Dusičnany následně prostupují půdními vrstvami až do podzemních vod. V důsledku jejich zvýšené koncentrace dochází ke zhoršení kvality podzemní vody, řek, jezer, sladkovodních a mořských ekosystémů. V souvislosti se změnou klimatu se zároveň řeší pokles hladiny spodních vod a zároveň i snížení jejich kvality.

Biochar je pevný produkt pyrolýzy biomasy, vyrábí se a využívá již několik tisíc let a je nejčastěji zmiňován jako dřevěné uhlí (pokud se vyrábí z dřevní biomasy). Využití biocharu je různé, od výroby tepla a energie, přes použití v zemědělství nebo v zahradnictví, až po využití v lékařství. V současnosti je nejčastěji zmiňován v souvislosti se snižováním emisí skleníkových plynů a dále jako náhrada za nosiče fosilních uhlíků (Weber et al., 2018). Nejčastěji se biochar používá v zemědělství a v zahradnictví jako hnojivo.

Ve své bakalářské práci popisuji experiment, který probíhal v laboratorních podmínkách v České zemědělské univerzitě v Praze. V experimentu bylo sledováno, zda má biochar vliv na vlastnosti šedé vody pro její následné použití na zalévání rostlin.

## 2 Cíle práce

Cílem mé práce bylo sledovat a stanovit obsahu anorganických látek v oddělených nádobách, kde se v každé nádobě samostatně provede výluh biocharu s šedou, kohoutkovou a destilovanou vodou a z odebraných vzorků se pomocí hmotnostní spektrometrie posuzují vzorky a dále se provádí vyhodnocení, zda je vhodné využití biocharu s šedou vodou pro následné pěstování rostlin. Výzkum probíhal v laboratorních podmínkách na České zemědělské univerzitě v Praze.

1. Stanovení anorganických prvků ve výluhu šedou vodou.
2. Stanovení anorganických prvků ve výluhu kohoutkovou vodou.
3. Stanovení anorganických prvků ve výluhu destilovanou vodou.
4. Srovnání výsledků mezi výluhy.
5. Zhodnocení možnosti využití šedé vody s přidáním biocharu pro pěstování rostlin.

### 3 Literární rešerše

V posledních letech dochází ke globální změně klimatu, která významně postihuje i střední Evropu. Hovoříme zejména o suchém ovzduší, které je spojováno se zvýšenou teplotou, která vede ke zvýšenému výskytu sucha (Bartošová et al., 2016). Tento jev negativně ovlivňuje úrodnost v zemědělských oblastech, kde musí zemědělsky významné plodiny čelit nedostatečnému zásobení vodou. Jednou z možností, jak snížit dopady sucha v krajině, je pomocí použití pomocných půdních látek (dále jen PPL). PPL slouží jako absorbenty a mohou významně zvýšit kvalitu zeminy, která je důležitá pro růst plodin. Jejich použitím dochází ke zvýšení schopnosti zeminy zadržet vodu a zároveň ke zvýšení obsahu minerálních látek, které jsou potřebné pro zdárný růst rostlin. Jedním z PPL je i biochar, který se v poslední době začíná více využívat v zemědělství.

#### 3.1 Biochar

Biochar (biouhel) je pevný materiál, který vznikl přeměnou rostlinné biomasy při vysokých teplotách s omezeným přístupem nebo bez přístupu kyslíku (Lehmann et al., 2009). Výrobní proces zahrnuje pomalou pyrolýzu při vysokých teplotách, proto se výroba biocharu podobá výrobě dřevěného uhlí (Weber & Quicker, 2018). Při výrobě biocharu se díky pyrolýze netvoří oxidované formy uhlíku (například oxid uhličitý), které se mohou uvolňovat do atmosféry (Kozlíková, 2019).

V poslední době dochází k vývoji účinnějších systémů recyklace již použitých materiálů, ve snaze lidstva snížit jeho ekologické dopady na naši planetu. V souvislosti s tímto vývojem se mnoho vědeckých studií začíná zaměřovat na hledání nových způsobů využití již použitých materiálů. Jako příklad lze uvést využití biocharu na obohacení zeminy v zemědělství. Snaha navrátit tímto způsobem uhlík do země by mohla vést ke zlepšení kvalit zemědělských půd a zároveň by mohla napomoci odstranit z půd toxické látky (Ahmad et al., 2014).

*Biomasa je organická hmota, která se účastní koloběhu živin v biosféře. Biomasa obsahuje těla (schránky) všech organismů např. živočichů, rostlin, bakterií, hub a sinic (Vybořil, 2017).*

Biouhel se vyrábí z různorodých materiálů mezi, které patří například dřevo, hnůj a digestát. Ve své práci se zabývám biocharem vyrobeným z materiálu, který svými vlastnostmi napomáhá při čištění odpadních vod adsorbovat anorganické látky (ionty těžkých kovů) (Gembalová et al., 2016). Významnost biocharu spočívá v jeho vlastnostech, které představují schopnost zadržovat v zemi vláhu a zadržet v půdě velké množství uhlíku (Pohořelý et al. 2019). Uhlík se následně neuvolňuje do atmosféry, a tímto způsobem napomáhá dlouhodobě ke zvýšení kvality a čistoty ovzduší. Výše uvedené vlastnosti biocharu přispívají ke zvyšování úrodnosti, a kvality zemědělské půdy, dále pomáhají v boji proti různým chorobám rostlin a díky schopnosti adsorbovat těžké kovy zároveň zamezují znehodnocení zemědělských ploch. Z výše zmíněných skutečností můžeme konstatovat, že biochar má kladný vliv na kvalitu životního prostředí.

### **3.1.1 Vlastnosti biocharu**

Biochar je přírodní jemnozrný uhlíkatý materiál černé barvy, který je heterogenní a pórovitý. Je velmi bohatý na labilní a stabilní složky (uhlík a minerální látky). Obsah látek v biocharu, kromě uhlíku, závisí na druhu biomasy a typu pyrolýzy (Pandey et al., 2020). Biochar má bohaté sorpční vlastnosti. Dokáže adsorbovat nejen organické, ale i anorganické látky. Schopnost adsorpce biocharu dokážeme využít v zemině i ve vodním prostředí a zamezit tím prostupu nebezpečných látek do rostlin. Fyzikálně chemické vlastnosti biocharu mají vliv na adsorpční kinetiku, která je ovlivněna jeho pórovitostí, měrný povrch a druh funkční skupiny na jeho povrchu. Parametry a vlastnosti biocharu jsou ovlivněny typem použité biomasy, výrobní technologie (teplota a délka pyrolýzy) a stupněm karbonizace. Při styku adsorbované látky s biocharem lze definovat několik různých mechanismů adsorbce. Jedná se o elektrostatickou přitažlivost, chemickou vazbu, vodíkové vazby, fixace v pórech,  $\pi$ - $\pi$  interakce (Gembalová et al., 2016). Biochar pohlcuje také další látky, které jsou obsaženy v odpadních vodách. Původcem těchto látek jsou nejčastěji farmaceutické produkty, jako příklad lze uvést isobrufen, tetracyklin, acetaminofenon, aspirin, a pesticidy (alachor, acetochlor, atd) (Gembalová et al., 2016).



*Adsorpce je chemická reakce mezi adsorbovanou látkou (anorganickou látkou, sodík, nikl, ...) a tuhou látkou adsorbentem (biocharem). U adsorpce dochází k hromadění látek pouze na povrchu adsorbentu narozdíl od absorpce, kde hromadění probíhá v celém objemu látky (Bulánek, 2014). Po přidání adsorbentu a adsorbované látky začnou působit přitažlivé síly. Díky těmto silám dochází k hromadění molekul adsorbované látky na povrchu adsorbentu, čímž dochází ke snížení koncentrace adsorbované látky v roztoku. Tato funkce závisí na adsorbentu a adsorbované látce, na pH a teplotě (Slaný, 2020)*

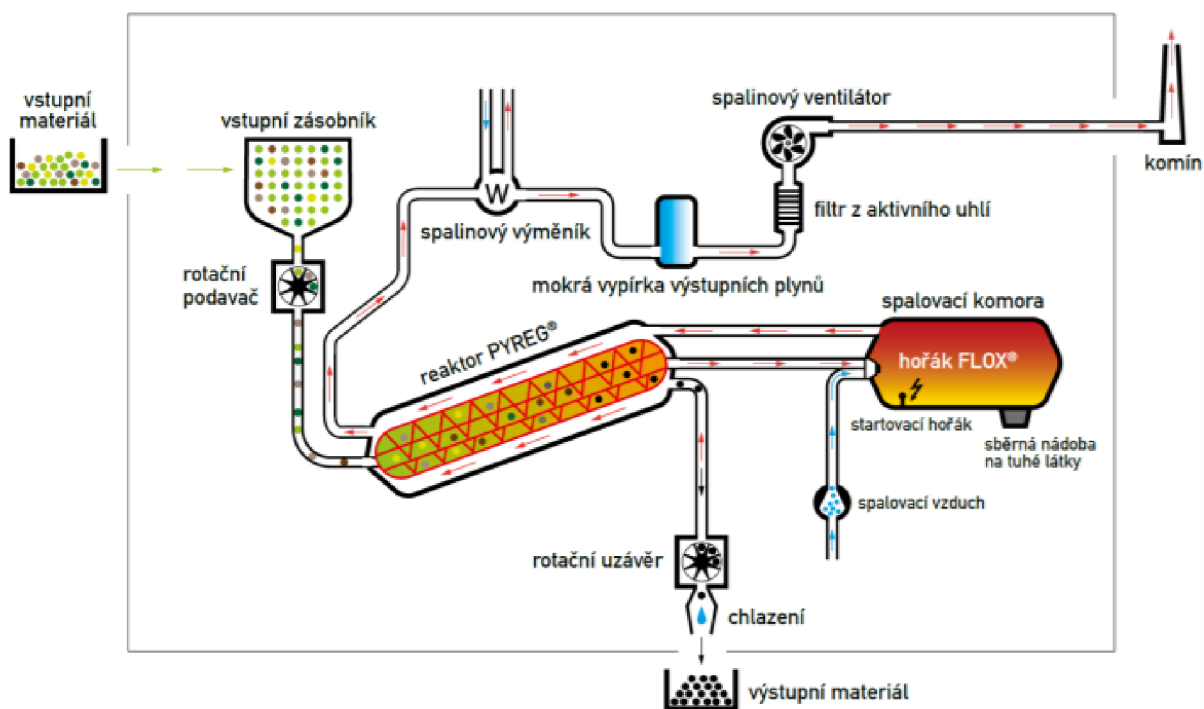
Z dalších vlastností, které má biochar, můžeme jmenovat absorpci, zejména vody, kterou dokáže absorbovat a zadržet. Tato vlastnost přináší pozitiva pro udržení vody v orné půdě (Peer et al., 2019). Přímé měření absorpce vody v biocharu je popsáno v normě ČSN EN ISO 14238 (Technické normy).

### **3.1.2 Výroba biocharu**

Biochar vzniká z biomasy, která musí projít pyrolýzou (obr. 1). Výběr vhodné pyrolýzy při výrobě závisí na účelu využití biocharu a vstupní surovině. Vstupní surovinu je nutné upravit (předsušit) na správnou vlhkost a poté upravit na vhodnou velikost. Suroviny použité k výrobě biocharu ovlivňují jeho tvrdost, pórovitost a hustotu (Spokas et al., 2012). Důležitá je rovněž správně použitá teplota během pyrolýzy (nizkoteplotní, středněteplotní, vysokoteplotní), rychlost ohřevu a tlak (podtlak, atmosférický tlak či přetlak) (Pohořelý et al., 2019).

Největší výrobci biocharu v zahraničí jsou PYREG 5 a ETIA s produkty řady BIOGREEN6. Největší výrobci biocharu v ČR jsou společnosti BIOUSHEL.CZ s.r.o. a TARPO spol. s.r.o.

Pyrolýza je tedy rozklad organické suroviny bez přístupu nebo s minimálním přístupem kyslíku. Surovina pro jeho výrobu se ohřeje nad možnost termické stability organických sloučenin. Během pyrolýzy dochází ke vzniku tuhého zbytku (biochar), pyrolýzní kapaliny a pyrolýzního plynu. Obsah produktu závisí na vstupní surovině, na době zadržení suroviny v reaktoru a na zvolené teplotě při pyrolýze (Peer et al., 2019).



Obrázek 1: Schéma výroby biocharu (Pohořelý et al., 2017)

### 3.1.3 Typy biocharu

Druhy biocharu můžeme rozdělit do dvou skupin podle rychlosti ohřevu nebo do tří skupin podle použité teplotní technologie pyrolýzy.

#### *Rozdělení podle rychlosti ohřevu*

**Rychlá pyrolýza** představuje proces, během kterého biomasa projde za krátkou dobu vysokou teplotou, kde teplota v reaktoru může vystoupat až na 1200 °C. Při této pyrolýze dochází ke vzniku většího podílu pyrolyzního oleje (60-75 %). Dále v menším množství vzniká biochar (15-25 %) a pyrolyzní plyn (10-20 %) (Fojtíková, 2017).

**Pomalá pyrolýza** je proces, během kterého dochází k postupnému ohřívání biomasy až na 800 °C. Při této pyrolýze vzniká z biomasy 30 % pyrolyzního oleje, 30 % pyrolyzního plynu a 35 % biocharu (Fojtíková, 2017).

## ***Rozdělení podle teplotní technologie***

**Nízkoteplotní biochar** je vyroben při teplotách do 400 °C a má nižší hodnoty pH. Mezi výhody nízkoteplotního typu biocharu patří jednoduchá výroba a velká kationtová výměna kapacit. Nízkoteplotní biochar uvolňuje uhlík, který je potřebný růstu mikroorganismů v zemině. Nevýhodou nízkoteplotního biocharu je krátkodobé udržení v půdě (Pohořelý et al., 2019).

**Středněteplotní biochar** býval často používán v minulosti jako kompromis mezi nízkoteplotními a vysokoteplotními biochary, ale ty ho postupně vystřídaly, protože nemá žádnou větší výhodu od zbylých jmenovaných biocharů (Pohořelý et al., 2019).

**Vysokoteplotní biochar** se vyrábí při teplotách nad 600 °C, má vyšší hodnoty pH a nižší hydrofobicitu oproti středněteplotnímu a nízkoteplotnímu biocharu. Jeho výhodou je velký povrch, díky kterému dokáže absorbovat velké množství vody (Pohořelý et al., 2019).

### **3.1.4 Využití biocharu**

Biochar je využíván nejčastěji v zemědělství jako hnojivo. Dále se biochar používá jako příměs do krmiv pro hospodářská zvířata, podestýlka a také jako příměs do kompostů. Využití biocharu během procesu kompostování zkracuje dobu potřebnou pro rozklad organické složky kompostů a zároveň snižuje jeho zápach. Jako hnojivo se v zemědělství používá biochar vyrobený z biomasy, která nebyla nijak chemicky ošetřena a zároveň patří mezi pomocné půdní látky (Pohořelý et al., 2019).

Biochar se do zeminy aplikuje ve formě sypké frakce nebo granulí o velikosti 3 až 5 mm. Před vložením do zeminy se musí aktivovat. K aktivaci dochází nejčastěji navlhčením, přimícháním do hnoje nebo do kompostovací směsi, čímž dochází ke snížení jeho prašnosti. K aplikaci se používají zemědělské stroje s rozmetadlem nebo secí stroj. (Pohořelý et al. 2019).

### ***Využití biocharu pro kompostování***

Kompostování slouží k recyklaci zemědělského biologického odpadu. Při aplikaci biocharu na kompostování zjistil Jindo et al (2012), že biochar napomáhá snížit dobu kompostování a redukuje zápach. Biochar na sebe dále navazuje živiny a snižuje hodnoty emisí metanu a oxidu dusného (Jindo et al., 2012).

#### **3.1.5 Odstranění těžkých kovů pomocí biocharu**

V důsledku výrobně provozních činností podniků a továren dochází k vypouštění odpadních vod, které obsahují nevhodné látky. Mezi tyto nevhodné látky patří zejména těžké kovy, které jsou závažným původcem znečištění životního prostředí. Většina těžkých kovů v odpadních vodách pochází z podniků na spalování uhlí, výrobu baterií a rovněž používáním pesticidů v zemědělství (Inyang et al., 2012). Nevhodné látky v odpadních vodách mohou být karcinogenní a toxické, čímž ohrožují lidskou populaci. Na odstraňování těžkých kovů bylo v minulosti využito mnoho technologií, které jsou nákladné a velmi málo efektivní.

Použití biocharu na odstranění těžkých kovů může mít velkým potenciál pro čištění odpadních vod. Výsledky ze studie Inyang et al., (2015) dokazují účinnost biocharu vyrobeného ze zbytků cukrové třtiny, který adsorboval větší množství olova z vody než aktivní uhlí. Studie dále poukazuje na nízkou cenu biocharu, čímž je považován za alternativní technologii pro úpravu vody a odstraňování olova. Další studie Inyang et al., (2011) uvádí, že biochar vyrobený ze zbytků kukuřice dokáže účinně adsorbovat ionty těžkých kovů v odpadních vodách (měď, zinek a rtuť).

Mnoho biocharů má záporně nabitý povrch a může elektrostaticky přitahovat kladně nabité ionty kovů a zadržovat je ve svých pórech (Inyang et al., 2015). Ve srovnání s aktivním uhlím má biochar více povrchových funkčních skupin, obsahuje různé skupiny anorganických sloučenin a je lepší uhlíkatý adsorbent těžkých kovů (Liu et al., 2015).

### **3.1.6 Nebezpečí biocharu**

Biochar má ale i svá negativa. Velké negativum je jeho složení. Biochar se vyrábí z různorodé biomasy, rozdílnými pyrolýzami, a proto může obsahovat toxické sloučeniny (polycyklické aromatické uhlovodíky, chlorované uhlovodíky i dioxiny) (Zhikun, et al. 2019). Další problém se může vyskytnout při pyrolýze konkrétně kontaminací párami, které vznikají při kondenzování (Fojtíková, 2017).

V biocharu byly prokázány volné kyslíkové radikály při elektronové paramagnetické rezonanci. Ty mohou způsobovat inhibici růstu rostlin. Jelikož je biochar vkládán do zeminy, z důvodu udržení vlhkosti v zemině a zvýšení rostlinné produkce, je u něj nutné provádět environmentální monitoring. Monitoring je prováděn pomocí testu fytotoxicity (Fojtíková, 2017). U monitoringu se zkoumá klíčivost semen, růst kořenů, růst rostlin spolu s chováním biocharu k půdním organickým hmotám (Lehmann et al., 2011).

## 3.2 Odpadní vody

Odpadní voda je voda, jejíž kvalita byla zhoršena lidskou činností a mohla by po vypuštění ohrozit okolní povrchové a podzemní vodní zdroje. Podle legislativy bereme odpadní vody jako vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu) a jejich směsi se srážkovými vodami, jakož i jiné vody z těchto staveb, zařízení nebo dopravních prostředků odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. Odpadní vody jsou i průsakové vody vznikající při provozování skládek a odkališť nebo během následné péče o ně, s výjimkou vod, které jsou zpětně využívány pro vlastní potřebu organizace, a vod, které odtékají do vod důlních. (Zákon č. 254/2001 Sb.) Z pravidla je rozdělujeme na odpadní vody splaškové, průmyslové, dešťové a podzemní.

### 3.2.1 Složení odpadních vod

Látky v odpadních vodách se dají rozdělit na organické a anorganické. Organické látky jsou tvořeny z části rozpuštěnými látkami narozdíl od anorganických látek, které jsou obsaženy jenom v rozpuštěné formě.

#### *Organické znečištění*

Organické látky tvoří sacharidy, bílkoviny, volné aminokyseliny, vyšší mastné kyseliny, rozpuštěné organické kyseliny a tuky (Pěcháček, 2019). Množství organických látek se vyjadřuje pomocí biochemické spotřeby kyslíku (BSK), chemické ztráty kyslíku (CHSK), celkového organického uhlíku (TOC) a ztrátám žíhání (Groda, 2007).

**BSK** znázorňuje hmotnostní koncentraci rozpuštěného kyslíku spotřebovaného organismy za určitý počet dní biologickou oxidací organických látek přítomných v jednom litru vody při 20 °C (Járová et al., 2017).

**CHSK** znázorňuje množství kyslíku uvolněného dichromanem draselným, který reaguje s oxidovatelnými látkami obsaženými v jednom litru vody za daných zkušebních podmínek (Járová et al., 2017).

**CHSK** = koncentrace biologicky rozložitelných i nerozložitelných organických látek (Járová et al., 2017).

**Organický uhlík** (TOC) vyjadřuje celkový obsah organických látek v odpadních vodách, vyjadřuje se v [mg/l] (Groda, 2007).

**Ztráta žiháním** je rozdíl mezi obsahem veškerých látek (odparek) a jejich zbytkem po žihání, hrubé měřítko obsahu organických látek ve vodách (ČSN EN 15935).

### ***Anorganické látky v odpadních vodách***

Anorganické látky jsou v rozpuštěné formě obsaženy v odpadních vodách. Koncentrace těchto látek nesmí přesáhnout 10 g/l. V současné době je kladen důraz na snížení obsahu dusičnanů, fosforečnanů a těžkých kovů z odpadních vod. Při zvýšeném obsahu dusičnanů může docházet k rychlejšímu růstu řas, sinic a dalších mikroorganismů, které zhoršují kvalitu vody (Groda et al., 2007).

## **3.3 Druhy odpadních vod**

### ***Průmyslová odpadní voda***

Průmyslové podniky využívají vodu během výrobní činnosti. Může se jednat o použití vody v rámci technologií při čištění, chlazení nebo jako vhodnou surovinu v rámci procesu výroby (VA TECH WABAG s.r.o). Během procesů výroby se voda většinou znečistí těžkými kovy a dalšími toxickými látkami, čímž vzniká průmyslová odpadní voda. Před jejím vypuštěním do veřejné kanalizace by měla být upravena tak, aby byla vhodná pro čistící technologie komunální ČOV (Volná, 2021). V minulosti obsahovaly odpadní vody z průmyslových podniků mnoho toxických látek (pesticidy, těžké kovy), které byly vypouštěny do kanalizací a poté do řek. Následně kontaminovaná voda s toxickými látkami odtékala do ČOV, které je nebyly schopny je zredukovat. V posledních letech je kladen důraz na oddělení průmyslové odpadní vody od veřejné kanalizace (Groda et al., 2007).

## ***Splašková odpadní voda***

Vzniká každodenní lidskou potřebou. Splašková voda většinou pochází z domácností, škol, úřadů, obchodů, podniků, provozů a nejčastěji obsahuje exkrementy, zbytky potravin a pracích prostředků (Vrba, 2020).

Množství splaškových odpadních vod vychází z fakturované pitné vody, kterou odebírají spotřebitelé. Hodnota splaškových vod se udává v litrech za den na jednoho obyvatele. Produkce splaškových vod se odvíjí i podle místa a vybavenosti spotřebiště. V praxi se používá hodnota produkce splaškových vod na 150 l na osobu za den (Groda et al., 2007).

## ***Dešťové odpadní vody***

Atmosférické srážky, které dopadnou na zastavěný povrch označujeme jako dešťové odpadní vody. Během kontaktu s povrchy vytvořenými lidskou činností může dojít k její mírné kontaminaci. K ní nejčastěji dochází kontaktem dešťových vod a materiálů použitých na stavbu střech budov, silnic a chodníků, odkud je odváděna přes koryto a okapový svod do veřejné kanalizace, kde se následně promísí s ostatními odpadními vodami. Dešťová voda je minimálně znečištěná, a proto má obrovský potenciál k dalšímu využití, jenž sníží spotřebu pitné vody. Z tohoto důvodu vznikl projekt „DEŠŤOVKA“, který poskytuje dotace a příspěvky na projekty pro zachycení a akumulaci dešťové vody v nádržích. Dešťová voda může být následně využita na zahradách a v domácnostech. Tímto způsobem by se zamezilo zbytečnému používání pitné vody na zalévání zahrad, splachování záchodu a mytí automobilů (Plotěný, 2019).

## ***Balastní vody***

Balastní vody jsou podzemní vody, které vnikají do kanalizačního systému nárazově. Jedná se o vodu pitnou i užitkovou vodu, která může vznikat během z havárií vodovodů a hydrantů (Drabinová et al., 2015).

### **3.3.1 Čištění odpadních vod**

Čištění odpadních vod je nezbytně nutné pro zachování, udržení čistoty a kvality vodních zdrojů, které mohou sloužit jako zdroje pitné vody a udržení stability vodního ekosystému. Předčištěné odpadní vody jsou následně vypouštěny do vodních toků nebo retenčních nádrží.



Čištění těchto vod probíhá samovolně ve vodním ekosystému. Proces čištění je mnohem pomalejší a nedokáže přechytit velké množství odpadních vod produkovaných lidskou činností. Z tohoto důvodu jsou zbudovány čističky odpadních vod, které pomocí různých postupů přečišťují odpadní vody.

### **3.3.2 Metody čištění odpadních vod**

Čištění odpadních vod slouží ke zlepšení kvality těchto vod. Čištění spočívá v odstranění fyzických, chemických a biologických složek z odpadních vod za účelem dalšího využití v zemědělství, průmyslu a pro vypuštění zpět do vodního toku. Pro odstranění fyzických složek se používá mechanické čištění a pro odstranění biologických složek se používá biologické čištění.

#### ***Mechanické čištění***

Pro mechanické čištění se používají mechanické separace znečišťujících látek. Nejprve je potřeba oddělit hrubší materiály pomocí česel (obrázek 2). Následně odpadní voda putuje přes lapák písku, kde dochází k odstranění zrn písku a šterku (Herle et al. 1990). Odpadní vody jsou poté vedeny přes síta a rošty. Posledním krokem mechanického čištění odpadních vod je sedimentace, během které dochází k usazování nerozpuštěných látek na dně usazovacích nádrží. Mechanické čištění je prvním krokem čištění odpadních vod a jedná se o předčištění, po kterém následuje vlastní čištění v ČOV. Během mechanického čištění dochází k odstranění zhruba 1/3 látek, které během čištění spotřebovávají kyslík (Frintová 2007).

**Česle** je zařízení k zachycení hrubších nečistot. Tvoří je hustá mříž (česlice) a mezery mezi ocelovými tyčemi (průliny) (Matysková, 2011).



Obrázek 2: Česle (dostupné z: <https://www.buesch.com/cs/vyrobky/vretenova-soupatka-hraditka-a-stavitka/prislusenstvi/cesle/>)

### ***Biologické čištění***

Během čištění odpadních vod je důležité odstranit znečištění způsobené rozpuštěnými anorganickými a organickými látkami. K tomuto účelu se využívá biologické čištění pomocí mikroorganismů. Rychlost biologického čištění odpadních vod je ovlivněna koncentrací kyslíku, pH, teplotou a obsahem znečištění toxickými látkami (Pátková, 2010).

### **3.3.3 Čistírny odpadních vod**

Čistírny odpadních vod (ČOV) jsou používané k biologicko-mechanickému čištění komunálních odpadních vod. Tyto objekty jsou budovány v okolí různých větších továren, zemědělských podniků, měst či obcí. Z těchto spotřebišť čistí komunální a smíšené odpadní vody. ČOV se skládají z několika objektů. Jejich úkolem je napodobit přírodní způsob čištění vody, ale za kratší časový úsek. K tomu musí mít ideální podmínky pro odstranění nevhodných látek, které jsou v odpadních vodách obsaženy.

#### ***Mechanické čištění v čistírnách***

Prvním objektem čistírny odpadních vod je vstupní čerpací stanice s odlehčovací komorou. Do stanice jsou odpadní vody vedeny přes lapače šterku, kde se zachycuje kamenivo a šterk. Voda putuje dále přes česle až do čerpacích jímek. V česlech se z odpadní vody odstraňují plovoucí nečistoty. K odstranění nečistot se používají ruční nebo mechanické shrabky. Dalšími objekty jsou lapáky písku a tuků (Novák, 2014).

Lapák písku je určen k odstranění písku z organických nerozpuštěných látek. Odstraněním písku zamezíme jeho usazování na nevhodných místech během čistícího procesu. Usazovací nádrž (obr. 3.) je poslední část z mechanického čištění. Slouží k usazování jemných a neznámých látek. Povrchové nečistoty se z nádrže též odstraní pomocí sběrače. Tyto nečistoty se nazývají kaly, které se po odebrání z ČOV se dále využívají v kalovém hospodářství (Černý, J., 2009).



Obrázek 3: Usazovací nádrž ČOV (dostupné z: <http://www.hydrosystemy.cz/produkty/33-cistení-odpadních-vod>)

### ***Biologické čištění***

Biologické čištění využívá k odstranění znečištění odpadních vod bakterie (Veselý, 2009). Bakterie jsou mikroorganismy, které eliminují zápach a snižují objem organického kalu v odpadních vodách. Tento proces se odvíjí od procesu, který samovolně probíhá v přírodě. Všechny odpadní vody mohou být čištěny biologicky, protože obsahují biologicky rozložitelné odpadní složky. V tomto systému čištění dochází k využití mnoha organismů (aktivovaný kal), pro které slouží organická součást odpadních vod jako substrát (Chudoba, 1991). Tyto organismy využívají substrát pro svůj růst a získávání energie. Odstraňování organické hmoty se provádí při biologickém

čištění, kdy se odděluje vzniklá biomasa od vyčištěné vody v dosazovací nádrži (Frintová, 2007).

### ***Terciální čištění***

Terciální čištění slouží k dočišťování odpadních vod po mechanicko-biologickém čištění. V posledních letech se na tuto část klade velký důraz, kvůli negativnímu vlivu vypuštěných látek z ČOV na životní prostředí. Na dočišťování se používají různé filtrace. Nejčastěji se jedná o filtrace přes aktivní uhlí. V těchto filtrech se nejčastěji používá granulované nebo práškové uhlí. Aktivním uhlím se odstraňuje celá řada nerozložitelných organických látek. Dalším krokem terciálního čištění odpadních vod je membránová filtrace, která odstraňuje koloidy, bílkoviny, uhlovodíky (Wanner, 2018). Tento typ filtrace je velmi účinný na čištění odpadních vod, které jsou znečištěné olejovými emulzemi ze strojů a odmašťovacími látkami.

### **3.3.4 Kořenové čistírny odpadních vod**

Kořenové čistírny odpadních vod (KČOV) neboli vegetační čistírny odpadních vod jsou velmi šetrné k životnímu prostředí. Využívají přirozené čištění pomocí kořenových systémů, které zachycují živiny a nečistoty, anaerobních bakterií žijící na kořenech mokřadních rostlin (Kočková, 1994). Základním principem těchto čistíren je horizontální průtok odpadních vod propustným substrátem (obrázek 4).

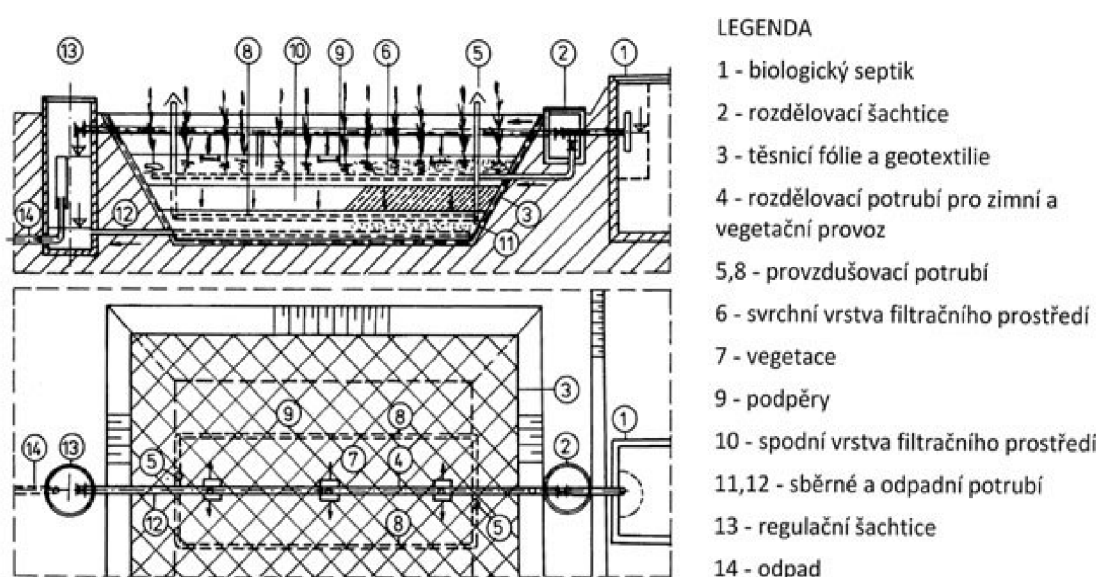
Velkou výhodou KČOV je jejich nenáročný provoz. K jejich provozu není potřeba žádný zdroj energie, jsou tedy bez hluku a nevyžadují časté provádění speciální údržby. KČOV na rozdíl od ČOV mají schopnost odstraňovat organické a nerozpustné látky (Vymazal, 2016).

**Předčištění** je typ čištění, který je velmi důležitý. Jedná se o mechanické předčištění vody, během kterého dochází k odstranění nerozpustných látek. Pokud nebude docházet k dostatečnému odstranění těchto látek, hrozí riziko ucpání filtračního lože a poškození KČOV (Vymazal, 2016).

**Filtrační lože** jsou nejčastěji používána pro filtraci a jsou tvořena z praného šterku nebo drceného kameniva. Aby nedocházelo k jeho ucpávání, musí mít substrát dostatečnou propustnost. Materiál na jeho tvorbu musí být jedno druhový a očištěný od prachu i zeminy. Filtrační lože musí být oddělena od podloží nepropustnou vrstvou, která se používá, aby nedocházelo ke kontaminaci spodních vod odpadní vodou

způsobenou průsakem z KČOV. Z tohoto důvodu je nutné tuto nepropustnou vrstvu chránit proti jejímu narušení (Vymazal 2004).

**Vegetace v KČOV** plní mnoho funkcí. Jednou z hlavních funkcí je zateplování filtračních polí v zimním období. Vegetace se upravuje až po největších mrazech, kdy už mrazy netvoří velkou hrozbu pro vegetaci a KČOV. Další funkcí vegetace v KČOV je přivádění kyslíku do kořenového systému. Kyslík slouží rostlinám pro jejich potřebu respirovat. Rostliny zároveň vytváří podklad pro mikroorganismy (Vymazal 2004).



Obrázek 4: Řez KČOV (dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/10058-vegetacni-korenove-cistirny>)

### 3.3.5 Šedá voda

Šedá voda je druh odpadní vody, která neobsahuje fekálie a moč. Tvoří ji odpadní vody z koupelen a kuchyní, proto obsahuje různé soli a čisticí prostředky, které obsahují tenzidy. Složení šedé vody je v každé domácnosti částečně odlišné, dle používaných čisticích prostředků, které mají vliv složení šedé vody.

Šedá voda se dělí do několika různých skupin, které se odlišují místem vzniku. Na základě této skutečnosti ji dělíme do 4 kategorií (Biela, 2012):

- šedá voda z kuchyní a myček,
- šedá voda z praček,
- šedá voda z umyvadel, van a sprchových koutů,
- neseparované šedé vody (neoddělené šedé vody z umyvadel, van, sprchových koutů, kuchyňského dřezu apod).

Šedá voda má velký potenciál pro její opětovné použití. Aby k němu mohlo docházet, musí projít úpravou během které se z ní odstraní tuky a dojde k její následné filtraci a dezinfekci. Tyto procesy odstraní z šedé vody většinu virů, bakterií a zápach (Beránková et al., 2017). Více jak 50 % produkovaných odpadních vod tvoří šedé vody. Vzhledem k častějším problémům s dostatečným zásobováním pitnou vodou se jejich recyklace a následné využití jeví jako jedna z možností, jak snížit spotřebu pitné vody v domácnostech. (Biela, 2012).

### 3.3.6 Chemické složení šedých vod

Šedé vody obsahují více obtížněji rozložitelných organických látek. Tato skutečnost je znázorněna poměrem mezi chemickou spotřebou kyslíku (CHSK) a biochemickou spotřebou kyslíku (BSK<sub>3</sub>), který je stanoven na 4:1 (tabulka 1). U komunálních odpadních vod je tento poměr 2:1 (British Standard BS Part 1, 2010).

Tabulka 1: hodnoty BSK a CHSK v šedých vodách (Plotěný, 2011)

Původ šedé vody	Pračky	Vany, sprchy,	Kuchyně, myčky	Neseparovaná šedá voda
		umyvadla		
BSK <sub>5</sub> [mg/l]	48–682	19–200	669–756	41–194
CHSK [mg/l]	375	64–8 000	26–1 600	495–623

Na tomto výrazném rozdílu má podíl především odtok odpadní vody z koupelen, v nichž jsou obsaženy zbytky různých druhů šamponů, mýdel a sprchových gelů. V šedé vodě se vyskytují ve zvýšeném počtu různé mikroorganismy, kterým její vyšší teplota (20 – 40 °C) poskytuje výrazně lepší podmínky pro jejich život, reprodukci a zároveň se zde nachází množství potravy (Brook et al, 2013). V šedých vodách se také vyskytují různé nečistoty a příměsi, které jsou ve vodě nerozpustné. Mezi tyto nerozpustné nečistoty patří nejčastěji zbytky jídla, vlasy a jiné kožní deriváty, které zhoršují úpravu těchto vod.

V šedých vodách se dále mohou vyskytovat v nízkých koncentracích různé ionty kovů jako například lze uvést Ca, Fe, Mg, Al (Kaštánek et al., 2010).

### **3.3.7 Čištění šedých vod**

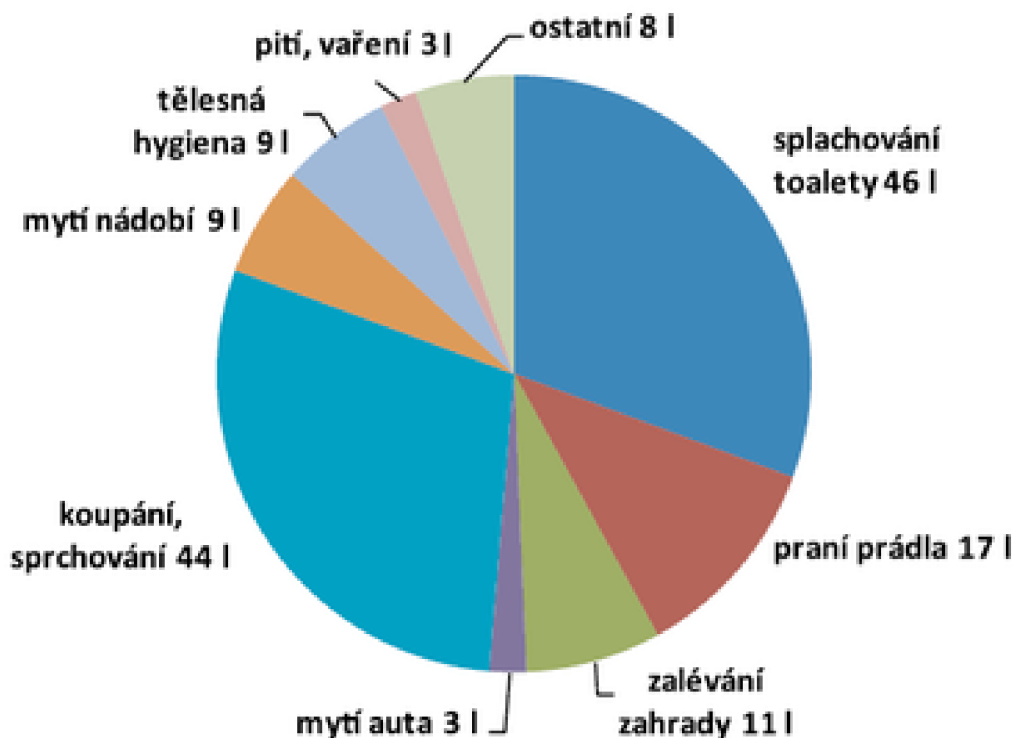
Šedé vody řadíme mezi odpadní vody, které patří k těm nejméně znečištěným. Díky této jejich vlastnosti se dají používat např. jako provozní vody. Nejmenší míru znečištění můžeme pozorovat u vod, které odtékají ze sprch, van a umyvadel. Odpadní vody pocházející z kuchyní mohou nejčastěji obsahovat různé zbytky nerozpustných a nerozpustitelných organických látek. První krok je odmaštění, kde se odstraní z šedé vody oleje a tuky.

Nerozpustné nečistoty jsou z šedé vody odstraňovány pomocí hrubé filtrace. Jako další krok přečištění se nejčastěji používají aerobní biologické procesy nebo membrány (biofiltry) (Opava, 2018). Tyto technologie odstraňují z šedé vody většinu virů a bakterií. Takto upravené šedé vody se nazývají bílé vody. Kvalita bílé vody by se dala srovnat s kvalitou srážkových vod, které se využívají především jako provozní vody pro zalévání a splachování toalet (Opava, 2018).

Další možností pro přečištění šedých vod jsou fyzikální technologie. Tyto technologie umí odbourávat bakteriocidní látky. Fyzikální technologie produkují vodu dobré kvality, ale nedokáží z vody odstranit organickou frakci. Tyto frakce je následně potřeba vyčistit pomocí koagulace, absorpce a ozonizací vody (Opava, 2018).

### **3.3.8 Recyklace šedé vody**

Kvalitní pitná voda je zbytečně využívána tam, kde je možné použít vodu užitkovou nebo předčištěnou šedou vodu. Šedé vody patří mezi nejméně znečištěné odpadní vody, a proto není její úprava tak ekonomicky náročná. Z šedé vody lze využít i teplo, které obsahuje (Stec, 2015).



Obrázek 5: Spotřeba pitné vody v domácnostech (dostupné z: <https://www.vodavdome.cz/co-je-to-seda-voda/>)

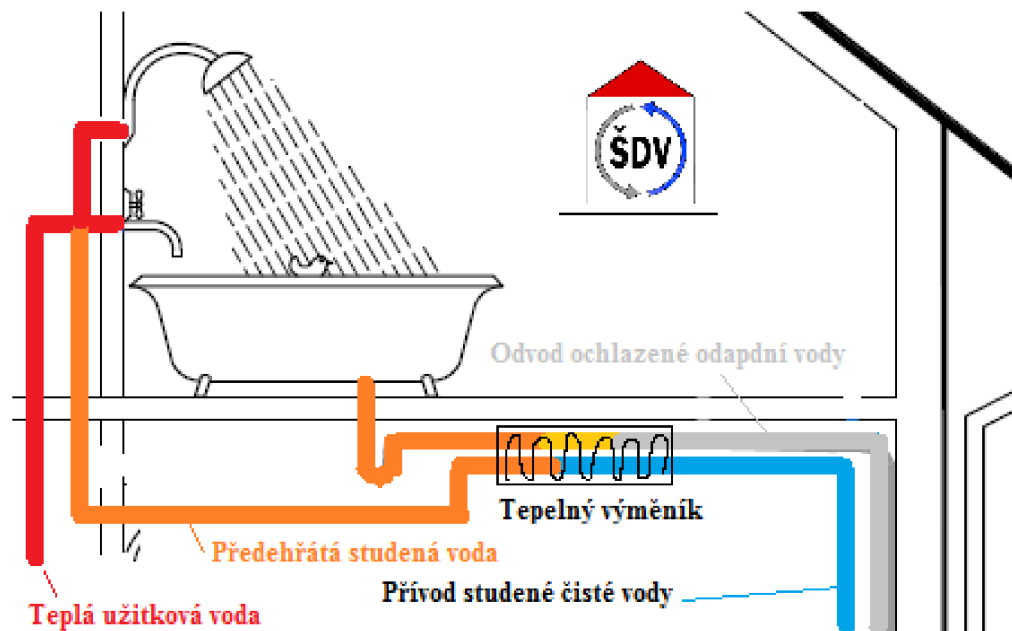
V domácnostech tvoří šedá voda více než polovinu všech produkovaných odpadních vod (Obrázek 5). Pitná voda, která je spotřebována, se zároveň používá i na splachování toalet a zalévání zahrad. Využitím šedé vody nebo bílé vody na splachování nebo zalévání zahrad můžeme velkou měrou přispět k úspoře pitné vody.

Nejvhodnější šedou vodou pro opětovné použití je odpadní voda z koupelen (van, sprchových koutů a umyvadel). Tyto přečištěné odpadní vody se mohou po nenáročné úpravě používat například na splachování toalet, mytí podlah a závlahu (Stec, 2015). Tímto způsobem je možné snížit spotřebu pitné vody v domácnostech až o 50 % (Obrázek 5). Průměrná cena za jeden m<sup>3</sup> vody v České republice se pohybuje kolem 90-100 Kč, a tedy doba návratitelnosti tohoto systému se pohybuje okolo 12 let (Beránková et al., 2017). Tato doba také závisí na spotřebě pitné vody v domácnostech, z které se následně stane po lidské potřebě voda šedá.

Šedá voda se dá používat také jako zdroj tepla. Teplota těchto vod je vyšší než teplota komunálních vod a pohybuje se v rozmezí 20 až 40 °C. Vznikajícím teplem vyprodukované šedé vody by následně mohlo dojít k ohřátí čisté vody, kterou požíváme v domácnostech. Tímto způsobem by došlo ke snížení provozních nákladů na energie.



Spotřeba energií na ohřev teplé vody v domácnostech tvoří 25-70 % nákladů (Veselá 2015). Ohřev funguje na principu ohřívání vody pro okamžitou spotřebu a přehřev studené vody do zásobníku vody (akumulační nádrž) nebo do bojleru, kde dochází k dalšímu ohřevu vody (Obrázek 6). Jako další možnost využití tepla z vyprodukované šedé vody se nabízí vytápění domácnosti pomocí systému podlahového vytápění (Plotěný et al., 2012).



Obrázek 6: Ohřev vody pomocí šedé vody (dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/9411-cistení-sedých-vod-a-možnost-využití-energie-z-nich#pozn1>)

### Sběr a rozvod šedé vody

Nejjednodušší získávání šedé vody je odváděním potrubím do zařízení na jejich úpravu pomocí gravitační síly. Uvedené řešení nelze využít u všech typů budov, proto se pro odvod šedé vody v některých případech používají čerpadla. Sběr a rozvod vody by musí být v souladu s příslušnými platnými normami. V případě šedých vod pocházejících z koupelen, je nutné do sběrného potrubí osadit lapač vlasů a dalších nečistot.

Rozvod šedých vod se provádí:

- pomocí čerpadel,
- pokud umožňuje terén, tak pomocí gravitace,
- čerpáním ze zásobní nádrže do nádrže v blízkosti místa požití,
- čerpáním ze zásobní nádrže přímo do místa použití.

### 3.3.9 Využití šedých vod v České republice

V České republice (ČR) se v poslední době začíná pomalu rozšiřovat trend znovuvyužití šedé vody. Systém na přečištění a znovu použití šedých vod začal využívat jako první hotel Mosaic House v Praze zhruba před 10 lety. Hotel začal využívat šedou vodu i rekuperaci tepla. Díky tomuto ekologickému kroku si jako první v ČR vysloužil certifikaci BREEAM In Use s excelentním hodnocením (Česká rada pro šetrné budovy, 2020).



Obrázek 7: Hotel Mosaic House (dostupné z: <https://www.avantgarde-prague.cz/ubytovani/mosaic-house>)

BREEAM In Use je metoda posuzování vlivu nemovitostí na životní prostředí. Tato metoda umožňuje investorům, vlastníkům, správcům nebo i nájemcům určit a řídit zlepšování provozního výkonu budov. Srovnávací test poskytuje záruku udržitelnosti pro všechny typy budov.

V roce 2015 zahájila firma Skanska Reality s.r.o. prodej prvního bytového domu ČR Botanica K., který se nachází v Praze 5 v Jinonicích. V tomto domě se využívá šedá voda způsobem odchyty a přečištění odpadních vod z koupelen (sprchových koutů, van a umyvadel). Následně je po přečištění použita na splachování toalet (Skanska Group). Budova tímto způsobem ušetří recyklací šedé vody cca 6000 litrů pitné vody každý den (Beránková et al., 2017).

### 3.4 Tenzidy

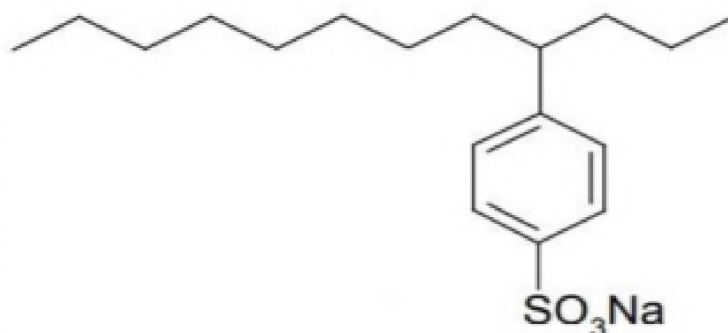
Tenzidy neboli surfaktanty jsou organické povrchově aktivní látky, které obsahují domácí čisticí prostředky běžně používané k mytí, praní, osobní hygieně a při úklidu domácností (Pavlátková, 2017). Nejčastěji se čisticí prostředky obsahující tenzidy aplikuje na nečistotu, kterou je nutno odstranit. Tyto nečistoty odstraní díky jejich schopnosti snižovat povrchové napětí vody a tím usnadňuje jejich rozpouštění a odbourávání (Strnadová et al., 2009). Voda obsahující tenzidy a nečistoty putuje odpadní sítí do ČOV, kde dochází k jejich úplnému nebo částečnému odstranění. Tenzidy jsou rychle a dokonale biologicky rozložitelné (Šmidrkal, 1999).

#### 3.4.1 Dělení tenzidů

Dle Šmidrkala (1999) dělíme tenzidy podle jejich hydrofilní části do 4 skupin.

##### *Anionické tenzidy*

Řadíme je mezi nejstarší a nejvíce používané tenzidy ve světě. Tyto tenzidy mají ve vodném prostředí záporný náboj. Anionické tenzidy se nejčastěji používají v kapalných prostředcích na mytí nádobí a praní. Mají výbornou smáčecí účinnost (vytěsnění jedné tekutiny z povrchu jinou tekutinou). Jejich detergenční účinnost je ale malá. Z anionických tenzidů jsou nejběžnější mýdla, sulfáty, sulfonáty, karboxyláty a v menší míře fosfáty nebo kyseliny fosforečné (Goddare, et al, 1993). Nejčastěji se z těchto tenzidů v čisticích prostředcích používá **natrium-sek-alkylbenzensul fonát** (alkyl C-12-C15) tzv. LAS, který je v přírodě snadno odbouratelný (obrázek 8).



Obrázek 8: LAS (8)

V minulosti se však používaly jiní zástupci této skupiny, kteří nebyli tak šetrní k životnímu prostředí. Do 60. let 20. století se běžně používal jako součást čistících prostředků alkylnbensulfonát II. Jeho velkou nevýhodou je špatná biologická rozložitelnost (Pitter, 1999). Z tohoto důvodu byl nahrazen LASem, který má lepší rozložitelnost a je tedy šetrnější k životnímu prostředí. Díky této vlastnosti bude LAS patřit po dlouhou dobu mezi hlavní tenzidy v čistících prostředcích. V poslední době sledujeme v Evropských zemích a Severní Americe trend, kdy dochází ke snižování spotřeby tohoto tenzidu v čistících prostředcích (Šmidrkal, 1999).

Od počátku 80. let měl být LAS nahrazen methylestersulfonáty VI (tzv. MES). Methylester tvoří v hydrofobní části molekul mastné kyseliny. Tento tenzid se v omezeném množství aplikuje především v Japonsku a USA (Šmidrkal, 1999).

### ***Kationické tenzidy***

Kationické tenzidy patří mezi méně používané a jsou nejčastěji obsaženy v avivážích a impregnačních prostředcích na oděvy a obuv (Sedlaříková, 2015). Tyto tenzidy mimo jiné vykazují mikrobicidní efekt, kterým chrání oblečení před blednutím barev. Jejich nevýhodou je horší biologická rozložitelnost oproti anionickým tenzidům. Kationické tenzidy se dále používají ve vlasové kosmetice konkrétně ve vlasových kondičních přípravcích (Sedlaříková, 2015).

U těchto tenzidů tvoří kationt kvartérní dusíkový atom, a proto patří mezi zástupce kvartérních amoniových solí. Soli alkylaminů jsou v kyselých prostředích branné též jako kationické tenzidy, ale při vyšších hodnotách pH pozbývají kationický charakter (Sedlaříková, 2015). Na rozdíl od anionických tenzidů je vazba kationických nepoměrně vyšší. Tyto tenzidy nelze slučovat ani kombinovat v přípravcích, jinak se srazí a stane se z nich nerozpustný aglomerát. Další rozdílné vlastnosti proti anionickým tenzidům je jejich kladný náboj ve vodném prostředí (Šmidrkal, 1999).

### ***Amfoterní tenzidy***

Amfoterní tenzidy mají unikátní vlastnost, a to že jejich náboj je ovlivněn pH vodného prostředí, ve kterém se vyskytují (Myers, 2006). Tato skutečnost umožňuje jejich kombinování s kationickými a anionickými tenzidy. Tedy v nedisociované části molekuly obsahují anion a kation. Oproti ostatním tenzidům však nejsou tak často využívány z důvodu náročné technologie pro jejich výrobu a vysokým výrobním

nákladům, které zvyšují jejich cenu. Amfoterní tenzidy se nejčastěji používají například v recepturách pro výrobu náplní do pěnových hasících přístrojů nebo jako přísady do pěnidel s ostatními druhy tenzidů (Šmidrkal, 1999).

Typickým příkladem amfoterních tenzidů může být 1- (3- lauroylaminopropyl) - 1,1-dymethylacetobetain, který je nedílnou součástí receptur pro vlasové šampóny. Syntéza tohoto tenzidu byla poprvé provedena v šedesátých letech v Německu. Ke konci sedmdesátých let byla zahájena jeho průmyslová výroba. V Československu se začal průmyslově vyrábět až v druhé polovině osmdesátých let (Šmidrkal, 1999).

Amfoterní tenzidy jsou také častým základem kosmetických mycích prostředků, kde se nejčastěji využívá kombinace betainu XII a alkylpolyglykolsulfát VIII.

### ***Neionické tenzidy***

Neionické tenzidy na rozdíl od výše zmíněných tenzidů nemají ve vodném prostředí náboj a jejich rozpustnost je tady dána přítomností hydrofilních skupin

V práškových pracích prostředcích se neionické tenzidy používají jako třetí základní tenzid. Mezi nejvíce používaný tenzid z této skupiny v současné době řadíme ethylenát alifatického alkoholu (Šmidrkal, 1999). Naopak v textilním průmyslu se nejčastěji používá jako lubrikant a apretační prostředek oxyethylenát alkoholu, který se též používá jako jeden z emulgátorů v kosmetice (Heimová, 2015).

Oxyethylenáty se také v současnosti používají v nepěnivých a pracích prostředcích. Jejich snížená schopnost pění je dána přítomností oxybutylenové skupiny XIV (tedy 1- (2- hydroxybutyl) -skupiny)), která se nachází na konci oxyethylenového řetězce (Sedlaříková, 2015)

## **3.5 Shrnutí**

Vlivem probíhajícího globálního oteplování dochází ke snížení dostupnosti pitné vody, což vede k nárůstu její ceny a tím se snižuje i její dostupnost pro mnohé obyvatele Země. Pitná voda je často používána i v místech, kde bychom mohli využít užitkovou vodu a tímto způsobem dochází k jejímu plýtvání. Používání kvalitní pitné vody by mohla nahradit šedá voda, která patří mezi nejméně znečištěné odpadní vody, a tudíž by mohla být znovu použita např. na splachování záchodů, nebo také k zalévání rostlin. Šedá voda

bohužel obsahuje tenzidy, které pocházejí z používaných mycích a čistících prostředků. Tenzidy, obsažené v šedé vodě, mohou představovat výrazné nebezpečí při jejím následném využívání. Aby bylo možné šedou vodu opětovně použít pro další činnosti, musí projít úpravou. K tomuto účelu je možné aplikovat například filtraci za použití biocharu, který může být díky své schopnosti adsorbování látek účinným řešením. Biochar, díky svému přírodnímu (biologickému) původu a vlastnosti adsorpce látek, se jeví jako levná a účinná alternativa pro filtraci šedé vody za účelem jejího opětovného používání. V rámci své bakalářské práce jsem se snažil ověřit, zda je předpoklad použití biocharu pro filtraci šedé vody správný.

## 4 Metodika

Cílem experimentální části mé bakalářské práce bylo zjistit, zda je zálivka šedou vodou s přidaným biocharem vhodná pro správný růst rostlin.

Experimentální část probíhala od 14.1. do 4.3.2021 v laboratořích Fakulty životního prostředí na České zemědělské Univerzitě v Praze. Pro realizaci pokusu jsme si vybrali 3 nádoby s víkem o objemu 50 litrů. Do každé nádoby byl přidán smáčený biochar o objemu 2 litrů, který byl vyroben z kůrovcové biomasy. Následně byly připravené barely doplněné vodou do objemu 50 l.

Do prvního sudu byla doplněná destilovaná voda obsahující tenzidy. Do druhého barelu byla přidána kohoutková voda. Do posledního sudu byla přidána kohoutková voda obsahující tenzidy. Po naplnění všech nádob byl jejich obsah důkladně promíchán a následně se nechal odstát. Promíchávání bylo provedeno pomocí tří odlišných míchadel, abychom nekontaminovali jednotlivé sudy a nedošlo k znehodnocení výsledků.

1. sud – 48 litrů destilované vody, 2 litry biocharu a tenzidy
2. sud – 48 litrů kohoutkové vody, 2 litry biocharu
3. sud – 48 litrů kohoutkové vody, 2 litry biocharu a tenzidy

### 4.1 Odběry

K jednotlivým odběrům bylo zapotřebí si připravit devět zkumavek o obsahu 50 ml (z každé nádoby se odebíraly tři vzorky, které představovaly jednotlivá technická opakování). Před odebráním vzorků bylo nutné směs v nádobách promíchat pomocí míchadel a následně odebrat jednotlivé vzorky. Po odebrání vzorků, byla provedena jejich filtrace přes filtr tvořený z mikro membrány dle příslušné normy (PTFE 0,45  $\mu\text{m}$ ). Pomocí filtrace dochází k oddělení nerozpustných látek ze vzorku. Filtrace byla provedena pomocí injekčních stříkaček o objemu 50 ml. Na špičky injekčních stříkaček byly následně upevněny filtry PTFE 0,45  $\mu\text{m}$ , přes které probíhala filtrace. Aby nedocházelo ke kontaminaci jednotlivých vzorků, byla provedena filtrace každého vzorku zvlášť. Přefiltrované vzorky byly převedeny do čistých předem popsanych zkumavek, které byly označené, tak aby bylo rozlišeno odkud pochází a o který odběr se jedná (např. nádoba 1 – vzorky č. 1, 2, 3, nádoba 2 – vzorky č. 5, 6, 7). Jednotlivé odběry probíhaly pravidelně každý týden po dobu dvou měsíců.



## **4.2 Měření pH a konduktivity**

Měření konduktivity probíhalo pomocí spektrometru. Před zahájením vlastního měření bylo nutné provést kalibraci přístroje. Po provedení kalibrace probíhalo vlastní měření vzorků pomocí elektrody, která byla ponořena do vzorku. Po ustálení hodnot se výsledky zaznamenaly. Mezi měřeními jednotlivých vzorků bylo nutné měřící elektrodu důkladně opláchnout destilovanou vodou, aby bylo zabráněno kontaminaci následujících vzorků. Shodný postup jako u měření konduktivity byl aplikován i u měření pH jen s využitím rozdílného přístroje. Pro měření pH byl zvolen přístroj WTW INOLAB pH 7110 a pro měření konduktivity přístroj WTW Cond 7310

## **4.3 Měření ICP**

Měření obsahu jednotlivých anorganických prvků obsažených v odebraných roztocích probíhalo ve spřáteleném pracovišti, kam byly vzorky odeslány na následnou detailní analýzu. Vzorky byly měřeny indukčně vázanými plazmovými emisními spektrometry (ICP-OES ultima Expert LT).

## **4.4 Zpracování dat**

Cílem analýzy získaných výsledků bylo zjistit rozdíly v koncentracích jednotlivých prvků a iontů, pH a konduktivitě mezi výluhy šedé vody s biocharem (sud 3) a kohoutkové vody s biocharem (sud 2). Pro kontrolu byl zvolen sud s biocharem a destilovanou vodou (sud 1). Ze získaných výsledků byly následně vyhodnoceny a porovnány hodnoty koncentrace sodíku, hliníku, barya, křemíku, stroncia, fluoridu, chloridu pH a konduktivity.

#### 4.4.1 Statistická analýza

Získaná data byla podrobena statistické analýze pomocí programu CoStat (CoHort Software Monterey 1998-2003 USA). Pro statistické vyhodnocení dat byla použita analýza variance (ANOVA) následovaná Tukey-Kramerovým testem, kdy bylo zvoleno jednoduché třídění, kde nezávislou proměnou byly jednotlivé zálivky biocharu. U provedených analýz jsem určil jako kritickou hladinu významnosti 5 %. Odběry byly prováděny v 8 týdnech (tab.2).

**Tabulka 2:** Odběry vzorků, měření pH a konduktivity.

Odběr vzorků, měření pH a konduktivity	
číslo odběru	datum odběru
Odběr 1	14.01.2021
Odběr 2	21.01.2021
Odběr 3	28.01.2021
Odběr 4	04.02.2021
Odběr 5	11.02.2021
Odběr 6	17.02.2021
Odběr 7	25.02.2021
Odběr 8	04.03.2021

## 4.5 Výsledky

**Tabulka 3:** Výsledky analýzy variance (ANOVA) jednoduchého třídění pro hodnoty koncentrací Hliníku, Barya a sodíku . Na statistické hladině významnosti 5 %. Počet pozorování n=3

Výsledky analýzy variance (ANOVA) jednoduchého třídění									
	Hliník			Baryum			Sodík		
	F	DF	P	F	DF	P	F	DF	P
měření 1	2760.25	2	0.0000	3597.61	2	0.0000	86154.86	2	0.0000
měření 2	4076.33	2	0.0000	19.67	2	0.0023	12670.02	2	0.0000
měření 3	820.10	2	0.0000	2104.95	2	0.0000	47910.10	2	0.0000
měření 4	2057.20	2	0.0000	2111.78	2	0.0000	6487.75	2	0.0000
měření 5	254.04	2	0.0000	93.72	2	0.0000	645.93	2	0.0000
měření 6	399.12	2	0.0000	2026.03	2	0.0000	2433.04	2	0.0000
měření 7	2631.33	2	0.0000	1822.43	2	0.0000	5240.92	2	0.0000
měření 8	311.73	2	0.0000	1343.51	2	0.0000	1853.06	2	0.0000

**Tabulka 4:** Výsledky analýzy variance (ANOVA) jednoduchého třídění pro hodnoty koncentrací Křemíku, Stroncium a Fluorid. Na statistické hladině významnosti 5 %. Počet pozorování n=3

Výsledky analýzy variance (ANOVA) jednoduchého třídění									
	Křemík			Stroncium			Fluorid		
	F	DF	P	F	DF	P	F	DF	P
měření 1	-	-	-	19108.78	2	0.0000	13.40	2	0.0000
měření 2	-	-	-	17392.63	2	0.0000	7.13	2	0.0260
měření 3	-	-	-	9573.64	2	0.0000	3.42	2	0.1018
měření 4	-	-	-	8481.5	2	0.0000	0.05	2	0.9477
měření 5	356.65	2	0.0000	378.72	2	0.0000	-	-	-
měření 6	321.65	2	0.0000	2024.32	2	0.0000	-	-	-
měření 7	217.03	2	0.0000	4888.88	2	0.0000	-	-	-
měření 8	90.64	2	0.0000	6098.13	2	0.0000	-	-	-

**Tabulka 5:** Výsledky analýzy variance (ANOVA) jednoduchého třídění pro hodnoty koncentrací Chloridu, pH a Konduktivita. Na statistické hladině významnosti 5 %. Počet pozorování n=3

Výsledky analýzy variance (ANOVA) jednoduchého třídění									
	Chlorid			pH			Konduktivita		
	F	DF	P	F	DF	P	F	DF	P
měření 1	195.78	2	0.0000	9.28	2	0.0146	1251.47	2	0.0000
měření 2	95.36	2	0.0260	2985.99	2	0.0000	5377.56	2	0.0000
měření 3	4.37	2	0.1018	20144.72	2	0.0000	22762.29	2	0.0000
měření 4	0.02	2	0.9477	2679.17	2	0.0000	3400.09	2	0.0000
měření 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
měření 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
měření 7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
měření 8	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tabulka 6:** Výsledky Tukey-Kramerova testu pro hodnoty parametrů Hliníku, Barya a Sodíku měřených v jednotlivých sudech lišících se způsobem závlivky (šedá voda sud 3, kohoutková voda sud 2 a destilovaná voda s tenzidy sud 1) s podílem biocharu. Statisticky průkazné rozdíly mezi sudy jsou znázorněny písmeny (hladina významnosti 0,05), počet pozorování n=3

Výsledky Tukey-Kramerova testu									
	Hliník			Baryum			Sodík		
	Sud 1	Sud 2	Sud 3	Sud 1	Sud 2	Sud 3	Sud 1	Sud 2	Sud 3
měření 1	a	b	b	c	b	a	c	b	a
měření 2	a	c	b	a	b	b	c	b	a
měření 3	a	b	b	c	a	b	c	b	a
měření 4	a	b	b	c	a	b	c	b	a
měření 5	a	b	b	b	a	a	c	b	a
měření 6	a	b	b	c	a	b	c	b	a
měření 7	a	b	b	c	a	b	c	b	a
měření 8	a	b	b	b	a	a	c	b	a

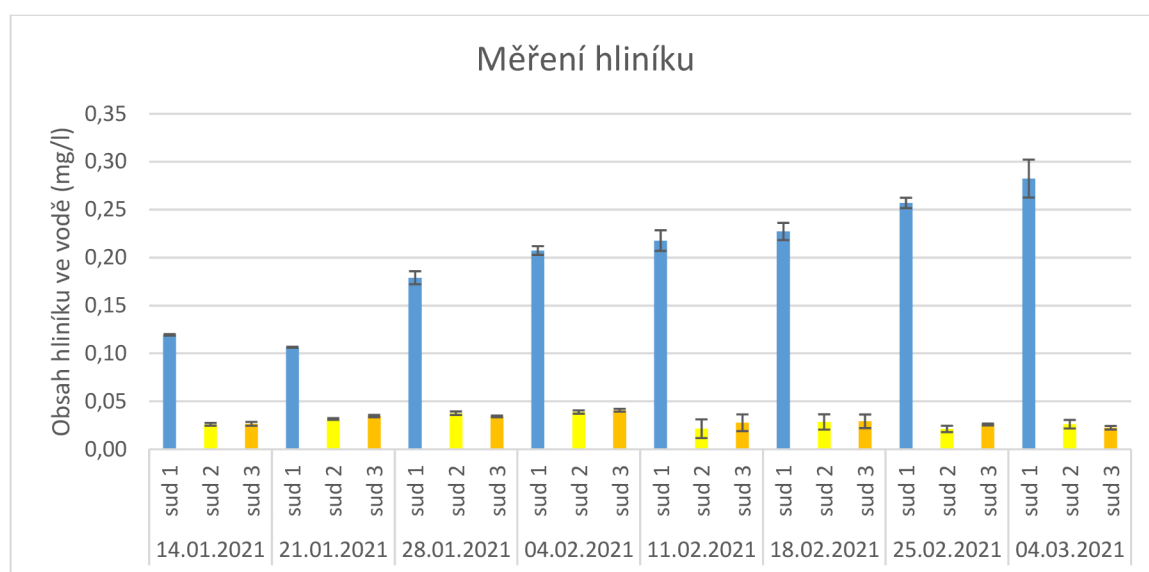
**Tabulka 7:** Výsledky Tukey-Kramerova testu pro hodnoty parametrů Křemíku, Stroncía a Fluoridu měřených v jednotlivých sudech lišících se způsobem závlivky (šedá voda sud 3, kohoutková voda sud 2 a destilovaná voda s tenzidy sud 1) s podílem biocharu. Statisticky průkazné rozdíly mezi sudy jsou znázorněny písmeny (hladina významnosti 0,05), počet pozorování n=3

Výsledky Tukey-Kramerova testu									
	Křemík			Stroncium			Fluorid		
	Sud 1	Sud 2	Sud 3	Sud 1	Sud 2	Sud 3	Sud 1	Sud 2	Sud 3
měření 1	-	-	-	c	b	a	b	a	a
měření 2	-	-	-	b	a	a	b	a	a
měření 3	-	-	-	c	a	b	a	a	a
měření 4	-	-	-	b	a	a	a	a	a
měření 5	b	a	a	b	a	a	-	-	-
měření 6	c	a	b	b	a	a	-	-	-
měření 7	b	a	a	b	a	a	-	-	-
měření 8	b	a	a	b	a	a	-	-	-

**Tabulka 8:** Výsledky Tukey-Kramerova testu pro hodnoty parametrů Chloridu, pH a Kůnduktivity měřených v jednotlivých sudech lišících se způsobem závlivky (šedá voda sud 3, kohoutková voda sud 2 a destilovaná voda s tenzidy sud 1) s podílem biocharu. Statisticky průkazné rozdíly mezi sudy jsou znázorněny písmeny (hladina významnosti 0,05), počet pozorování n=3

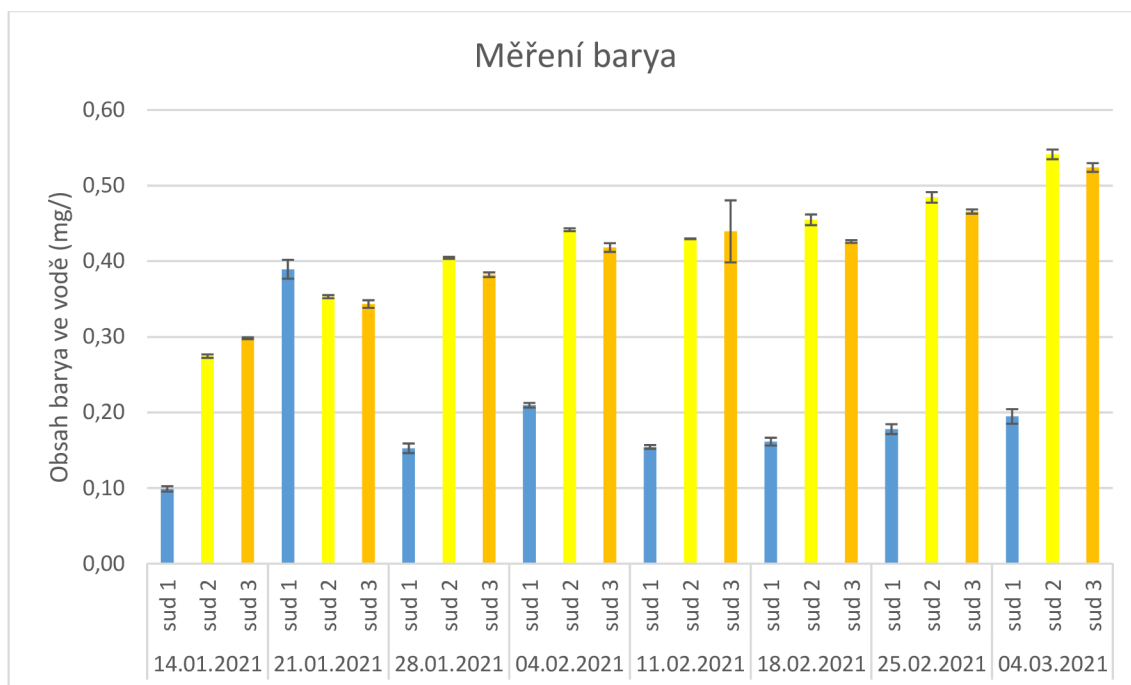
Výsledky Tukey-Kramerova testu									
	Chlorid			pH			Kůnduktivita		
	Sud 1	Sud 2	Sud 3	Sud 1	Sud 2	Sud 3	Sud 1	Sud 2	Sud 3
měření 1	b	a	a	a	b	ab	b	a	a
měření 2	b	a	a	a	c	b	b	a	a
měření 3	a	a	a	a	c	b	b	a	a
měření 4	A	a	a	a	c	b	b	a	a
měření 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
měření 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
měření 7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
měření 8	-	-	-	-	-	-	-	-	-

U obsahu hliníku, byly nalezeny statisticky průkazné rozdíly (tab. 3). Ve všech odběrech dosahuje nejvyšších hodnot průkazně sud 1 oproti sudu 2 a 3, které se až na druhý odběr průkazně neliší. Ve druhém odběru dosahuje průkazně nejnižších hodnot sud 2 (tab.6 Obrázek 9). Zároveň můžeme sledovat patrný trend u sudu 1, kdy s každým následným odběrem dochází k mírnému nárůstu obsahu hliníkových iontů v roztoku. Naopak u sudu 2 a 3 dochází v jednotlivých odběrech k mírnému kolísání hodnot (obrázek 9).



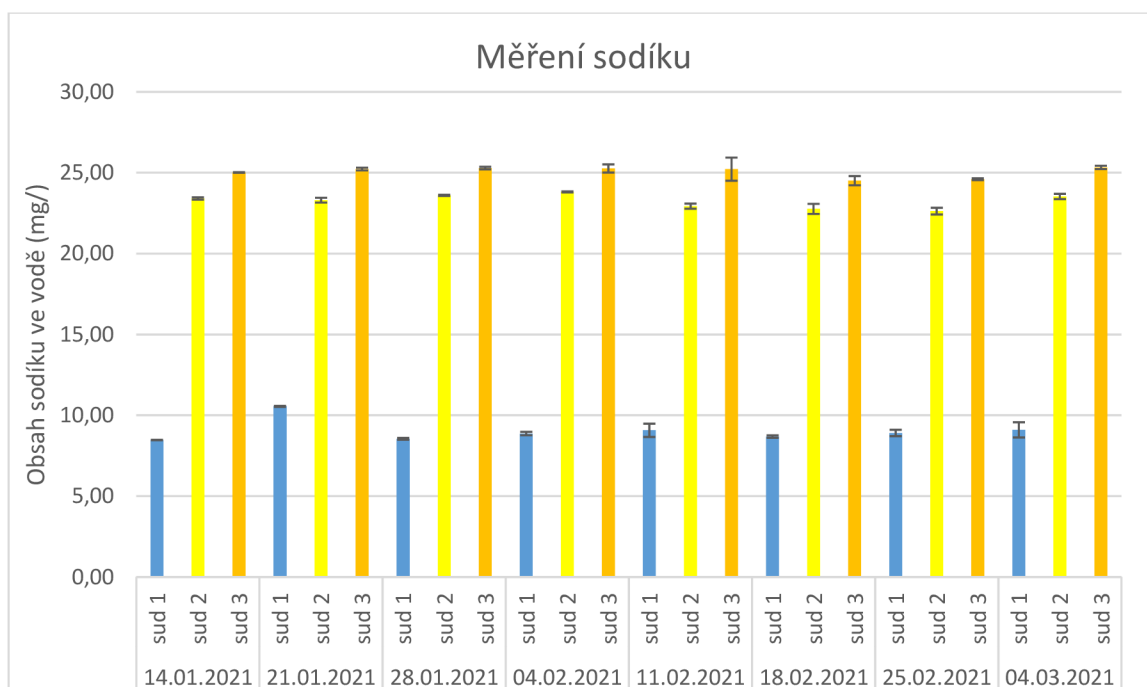
**Obrázek 9** Hodnoty měření množství hliníku v zálivkách. Sud 1 obsahoval 48 litrů destilované vody, 2 litry biocharu a tenzidy. Sud 2 obsahoval 48 litrů kohoutkové vody a 2 litry biocharu. Sud 3 obsahoval 48 litrů kohoutkové vody, 2 litry biocharu a tenzidy, které simulovaly šedou vodu. Odběry probíhaly každý čtvrtek po dobu osmi týdnů ( $n=3$ ).

U měření obsahu barya, byly nalezeny statisticky průkazné rozdíly (tab. 3). U všech odběrů dosahuje průkazně nejvyšších hodnot sud 2 a sud 3 s výjimkou druhého odběru, kde průkazně nejvyšších hodnot dosahoval sud 1. Zároveň sud 2 dosahuje průkazně vyšších hodnot oproti sudu 3 s výjimkou prvního odběru, kde bylo sledováno opačné chování (tab. 6 obrázek 10). U sudu 2 a 3 můžeme sledovat trend, kdy dochází s každým následným odběrem k nárůstu sledovaných hodnot. Oproti tomu u sudu 1 bylo sledováno kolísání hodnot (obrázek 10).



**Obrázek 10** Hodnoty měření množství barya v zálivkách. Sud 1 obsahoval 48 litrů destilované vody, 2 litry biocharu a tenzidy. Sud 2 obsahoval 48 litrů kohoutkové vody a 2 litry biocharu. Sud 3 obsahoval 48 litrů kohoutkové vody, 2 litry biocharu a tenzidy, které simulovaly šedou vodu. Odběry probíhaly každý čtvrtek po dobu osmi týdnů ( $n=3$ ).

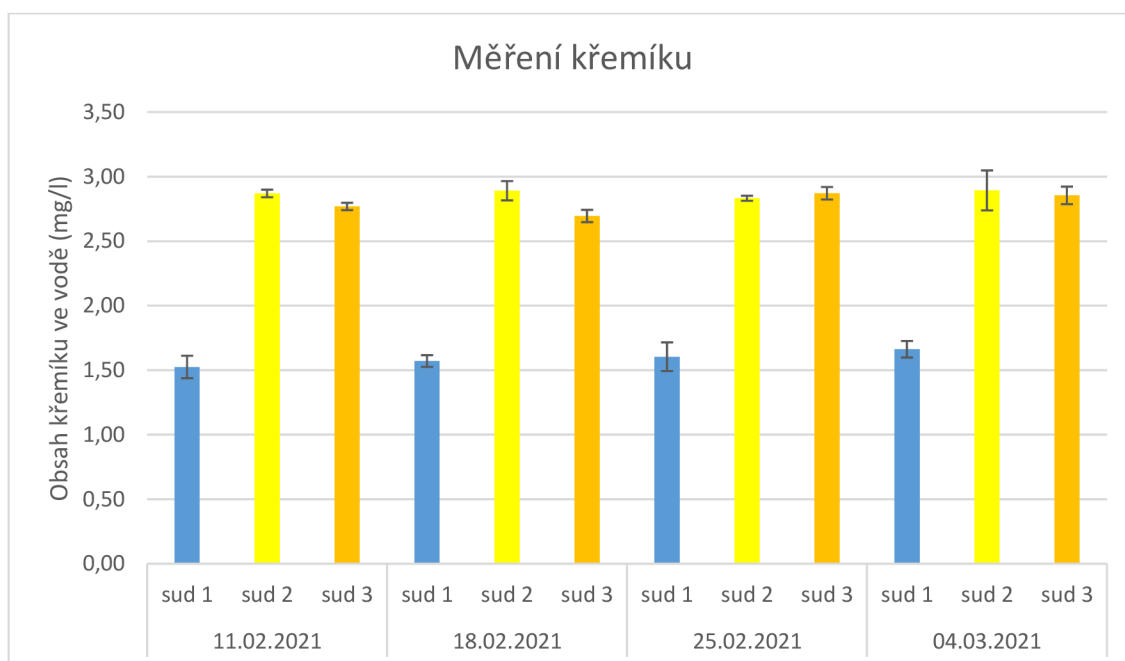
U obsahu sodíku, byly též nalezeny statisticky průkazné rozdíly mezi jednotlivými sudy (tab. 3). Průkazně nejnižších hodnot dosahuje sud 1 oproti sudu 2 a 3 (tab. 6, obrázek 11) Naopak průkazně nejvyšších hodnot dosahuje sud 3 (tab. 6, Obrázek 11). Zároveň u jednotlivých sudů nebyly sledovány výrazné změny mezi jednotlivými odběry (obrázek 11).



**Obrázek 11** Hodnoty měření množství sodíku v zálivkách. Sud 1 obsahoval 48 litrů destilované vody, 2 litry biocharu a tenzidy. Sud 2 obsahoval 48 litrů kohoutkové vody a 2 litry biocharu. Sud 3 obsahoval 48 litrů kohoutkové vody, 2 litry biocharu a tenzidy, které simulovaly šedou vodu. Odběry probíhaly každý čtvrtek po dobu osmi týdnů (n=3).

Obsah křemíku se začal zaznamenávat až od 11.2.2021 (odběr 5). Z tohoto důvodu jsme hodnotili pouze čtyři poslední odběry. I u obsahu křemíku byly nalezeny statisticky průkazné rozdíly mezi jednotlivými sudy (tab. 4)

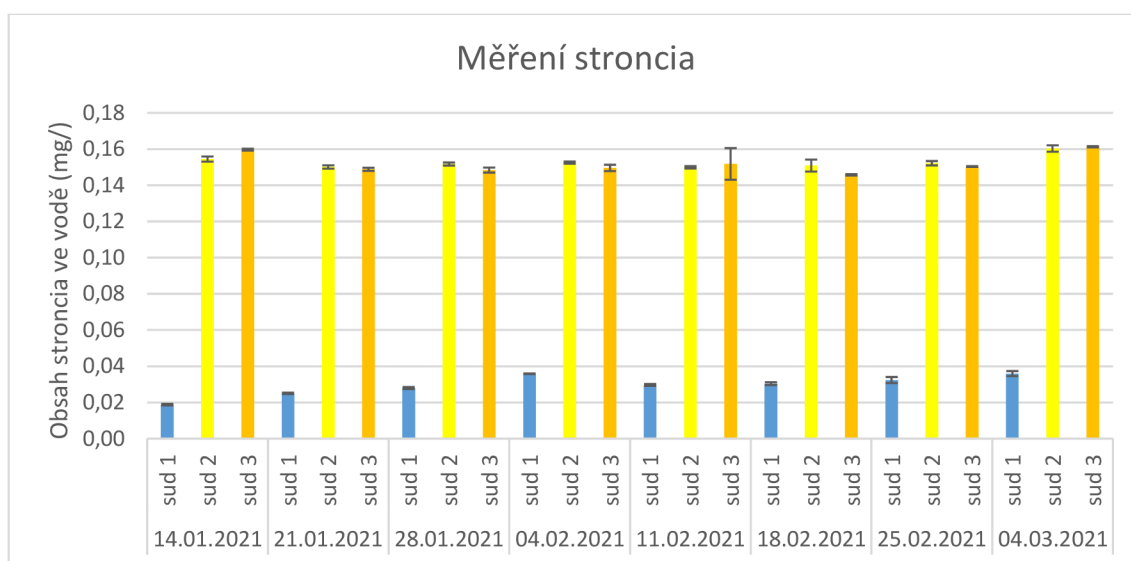
U provedených měření dosahuje průkazně nejnižších hodnot sud 1, oproti zbylým sudům. Naopak s výjimkou odběru ze dne 18.02.2021 (odběr 6) se zbylé sudy statisticky průkazně neliší (tab. 7, obrázek 11). U tohoto odběru průkazně vyšších hodnot dosahuje sud 2 (tab. 7, obrázek 12). Mezi naměřenými hodnotami pro jednotlivé sudy není patrný žádný trend a hodnoty se mezi jednotlivými odběry výrazně neliší.



**Obrázek 12** Hodnoty měření množství křemíku v závlivkách. Sud 1 obsahoval 48 litrů destilované vody, 2 litry biocharu a tenzidy. Sud 2 obsahoval 48 litrů kohoutkové vody a 2 litry biocharu. Sud 3 obsahoval 48 litrů kohoutkové vody, 2 litry biocharu a tenzidy, které simulovaly šedou vodu. Odběry probíhaly každý čtvrtek po dobu čtyř týdnů ( $n=3$ ).



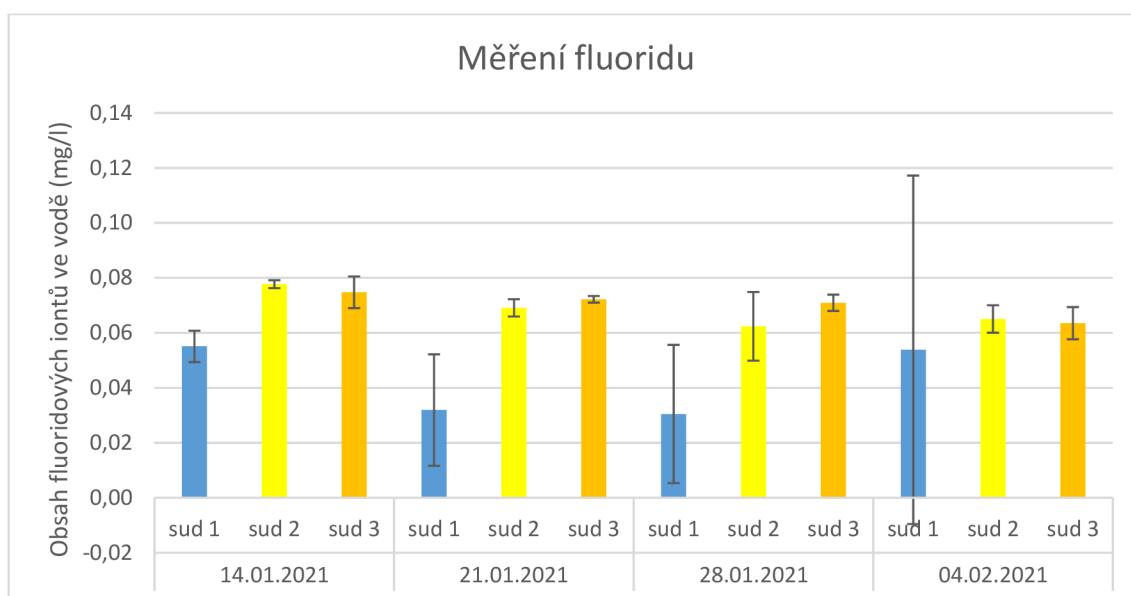
Také u obsahu stroncia byly zjištěny statisticky průkazné rozdíly mezi jednotlivými sudy (tab. 4). Průkazně vyšších hodnot oproti sudu 1 dosahují sudy 2 a 3, které se s výjimkou odběru 3 (28.1.2021), kde vyšších hodnot statisticky průkazně dosahuje sud 2, mezi s sebou průkazně neliší (tab. 7, obrázek 13). Mezi jednotlivými odběry není sledován žádný trend, a tedy hodnoty se výrazně nemění, ale zůstávají po celou dobu měření stabilní (obrázek 13).



**Obrázek 13** Hodnoty měření množství stroncia v zálivkách. Sud 1 obsahoval 48 litrů destilované vody, 2 litry biocharu a tenzidy. Sud 2 obsahoval 48 litrů kohoutkové vody a 2 litry biocharu. Sud 3 obsahoval 48 litrů kohoutkové vody, 2 litry biocharu a tenzidy, které simulovaly šedou vodu. Odběry probíhaly každý čtvrtek po dobu osmi týdnů ( $n=3$ ).

Obsah fluoridových iontů se zaznamenával jenom po dobu prvních čtyř měření až od 4.2.2021. Z tohoto důvodu jsme hodnotili pouze hodnoty získané z prvních čtyřech odběrů.

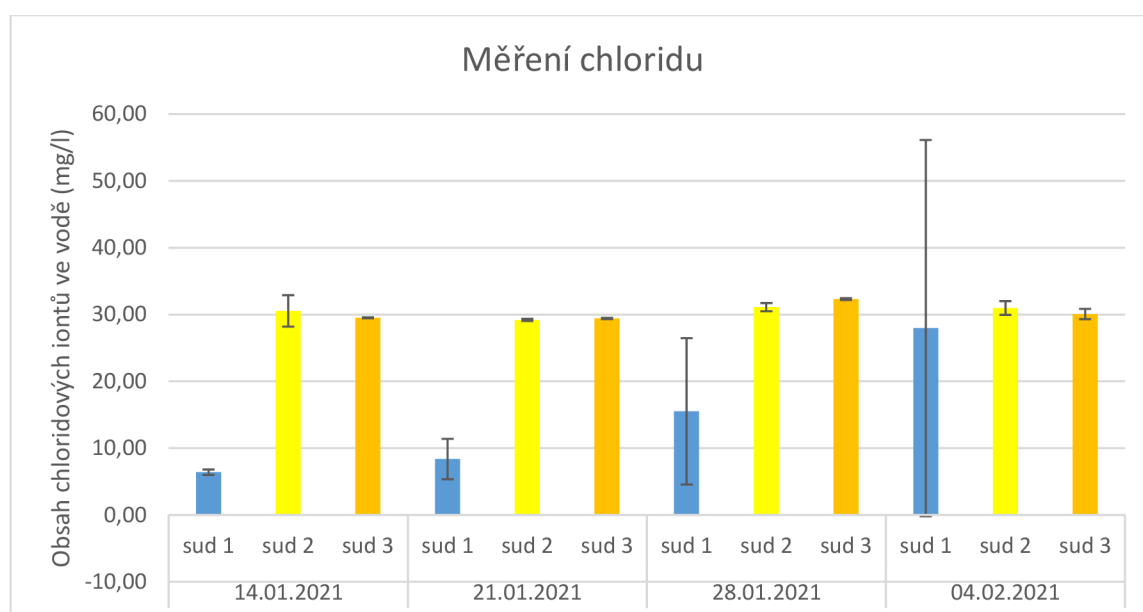
U měření obsahu fluoridových iontů, byly nalezeny statisticky průkazné rozdíly mezi jednotlivými sudy (tab.4). Nejnižších hodnot průkazně dosahuje sud 1 oproti sudu 2 a 3 (tab. 7, obrázek 14), které se mezi sebou průkazně neliší. U sudu 1 byl však pozorován trend, kdy po počátečním poklesu hodnot dochází k jejich opětovnému nárůstu.



**Obrázek 14** Hodnoty měření množství fluoridu v zálivkách. Sud 1 obsahoval 48 litrů destilované vody, 2 litry biocharu a tenzidy. Sud 2 obsahoval 48 litrů kohoutkové vody a 2 litry biocharu. Sud 3 obsahoval 48 litrů kohoutkové vody, 2 litry biocharu a tenzidy, které simulovaly šedou vodu. Odběry probíhaly každý čtvrtek po dobu čtyř týdnů (n=3).

Obsah chloridových iontů se zaznamenával jenom po dobu prvních čtyř měření až od 4.2.2021. Z tohoto důvodu jsme hodnotili pouze hodnoty získané z prvních čtyřech odběrů.

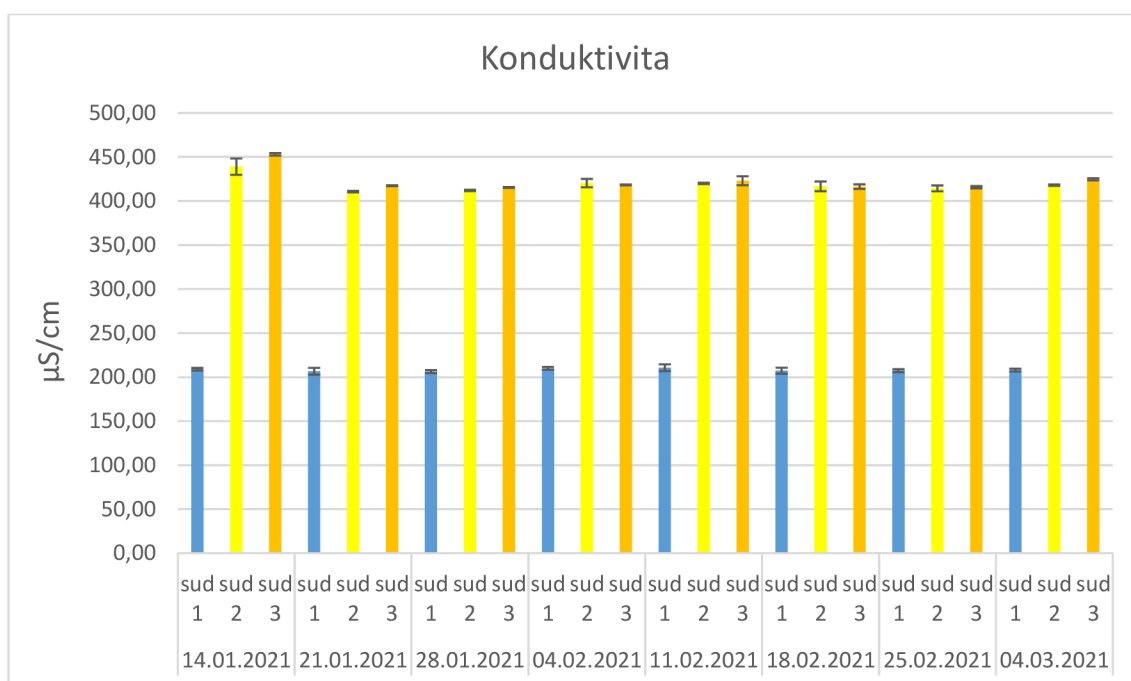
Také u obsahu chloridu byly zjištěny statisticky průkazné rozdíly mezi jednotlivými sudy (tab. 5). Průkazně nejnižších hodnot dosahuje sud 1, u kterého dochází k nárůstu obsahu během měření (tab. 8, obrázek 15). Mezi jednotlivými odběry u sudu 2 a 3 nedochází k výrazným změnám a zůstávají stabilní. Obsah chloridu dosahuje nejvyšších hodnot u námi sledovaných prvků.



**Obrázek 15** Hodnoty měření množství chloridu v zálivkách. Sud 1 obsahoval 48 litrů destilované vody, 2 litry biocharu a tenzidy. Sud 2 obsahoval 48 litrů kohoutkové vody a 2 litry biocharu. Sud 3 obsahoval 48 litrů kohoutkové vody, 2 litry biocharu a tenzidy, které simulovaly šedou vodu. Odběry probíhaly každý čtvrtek po dobu čtyř týdnů ( $n=3$ ).

Konduktivita (vodivost) odebraných roztoků se podobně jako u obsahu fluoridových a chloridových iontů zaznamenávala jenom po dobu prvních čtyř měření až od 4.2.2021. Z tohoto důvodu jsme hodnotili pouze hodnoty získané z prvních čtyřech odběrů.

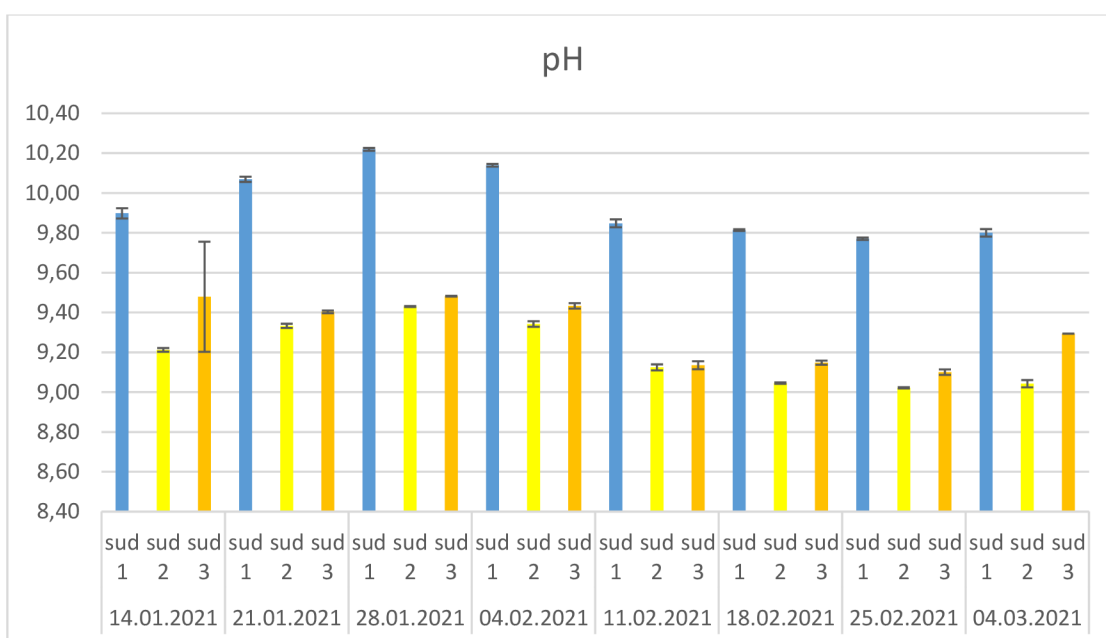
U měření konduktivity byly zjištěny statisticky průkazné rozdíly mezi jednotlivými sudy (tab. 5). Statisticky průkazně nižších hodnot dosahuje sud 1 oproti sudu 2 a 3, které se mezi sebou neliší (tab. 8, obrázek 16). Mezi jednotlivými měřeními není patrný žádný trend a nebyly sledované ani žádné rozdíly mezi jednotlivými odběry.



**Obrázek 16** Hodnoty měření konduktivity v zálivkách. Sud 1 obsahoval 48 litrů destilované vody, 2 litry biocharu a tenzidy. Sud 2 obsahoval 48 litrů kohoutkové vody a 2 litry biocharu. Sud 3 obsahoval 48 litrů kohoutkové vody, 2 litry biocharu a tenzidy, které simulovaly šedou vodu. Odběry probíhaly každý čtvrtek po dobu osmi týdnů (n=3).

Hodnoty pH u odebraných roztoků se podobně jako u obsahu fluoridových a chloridových iontů a konduktivity zaznamenávaly jenom po dobu prvních čtyř měření až od 4.2.2021. Z tohoto důvodu jsme hodnotili pouze hodnoty získané z prvních čtyřech odběrů.

U měření hodnot pH byly nalezeny statisticky průkazné rozdíly mezi jednotlivými sudy (tab. 5). Průkazně nejvyšších hodnot dosahoval sud 1, který obsahoval destilovanou vodu s biocharu a tenzidy (tab. 8, obrázek 17). Naopak statisticky průkazně nejnižších hodnot dosahoval sud 2 (tab. 8, obrázek 17). Zároveň můžeme sledovat trend, kdy po počátečním nárůstu hodnot pH dochází k jeho poklesu u všech sudů, který se později zastavil a došlo k ustálení sledovaných hodnot (obrázek 17).



**Obrázek 17** Hodnoty měření pH v zálivkách. Sud 1 obsahoval 48 litrů destilované vody, 2 litry biocharu a tenzidy. Sud 2 obsahoval 48 litrů kohoutkové vody a 2 litry biocharu. Sud 3 obsahoval 48 litrů kohoutkové vody, 2 litry biocharu a tenzidy, které simulovaly šedou vodu. Odběry probíhaly každý čtvrtek po dobu osmi týdnů (n=3).

## 5 Diskuse

Cílem mé bakalářské práce bylo posoudit vliv zálivky šedou vodou na vlastnosti půdy po přidání biocharu. Posuzoval jsem, zda je vhodná pro zálivku šedá voda, která byla upravena přidáním biocharu. Ve svém výzkumu jsem pozoroval koncentrace vybraných anorganických prvků, pH a konduktivitu ve výluhu z pokusných nádob lišících se ošetřením – biochar rozpuštěný v destilované vodě, kohoutkové vodě a odpadní šedé vodě.

Výsledky, ke kterým jsem došel, jsou neprůkazné. Rozdíly mezi obsahem anorganických látek mezi sudy s pitnou a šedou vodou (sud 2 a sud 3) jsou minimální. Sud 1 vykazoval odlišné hodnoty. Tento sud sloužil pouze pro kontrolní účely a obsahoval destilovanou vodu s biocharem. Destilovaná voda je zbavena všech minerálních látek, a tedy v sudu se nachází pouze látky, které jsou obsaženy v biocharu. Na základě sběru dat a v rámci porovnání s odbornými zdroji lze vyvodit, že biochar z kůrovcového dříví nemá výrazný vliv na adsorpci kovů obsažených v pitné a v šedé vodě.

Tudíž na základě těchto výsledků usuzuji, že účinnost biocharu adsorbovat těžké kovy není zjevná. Získaná data z šedé vody nejsou výrazně odlišná od dat kohoutkové vody. Hodnoty látek se během měření výrazně neměnily. Naopak u barya byl sledován nárůst hodnot. Z těchto poznatků tedy nelze potvrdit účinnost adsorbování těžkých kovů za pomoci biocharu z kůrovcového dříví.

Na výzkumu se podílel Vogel (2021, nepublikováno). Vogel zkoumal sorpční schopnosti biocharu na tenzidy, které obsahuje šedá voda. Biochar v malém množství dokázal adsorbovat velké množství tenzidů. Biochar je tedy vhodný na filtraci šedé vody. Následné využití biocharu jako aditivum do zeminy po filtraci se nedoporučuje, protože biochar stále obsahuje tenzidy. Tenzidy jsou pro rostliny nebezpečné a mohlo by to vést k zahubení rostlin.

Podobnou studii zpracovali Mandu et al., (2015), ale testovali účinnost biocharu při odstraňování těžkých kovů ve vodě. Ve své studii došli k závěru, který prokazuje účinnost biocharu adsorbovat těžké kovy. Dále podotkli, že dosažené hodnoty ve výzkumu nemusí být tak příznivé pro všechny těžké kovy ve vodách.

Další studie Kılıç et al., (2013) zkoumala vliv biocharu, vyrobeného z mandlových skořápek, na adsorpci těžkých kovů, kterými byly nikl a kobalt. Ve studii označili biochar jako alternativní nízkonákladový adsorbent pro tyto dva kovy. Dále ve své studii popisují závislost adsorpce na pH a teplotě, kdy lze konstatovat účinnost biocharu při vyšších teplotách (30-40 °C) vodného roztoku pro adsorpci niklu a kobaltu.

V potaz musíme brát, že biochar se vyrábí z různorodých biomas a za různých teplotních procesů, a tedy má každý biochar jiné vlastnosti a vliv na čištění těžkých kovů z šedých vod. Je tedy důležité zvolit správný typ biocharu pro odstraňování kovů.

Pokud budeme brát studii Kılıç et al., (2013) za pravdivou, mohla by být šedá voda vhodná pro účinky odstraňování těžkých kovů za pomoci biocharu díky její teplotě, která je okolo 30 °C.

V této práci si také povšimli účinků šedé vody s přidaným biocharem na odstraňování těžkých kovů za teploty okolo 30 °C.

Biochar vyrobený z kukuřičné slámy a tvrdého dřeva dle Chen et al., (2011) prokazuje účinky adsorpce těžkých kovů. Biochar z tvrdého dřeva byl vyroben při teplotě 450 °C a z kukuřičné slámy při teplotě 600 °C. Těžké kovy pro tento experiment představovaly měď a zinek. Termodynamická analýza naznačila, že adsorpce nenastala spontánně, ale byl to endotermický proces. Z tohoto důvodu je třeba dbát, aby se biochar používal jen k úpravě odpadních vod. Studie tedy doporučuje dále použitý biochar již nepoužívat.

Zhao et al. (2019) popisují, že biochary ze dřeva a zemědělského odpadu mají lepší schopnost adsorbovat těžké kovy, a to hlavně kvůli jejich větší pórovitosti. Biochar ze zemědělského odpadu má lepší minerální složení a je tedy nejvhodnější z většiny testovaných biocharů.

Liu et al., (2017) si vybrali pro svůj experiment biochar z topolů. Jako zástupce těžkých kovů zvolili kobalt a uran. Zjistili, že schopnost adsorpce biocharu je závislá na pH a iontové síle roztoku. Největší účinnost měl biochar při pH 10,0. Dále uvádějí, že biochar z topolů má velký potenciál při nakládání s odpadními vodami.

Z výsledků práce a ostatních studií plyne, že je mnoho faktorů, které ovlivňují funkce adsorpce biocharu (pH, teplota roztoku, ...). Dále by bylo vhodné použít pro tento výzkum více druhů biocharu a zjistit mezi nimi vhodnost pro lepší adsorpci těžkých kovů z vod.



## 6 Závěr

Práce se zabývá sledováním účinnosti biocharu, získaného z dříví napadeného kůrovcem, v šedé vodě pro její následné použití na zalévání rostlin. Zároveň probíhalo měření obsahu u vybraných anorganických prvků v sudech. Sledované látky (těžké kovy) dosahovaly podobných koncentrací po celou dobu experimentu.

Z dosažených výsledků, je patrné, že nebyly zjištěny výrazné rozdíly mezi pokusnými sudy s výjimkou sudu 1, kde byla použita destilovaná voda. Schopnost biocharu absorbovat vybrané anorganické látky (těžké kovy) tak nebylo možné relevantně potvrdit, protože během jednotlivých odběrů nebyly pozorované výrazné rozdíly ani pokles či nárůst hodnot. Nárůst byl pozorován pouze u vzorků barya odebraných ze sudu 2 a 3. Mezi sudem obsahujícím kohoutkovou vodu a kohoutkovou vodu s tenzidy nebyly pozorovány výrazné změny. Na základě tohoto pozorování můžeme tedy konstatovat, že biochar má rychlou schopnost adsorbovat tenzidy.

V případě hodnocení vlivu zálivky šedé vody na růst rostlin, nebyly zaznamenány výrazně odlišné hodnoty mezi kohoutkovou vodou (pitnou vodou) a kohoutkovou vodou s přidanými tenzidy (šedou vodou). Z těchto poznatků lze konstatovat, že vliv biocharu na rozdílnou kvalitu těchto vod není významný. Zároveň, ale můžeme potvrdit účinnost biocharu na snížení obsahu tenzidu v šedé vodě – jiný pokus, který prováděl Vogel (2021) ve stejném laboratorním prostředí.

V současné době je kladně důraz na snížení spotřeby pitné vody. Jako jedna z možností se jeví nepoužívat pitnou vodu na činnosti, u kterých by stačila jenom voda užitková (např. splachování toalet). Pro tyto účely lze usoudit vhodnost biocharu pro filtraci šedé vody bez následného využití biocharu v zemědělství. Při jeho následném použití jako příměs do zemědělské půdy by mohlo docházet k uvolňování již adsorbovaných látek během období sucha, kdy rostliny využijí vodu adsorbovanou biocharem. Následkem by bylo uvolnění již adsorbovaných těžkých kovů a tenzidů, které by mohly způsobit zhoršený stav rostlin a v krajním případě i jejich úmrtnost. Z výše zmíněných důvodů se biochar jeví jako vhodné filtrační medium pro přečišťování šedé vody, bez možnosti následného využití v zemědělství.

## 7 Seznam použité literatury

- [1] Ahmad M., Rajapaksha A.R., Lim J.E., Zhang M., Bolan N., Mohan D., Vithanage M., Lee S.S., Ok Y.S., 2014: Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water. *Chemosphere* 99, 19-33.
- [2] Bartošová L., Trnka M., Hlavinka P., Semerádová D., Balek J., Štěpánek P., Zahradníček P., Možný M., Žalud Z., 2016: Monitoring zemědělského sucha v České republice – úrůbň suché epizody v roce 2015, MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ, Český hydrometeorologický ústav, Brno
- [3] Beránková M. 2016: Odpadní voda – odpad nebo poklad? Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha, dostupné z: [http://www.vtei.cz/wp-content/uploads/2016/04/5506-VTEI\\_Odpadni-voda-1.pdf](http://www.vtei.cz/wp-content/uploads/2016/04/5506-VTEI_Odpadni-voda-1.pdf) (cit. 20.3.2022)
- [4] Beránková M., Vološinová D., Stejskalová L., Čejková E., 2017: V ČR se začalo využívání tzv. Šedých vod skloňovat ve všech pádech, dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/16101-v-cr-se-zacalo-vyuzivani-tzv-sedych-vod-sklonovat-ve-vsech-padech> (cit. 29.3.2021)
- [5] Beránková M., Vološinová D., Stejskalová L., Čejková E., 2017: Vypustit nebo znovu využít, dostupné z <http://www.vtei.cz/wp-content/uploads/2017/06/5718-VTEI-Vypustit-nebo-znovu-vyuzit.pdf> (cit. 29.3.2021)
- [6] Biela R., 2012: Šedé vody, jejich kvalita a možnost využití, *SOVAK* 21, 11–13
- [7] BIOUHEL. biouhel, biochar, půda, substráty, sucho, dostupné z: [https://biouhel.cz/?page\\_id=2](https://biouhel.cz/?page_id=2) (cit. 1.3.2021)
- [8] BREEAM In-Use - BREEAM. BREEAM: the world's leading sustainability assessment method for masterplanning projects, infrastructure and buildings - BREEAM [online]. Copyright © Copyright Building Research Establishment Ltd 2021 Dostupné z: <https://www.breeam.com/discover/technical-standards/breeam-in-use/> (cit. 12.3.2021)
- [9] British Standard BS 8525-1, 2010: Greywater systems – Part 1: Code of practice. UK: BSI, 2010

- [10] Brook I., Malchi T., Nir S., 2013: Removal of anionic detergents from water and treatment of gray water by micelle-clay composites, *Desalination and Water Treatment*, 2184-2192
- [11] Bulánek R., 2014: Povrchové jevy na pevných látkách, UNIVERZITA PARDUBICE – Fakulta chemicko-technologická, skripta, dostupné z: [https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/64787/BulanekR\\_PovrchoveJevy\\_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/64787/BulanekR_PovrchoveJevy_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (cit. 21.3.2022)
- [12]. Cao X., Ma L., Gao B., Harris W., 2009: Dairy-manure derived biochar effectively sorbs lead and atrazine. *Environmental Science & Technology*, 43, 3285–3291.
- [13] Černý, J., (2009): Využití odpadů z ČOV jako zdroje organických látek a živin. <https://biom.cz/cz/projekty/konference-racionalni-pouziti-hnojiv-2009> (cit. 20.3.2021)
- [14] Česká rada pro šetrné budovy, 2020: Šetrné budovy a komplexní certifikační systémy, ministerstvo průmyslu a obchodu, Praha
- [15] ČSN EN 15935 (838126), Kaly, upravený bioodpad, půdy a odpady – Stanovení ztráty žiháním, dostupné z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-15935-838126-231752.html#> (cit. 25.3.2022)
- [16] ČVUT | Katedra zdravotního a ekologického inženýrství [online]. Copyright © [cit. 20.03.2021]. Dostupné z: <http://kzei.fsv.cvut.cz/pdf/2016-2017/pvh2/COV.pdf>
- [17] Drabinová S., Kunssberger D., 2015: Druhy odpadních vod, dostupné z: [http://poradme.se/index.php?title=Druhy\\_odpadn%C3%ADch\\_vod](http://poradme.se/index.php?title=Druhy_odpadn%C3%ADch_vod)
- [18] Dešťovka – SFŽP ČR. SFŽP ČR – Státní fond životního prostředí ČR [online]. Dostupné z: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/destovka/> (cit. 17.3.2021)
- [19] Fojtíková A., 2017: Využití biocharu ve vztahu k ochraně životního prostředí, Vysoká škola báňská – Technická univerzita, diplomová práce, Ostrava.
- [20] Friedler E., Hadari M., 2006: Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings 190 (1–3), 221-234.
- [21] Frintová K., 2007: Čištění odpadních vod, MASARIKOVA UNIVERZITA V BRNĚ, pedagogická fakulta, diplomová práce, Brno.

- [22] Gembalová L., Klouda K., Roucová P., Rusín J., Pryszcz A., Weisheitlová M., 2016: Biochar-ekologický produkt a jeho uplatnění v ochraně životního prostředí. 1 VŠB - TU Ostrava, Hornicko-geologická fakult, str. 24-31
- [23] Goddare E. D., Ananthapadmanabhan K. P., 1993: Interactions of Surfactants with Polymers and Proteins, CRC Press, 427, New York, ISBN 0-8493- 6784-0.
- [24] Groda B., Vítěz T., Machala M., Foller J., Surýnek D., Musil J., 2007: Čištění odpadních vod jako nástroj k ochraně životního prostředí v zemědělské praxi a na venkově, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Brno.
- [25] Heimová D., 2015: Studium komplexů chitosanu s ionickým tenzidem, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, diplomová práce, Zlín
- [26] Herle, J., Bareš, P., 1990: Čištění odpadních vod z malých zdrojů znečištění. vyd. Nakladatelství technické literatury v Praze, 208s ISBN 04-730-09
- [27] Chen X., Chen G., Chen L., Chen Y., Lehmann J., McBride M.B., Hay A.G., 2011; Adsorption of copper and zinc by biochars produced from pyrolysis of hardwood and corn straw in aqueous solution. *Bioresource Technology* 102, 8877–8884.
- [28] Chudoba J., a kol. 1991: Biologické čištění odpadních vod, Státní nakladatelství technické literatury, 468, Praha, ISBN 80-03-00611-2
- [29] Inyang M., Gao B., Yao Y., Xeu Y., Zimmerman A., Pullammanappallil P., Cao X., 2012: Removal of heavy metals from aqueous solution by biochars derived from anaerobically digested biomass. *Bioresource Technology* 110, 50–56
- [30] Inyang M., Gao B., Ding W., Pullammanappallil P., Zimmerman A., Cao X., 2010: Enhanced lead sorption by biochar derived from anaerobically digested sugarcane bagasse, *Separation Science and Technology* 46, 1950-1956
- [31] Inyang M., Gao B., Yao Y., Xue Y., Zimmerman A., Mosa A., Pullammanappallil P., Ok Y.S., Cao X., 2015: A review of biochar as a low-cost adsorbent for aqueous heavy metal removal, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 406-433
- [32] Járová K., Hudcová T., 2017: Stanovení biochemické spotřeby kyslíku (BSK) ve vodách (MERCK), Brno dostupné z: [https://www.vfu.cz/files/sop-03\\_bsk.pdf](https://www.vfu.cz/files/sop-03_bsk.pdf) (cit. 17.3.2021)

- [33] Jindo K., Suto K., Matsumoto K., Garcia C., Sonoki T., Sanchez-Monedero M.A., 2012: Chemical and biochemical characterization of biochar-blended composts prepared from poultry manure. *Bioresource Technology* 110, 396-404
- [34] Kaštánek F., Čížek Z., 2010: Reálné možnosti reduktivní dehalogenace chlorovaných látek přítomných ve vodách pomocí elementárních kovů. *WASTE FORUM* 3, 247-253
- [35] Kılıç M., Kırbıyık Ç., Çepelioğullar Ö., Pütün A.E., 2013: Adsorption of heavy metal ions from aqueous solutions by bio-char, a by-product of pyrolysis, *Applied Surface Science* 283, 856-862
- [36] Kočková et al., 1994: *Vegetační kořenové čistírny odpadních vod*, ISBN 80-7084-104-4
- [37] Kozlíková N., 2019: *Využití modifikovaného biocharu pro záchyt amoniaku z odpadního vzduchu*, UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE - přírodovědecké fakulta, bakalářská práce, Praha
- [38] Lehmann J., Rilling M.C., Thies J., Masiello C., Hockaday W. C., Crowley D., 2011: Biochar effects on soil biota – A review, *Soil, Biology Biochemistry* 43, 1812-1836
- [39] Lehmann J., Joseph S., 2009: Biochar for environmental management. *Science and technology* 631, 448
- [40] Liu W.J., Jiang H., Yu H.Q., 2015; Development of biochar-based functional materials: toward a sustainable platform carbon material, *Chemical reviews* 115, 12251 – 12285
- [41] Liu X., Sun J., Duan S., Wang Y., Hayat T.,Alsaedi A., Wang Ch., Li J., 2017: A Valuable Biochar from Poplar Catkins with High Adsorption Capacity for Both Organic Pollutants and Inorganic Heavy Metal Ions, *Scientific Reports* 7, 10033
- [42] Matysková J., 2011: *Česle a síta*, ASIO, spol. s r.o.. ASIO – čištění a úprava vod, dešťové a šedé vody [online]. Copyright © [cit. 22.03.2021]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/285.cesle-a-sita>
- [43] Myers D., 2005: *Surfactant science and technology*, Surfactant Science and technology, New Jersey, ISBN-13 978-0-471-68024-6.
- [44] Novák V., 2014: *ČOV s energetickým využitím bioplynu*, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE – Fakulta elektrotechnická, diplomová práce, Praha

- [45] Opava O., 2018: Zpětné využití odpadních. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE – Fakulta stavební, bakalářská práce, Praha.
- [46] Pandey D., Daverey A., Arunachalam K., 2020: Biochar: Production, properties and emerging role as a support for enzyme immobilization. Journal of Cleaner Production, 255
- [47] Pavlátková L., 2017: Tenzidy v oplachové kosmetice, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – fakulta technologická, bakalářská práce, Zlín
- [48] Pátková M., 2010: Návrh kořenového způsobu čištění odpadních vod obec Radotín, VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – Technická univerzita, bakalářská práce, Ostrava
- [49] Peer V., Mikeska M., Kielar J., Němeček O., 2019: Pyrolýzní biochar vs. torifikovaný materiál: vliv na půdní vlastnosti, Energie z biomasy XIX, Lednice
- [50] Pěcháček J., 2019: Čištění odpadních vod, ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZÍ – Fakulta strojní, dostupné z [https://projekty.fs.vsb.cz/010/downloads/prednasky/Cistení\\_odpadnich\\_vod-Pechacek.pdf](https://projekty.fs.vsb.cz/010/downloads/prednasky/Cistení_odpadnich_vod-Pechacek.pdf) (cit. 23.3.2022)
- [51] Pitter P., 1999: Hydrochemie, VYSOKÁ ŠKOLA TECHNICKOCHÉMICKÁ, Praha, 568, ISBN 80-7080-340-1.
- [52] Plotěný K., 2011: Dělení vod, bílé a šedé vody – nové poznatky a možnosti využití, sborník semináře Vodohospodářské chuťovky Brno, ASIO, spol. s.r.o. s 21-21
- [53] Plotěný K., 2019: Recyklace šedých vod a jejich využití, dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/999.recyklace-sedych-vod-a-jejich-vyuziti> (cit. 14.3.2021)
- [54] Plotěný K., Bartoník A., 2012: Čištění šedých vod a možnost využití energie <https://voda.tzb-info.cz/9411-cistení-sedych-vod-a-moznost-vyuziti-energie-z-nich#pozn1> (cit. 27.3.2021)
- [55] Pohořelý M., Sedmihradská A., Trkal L., Jevič P., 2019: Electronic peer-reviewed journal on all topics of industrial and municipal ecology, Waste Forum 3, 198-204
- [56] Pohořelý M., Moško J., Zach B., Šyc M., Václavíková Š., Jeremiáš M., Svoboda K., Skoblia S., Beňo Z., Brynda J., Trkal L., Straka P., Olga Bičáková O., Innemanová P., 2017: Waste forum 2, 42-111

- [57] Sedlaříková J., 2015: Chemie a technologie tenzidů II, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – Fakulta technologická, Zlín, dostupné z : <http://kosmetika.ft.utb.cz/Services/Downloader.ashx?id=134&disposition=inline> (cit. 22.3.2022)
- [58] Skanska Group: Systém pro hospodaření s šedou vodou, dostupné z: <https://reality.skanska.cz/seda-voda> (cit. 23.3.2022)
- [59] Stejskal L., 2012: Změna klimatu a její hlavní dopady: hlavní hrozba 21. století, Ministerstvo vnitra České republiky, dostupné z: [https://klimatickakoalice.cz/images/dokumenty/sbp\\_zmena\\_klimatu\\_a\\_jeji\\_dopady.pdf](https://klimatickakoalice.cz/images/dokumenty/sbp_zmena_klimatu_a_jeji_dopady.pdf) (cit. 18.3.2022)
- [60] Spokas K.A., Koskien W.C., Baker J.M., Reicosky D.C., 2009: Impacts of woodchip biochar additions on greenhouse gas production and sorption/degradation of two herbicides in a Minnesota soil, Chemosphere 77, 574-581
- [61] Stec A., Kordana S., 2015: Analysis of profitability of rainwater harvesting, gray water recycling and drain water heat recovery systems, Resources, Conservation and Recycling 105, 84-94
- [62] Strnadová H., Kvítek L., 2009: Vliv pufru na tvorbu micel vybraných povrchově aktivních látek, Chemické listy 103, 315-319
- [63] Šmidrkal J. 1999: Tenzidy a detergenty dnes, Chemické listy, 93, 421-427.
- [64] Technické normy, dostupné z: [http://www.technicke-normy-csn.cz/836442-csn-en-iso-14238\\_4\\_95392.html](http://www.technicke-normy-csn.cz/836442-csn-en-iso-14238_4_95392.html) (cit. 25.3.2021)
- [65] Thomson K.A., Valencia E.W., Summers R.S., Cook S.M., 2020; Sorption, coagulation, and biodegradation for graywater treatment Sci. Technol., 46, 1950-1956
- [66] Tumová K., 2019: Uživatelé šedé vody – motiace a zkušenosti, MASARYKOVA UNIVERZITA, fakulta sociálních studií, diplomová práce, Brno.
- [67] V4 Biochar Platform. [online]. Copyright © 2019 Česká zemědělská univerzita v Praze [cit. 28.02.2021]. Dostupné z: <https://v4biochar.czu.cz/cs/r-15068-o-biocharu>
- [68] VA TECH WABAG Brno spol. s.r.o.: Odpadní voda průmyslová, dostupné z <https://www.wabag.cz/technologie/odpadni-voda-prumyslova> (cit. 22.3.2022)

- [69] Veselá M., 2015: Provoz a řízení sprchových rekuperačních výměníků. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, Fakulta stavební, diplomová práce, Brno
- [70] Veselý V., 2009: Bioloické čištění odpadních vod, VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ - Fakulta stavební, bakalářská práce, Brno
- [71] Vogel J., 2021: Vliv závlivky šedé vody na vlastnosti půdy po přidání biocharu, ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE, bakalářská práce, Praha, nepublikováno
- [72] Volná K., 2021: Čištění odpadních vod ve sklářském průmyslu, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE – Fakulta strojní, bakalářská práce, Praha.
- [73] Vrba D., 2020: Návrh řešení splaškových odpadních vod u rekreačního objektu v obci Kotelice, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE – Fakulta stavební, Praha
- [74] Vybořil D., 2017: Biomasa – využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR, dostupné z [https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevychody?fbclid=IwAR2tADYMXuTAoZ1Af4P5\\_yPTmKVPifl8es8IeYaIZABVIQM\\_sFdDH8FaB0U](https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevychody?fbclid=IwAR2tADYMXuTAoZ1Af4P5_yPTmKVPifl8es8IeYaIZABVIQM_sFdDH8FaB0U) (cit. 3.3.2021)
- [75] Vymazal J., 2004; Kořenové čistírny odpadních vod, Třeboň, dostupné z <http://pece.zf.jcu.cz/docs/prednasky/Funkce-a-vyuziti-makrofyty-41fa21723a.pdf> (cit. 15.3.2021)
- [76] Vymazal, J., 2016: Kořenové čistírny odpadních vod: Využití ve světě, České republice a Plzeňském kraji. Plzeň: Krajský úřad Plzeňského kraje, odbor životního prostředí, 66.
- [77] Wanner J., 2018: Dosahovaná kvalita vyčištěné odpadní vody v moderních ČOV a příklady recyklace odpadních vod, VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE, dostupné z: <https://www.senat.cz/xqw/webdav/pssenat/original/92839/77839> (cit. 21.3.2022)
- [78] Weber K., Quicker P., 2018; Properties of biochar, Fuel 217, 240-261
- [79] ZÁKLADY KANALIZACE PRO VEŘEJNOU POTŘEBU. [online]. Dostupné z <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/tzb-1/8.html> (cit. 27.3.2021)



- [80] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon § 38)
- [81] Zhang Z., Zhu Z., Shen B., Liu L., 2019: Insights into biochar and hydrochar production and applications: A review, ELSEVIER, Energy 171, 581 - 598
- [82] Zhao J.J., Shen H.J., Domene X., Alcaniz J.M., Liao X., Palet C., 2019: Comparison of biochars derived from different types of feedstock and their potential for heavy metal removal in multiple-metal solutions, Scientific Reports 9, 9869
- [83] Ztráta žiháním. Čistička odpadních vod výhodné čov čistírny ceny informace [online]. Dostupné z: <http://www.cistickaodpadnichvod.cz/slovník/ztrata-zihanim> (cit. 13.3.2021)
- [84] <https://www.ravos-sro.cz/vse-o-vode/odpadni-voda/> (cit. 14.3.2021)
- [85] <https://voda.tzb-info.cz/9411-cistení-sedých-vod-a-možnost-využití-energie-z-nich> (cit. 16.3.2021)

## 8 Přílohy

Graf 1 <https://www.vodavdome.cz/co-je-to-seda-voda/>

Graf 1 Hodnoty měření množství hliníku v zálivkách

Graf 2 Hodnoty měření množství barya v zálivkách

Graf 3 Hodnoty měření množství sodíku v zálivkách

Graf 4 Hodnoty měření množství křemíku v zálivkách

Graf 5 : Hodnoty měření množství stroncia v zálivkách

Graf 6: Hodnoty měření množství fluoridu v zálivkách

Graf 7: Hodnoty měření množství chloridu v zálivkách

Obr. 1. [http://www.wasteforum.cz/cisla/WF\\_2\\_2017.pdf#page=42](http://www.wasteforum.cz/cisla/WF_2_2017.pdf#page=42)

Obr. 2. <https://www.buesch.com/cs/vyroby/vretenova-soupatka-hraditka-a-stavitka/prislusenstvi/cesle/>

Obr. 3. <http://www.hydrosystemy.cz/produkty/33-cisteni-odpadnich-vod>

Obr. 4. <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/10058-vegetacni-korenove-cistirny>

Obr. 5. <https://voda.tzb-info.cz/9411-cisteni-sedych-vod-a-moznost-vyuziti-energie-z-nich#pozn1>

Obr 6. <https://www.avantgarde-prague.cz/ubytovani/mosaic-house>

Obr.7 Las [8]

Příloha 1 (Čečetka, 2022)

		Al [mg/l]	Ba [mg/l]	Na [mg/l]	Si [mg/l]	Sr [mg/l]	pH	konduktivita μS/cm
<b>Odběr 1</b>	Sud 1	0,120	0,103	8,47		0,019	9,898	210,000
	Sud 1	0,118	0,099	8,46		0,019	9,929	207,000
	Sud 1	0,119	0,094	8,48		0,018	9,866	210,000
	Sud 2	0,024	0,277	23,51		0,156	9,199	452,000
	Sud 2	0,026	0,274	23,38		0,154	9,218	434,000
	Sud 2	0,028	0,272	23,34		0,153	9,219	431,000
	Sud 3	0,026	0,297	25,00		0,159	9,870	454,000
	Sud 3	0,029	0,300	25,05		0,160	9,289	451,000
	Sud 3	0,025	0,297	25,01		0,159	9,278	454,000
<b>Odběr 2</b>	Sud 1	0,107	0,379	10,59		0,025	10,050	212,000
	Sud 1	0,107	0,383	10,52		0,025	10,078	203,000
	Sud 1	0,106	0,407	10,54		0,026	10,078	205,000
	Sud 2	0,032	0,351	23,10		0,149	9,337	410,000
	Sud 2	0,030	0,356	23,46		0,151	9,318	410,000
	Sud 2	0,032	0,353	23,34		0,151	9,343	412,000
	Sud 3	0,033	0,349	25,25		0,150	9,396	417,000
	Sud 3	0,035	0,337	25,12		0,148	9,412	417,000
	Sud 3	0,036	0,344	25,32		0,149	9,402	418,000
<b>Odběr 3</b>	Sud 1	0,172	0,149	8,59		0,028	10,213	204,000
	Sud 1	0,188	0,147	8,47		0,027	10,215	207,000
	Sud 1	0,176	0,162	8,58		0,029	10,229	208,000
	Sud 2	0,040	0,406	23,57		0,153	9,433	413,000
	Sud 2	0,037	0,405	23,66		0,151	9,428	412,000
	Sud 2	0,036	0,403	23,59		0,151	9,429	411,000
	Sud 3	0,033	0,379	25,25		0,147	9,480	415,000
	Sud 3	0,034	0,386	25,40		0,150	9,482	416,000
	Sud 3	0,035	0,380	25,22		0,148	9,484	415,000
<b>Odběr 4</b>	Sud 1	0,203	0,211	8,77		0,036	10,130	212,000
	Sud 1	0,205	0,205	8,81		0,036	10,145	208,000
	Sud 1	0,214	0,212	9,02		0,036	10,143	210,000
	Sud 2	0,037	0,444	23,85		0,153	9,347	418,000
	Sud 2	0,041	0,442	23,78		0,152	9,323	427,000
	Sud 2	0,038	0,439	23,83		0,152	9,356	416,000
	Sud 3	0,041	0,410	24,92		0,147	9,415	419,000
	Sud 3	0,042	0,423	25,37		0,150	9,437	418,000
	Sud 3	0,039	0,421	25,51		0,151	9,448	418,000
<b>Odběr 5</b>	Sud 1	0,216	0,154	8,52	1,45	0,030	9,874	207,000
	Sud 1	0,205	0,158	9,17	1,65	0,030	9,843	209,000
	Sud 1	0,232	0,152	9,51	1,48	0,029	9,826	216,000
	Sud 2	0,035	0,429	22,91	2,89	0,149	9,137	420,000
	Sud 2	0,016	0,429	23,14	2,83	0,151	9,133	421,000

	Sud 2	0,013	0,430	22,75	2,89	0,149	9,103	419,000
	Sud 3	0,030	0,497	26,18	2,76	0,164	9,163	418,000
	Sud 3	0,016	0,409	24,45	2,81	0,146	9,126	430,000
	Sud 3	0,037	0,412	25,04	2,74	0,145	9,116	421,000
<b>Odběr 6</b>	Sud 1	0,235	0,162	8,80	1,53	0,031	9,819	212,000
	Sud 1	0,215	0,155	8,62	1,55	0,029	9,809	206,000
	Sud 1	0,232	0,167	8,65	1,63	0,031	9,813	204,000
	Sud 2	0,027	0,449	22,54	2,94	0,148	9,042	422,000
	Sud 2	0,019	0,451	22,55	2,79	0,149	9,044	419,000
	Sud 2	0,039	0,465	23,21	2,95	0,156	9,050	409,000
	Sud 3	0,026	0,424	24,35	2,74	0,145	9,159	415,000
	Sud 3	0,022	0,428	24,27	2,72	0,146	9,151	414,000
	Sud 3	0,039	0,426	24,91	2,63	0,146	9,134	420,000
<b>Odběr 7</b>	Sud 1	0,264	0,171	8,67	1,53	0,031	9,775	205,000
	Sud 1	0,251	0,176	8,90	1,53	0,031	9,762	209,000
	Sud 1	0,255	0,187	9,15	1,76	0,035	9,774	208,000
	Sud 2	0,025	0,494	22,89	2,81	0,154	9,019	415,000
	Sud 2	0,022	0,481	22,61	2,86	0,151	9,020	418,000
	Sud 2	0,017	0,479	22,39	2,83	0,151	9,026	410,000
	Sud 3	0,025	0,462	24,61	2,89	0,150	9,082	414,000
	Sud 3	0,025	0,469	24,66	2,92	0,151	9,104	416,000
	Sud 3	0,027	0,465	24,52	2,81	0,150	9,115	417,000
<b>Odběr 8</b>	Sud 1	0,263	0,191	8,50	1,72	0,035	9,826	206,000
	Sud 1	0,310	0,208	9,64	1,57	0,038	9,791	210,000
	Sud 1	0,274	0,185	9,16	1,69	0,035	9,783	208,000
	Sud 2	0,025	0,536	23,30	2,79	0,161	9,017	418,000
	Sud 2	0,032	0,550	23,66	2,78	0,158	9,050	419,000
	Sud 2	0,021	0,537	23,63	3,11	0,162	9,060	417,000
	Sud 3	0,024	0,532	25,33	2,77	0,162	9,294	423,000
	Sud 3	0,024	0,522	25,46	2,94	0,161	9,293	426,000
	Sud 3	0,020	0,518	25,20	2,85	0,161	9,294	425,000

Příloha 2. (Čečetka, 2022)

		Amount mg/L fluoride	Amount mg/L chloride	pH	konduktivita μS/cm
<b>Odběr 1</b>	Sud 1	0,0622	6,9687	9,898	210,000
	Sud 1	0,0482	6,1219	9,929	207,000
	Sud 1	0,0548	6,107	9,866	210,000
	Sud 2	0,0757	33,8665	9,199	452,000
	Sud 2	0,0791	28,8552	9,218	434,000
	Sud 2	0,0783	28,8911	9,219	431,000
	Sud 3	0,0739	29,4103	9,870	454,000
	Sud 3	0,0682	29,5264	9,289	451,000
	Sud 3	0,0822	29,5707	9,278	454,000
<b>Odběr 2</b>	Sud 1	0,0606	12,6446	10,050	212,000
	Sud 1	0,0177	6,2177	10,078	203,000
	Sud 1	0,0174	6,2334	10,078	205,000
	Sud 2	0,0694	28,9606	9,337	410,000
	Sud 2	0,0651	29,2316	9,318	410,000
	Sud 2	0,0728	29,3583	9,343	412,000
	Sud 3	0,0709	29,5289	9,396	417,000
	Sud 3	0,0719	29,3174	9,412	417,000
	Sud 3	0,0738	29,3958	9,402	418,000
<b>Odběr 3</b>	Sud 1	0,066	31,002	10,213	204,000
	Sud 1	0,0118	7,7528	10,215	207,000
	Sud 1	0,0136	7,7736	10,229	208,000
	Sud 2	0,0447	31,9649	9,433	413,000
	Sud 2	0,0714	30,6442	9,428	412,000
	Sud 2	0,071	30,6879	9,429	411,000
	Sud 3	0,0671	32,4716	9,480	415,000
	Sud 3	0,0743	32,1278	9,482	416,000
	Sud 3	0,0714	32,3005	9,484	415,000
<b>Odběr 4</b>	Sud 1	0,1435	67,7704	10,130	212,000
	Sud 1	0,0077	7,5427	10,145	208,000
	Sud 1	0,0103	8,5509	10,143	210,000
	Sud 2	0,0615	32,433	9,347	418,000
	Sud 2	0,0615	30,2487	9,323	427,000
	Sud 2	0,0721	30,2473	9,356	416,000
	Sud 3	0,0553	31,1556	9,415	419,000
	Sud 3	0,0686	29,5128	9,437	418,000
	Sud 3	0,0666	29,5293	9,448	418,000