

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**VLIV TYPU FILTRAČNÍHO MATERIÁLU NA
ÚČINNOST ČIŠTĚNÍ ŠEDÝCH VOD**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

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

Konzultant: Ing. Jaroslav Vacula

Bakalant: Michal Pechač

2022

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Michal Pechač

Krajinářství
Územní technická a správní služba

Název práce

Vliv typu filtračního materiálu na účinnost čištění šedých vod

Název anglicky

Impact of filtration material on the efficiency of grey water treatment

Cíle práce

Cílem práce je na základě experimentální práce s fyzikálním modelem zasakovacího pásu vyhodnotit vliv skladby filtračního lože na účinnost čištění šedých vod.

Metodika

1. Zmapování problematiky formou literární rešerše- šedé vody, jejich dělení, možnosti a způsoby jejich čištění s důrazem na využití různých filtračních materiálů
2. Formou experimentu porovnat 3 skladby filtračního lože a na základě sledování změny fyzikálně chemických ukazatelů kvality vody a výskytu mikropolutantů před a po filtraci, stanovit účinnost čištění.

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

šedé vody; čištění; mikropolutanty; filtrace

Doporučené zdroje informací

- Berger, C., 2012: Biochar and activated carbon filters for greywater treatment—comparison of organic matter and nutrients removal. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Boyjoo, Y., Pareek, V.K., Ang, M., 2013: A review of greywater characteristics and treatment processes. Water Sci Technol 67(7). P. 1403–1424.
- Gross A., Maimon A., Alfiya Y., Friedler E., 2015: Greywater Reuse. Taylor & Francis Group LCC, Boca Raton, 301 s.
- Jung, J., Fowdar, H., Henry, R., Deletic, A., McCarthy, D. T. 2019: Biofilters as effective pathogen barriers for greywater reuse. Ecological Engineering, 138. P.79– 87.
- Morel A., Diener S., 2006: Greywater Management in Low and Middle-Income Countries. EAWAG Sandec, Dübendorf, 107 s.
- Murugaragavan R. et al., 2020: Effect of Domestic Grey Water on Soil Quality System: Grey Walter. LAP LAMBERT Academic Publishing, USA, 60 s.
- Santos C., Taveira-Pinto F., Cheng C.Y., Leite D. 2012: Development of an experimental system for greywater reuse. Desalination, 285, 301-305
-

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FZP

Vedoucí práce

prof. RNDr. Dana Komínková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Konzultant

ing. Jaroslav Vacula

Elektronicky schváleno dne 11. 10. 2021

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 24. 11. 2021

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 09. 03. 2022

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Vliv typu filtračního materiálu na účinnost čištění šedých vod“ vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a 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 30.3.2022

Michal Pechač

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval především paní prof. RNDr. Daně Komínkové, Ph.D., dále panu Ing. Jaroslavu Vaculovi a také Ing. et Ing. Fatma Öykü Cömez za jejich trpělivost, cenné rady a připomínky, které mi poskytovali během psaní této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a blízkým, kteří mě podporovali během celého mého vysokoškolského studia.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá vyhodnocením vlivu filtračních materiálů na účinnost čištění šedých vod na základě experimentální práce s fyzikálními modely zasakovacích pásů. V rámci experimentu byly testovány 3 skladby filtračního lože s přidávanými aditivami (antuka, štěpka a biouhel), které byly navíc porovnány se skladbou defaultní, tzn. bez aditiv. Typy fyzikálních modelů byly ještě rozděleny na zasakovací pásy o 70% a 30% saturaci filtru vodou. Syntetická šedá voda byla do jednotlivých skupin zasakovacích pásů aplikována každý pracovní den a k odběrům vzorků na výpusti filtru docházelo vždy v pondělí a ve čtvrtek. Kvalita šedé vody byla sledována na základě následujících parametrů: koncentrace celkového organického uhlíku, celkového uhlíku, celkového dusíku, dusičnanů, amoniakálního dusíku, tenzidů, bóru, mědi, niklu, zinku a farmaka benzotriazolu. U většiny zkoumaných parametrů byly při snižování koncentrací všechny typy filtrů účinné. Například u dusičnanů vykazovaly všechny typy zasakovacích pásů účinnost čištění v průměru nad 96 %. U mědi, niklu a zinku účinnost čištění dosahovala u všech typů filtrů v průměru 91 % až 96 % a u benzotriazolu v průměru 88 % až 95 %. Pouze u celkového uhlíku, amoniakálního dusíku a bóru docházelo po filtraci ke zvyšování koncentrací těchto kontaminantů. Vliv saturace filtru vodou se projevil pouze u snižování koncentrací celkového uhlíku, amoniakálního dusíku a benzotriazolu. Kontaktní čas aplikované šedé vody s filtračními materiály měl pravděpodobně vliv pouze při odstraňování amoniakálního dusíku a bóru. Vzhledem ke zkoumaným parametrům a uspokojivým výsledkům lze přečištěnou šedou vodu využít jako vodu užitkovou.

Klíčová slova

šedé vody, čištění, mikropolutanty, filtrace, zasakovací pás

Abstract

This bachelor's thesis is concentrating on evaluation of the influence of filtering materials on efficiency of purification grey water on the basis of experimental work with physical models of the infiltration trench. In the experiment three forms of filtering beds with additives (clay, wood chips, biochare), which were on top of everything also compared to default forms, meaning forms without additives. Types of physical models were also divided into infiltration trenches with 70% and 30% saturation of the water. Synthetic grey water was put into these groups of infiltration trenches every working day and the samples were taken on Mondays and Thursdays. The water quality was monitored based on the following parameters: concentration of total organic carbon, total carbon, total nitrogen, nitrates, ammoniacal nitrogen, tensides, boron, copper, nickel, zinc and benzotriazole pharmaceuticals. In most of the examined parameters all the types of filters were efficient. For example, in the case of nitrates, all types of infiltration trenches showed a efficiency of purification more than 96 % on average. For copper, nickel and zinc, the efficiency of purification averaged 91 % to 96 % for all types of filters and 88 % to 95 % for benzotriazole. Only in the case of the total carbon, ammoniacal nitrogen and boron there was a rise in concentration of these contaminants detected. The effect of saturation of the filter with water was only seen at decreasing concentration of the total carbon, ammoniacal nitrogen and benzotriazole. Contact time applied grey water with filtering materials was efficient only in getting rid of ammoniacal nitrogen and boron. With these satisfactory results in mind, it is possible to use purified grey water for any household uses other than consumption.

Key words

grey water, purification, micropollutants, filtration, infiltration trench

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle práce	2
3. Literární rešerše.....	3
3.1 Odpadní vody	3
3.2 Šedé vody	4
3.2.1 Charakteristika a druhy šedé vody.....	4
3.2.2 Složení šedé vody	6
3.2.3 Vlastnosti šedé vody	8
3.3 Čištění šedé vody.....	9
3.3.1 Čištění šedé vody ve světle legislativy	11
3.3.2 Vybrané filtrační materiály používané pro čištění šedé vody.....	13
3.3.2.1 Vodárenský písek	14
3.3.2.2 Aktivní uhlí	16
3.3.2.3 Biochare (biouhel).....	17
3.3.2.4 Filtralite	19
3.3.3 Porovnání vybraných filtračních materiálů používaných pro čištění šedé vody	20
4. Metodika	21
4.1 Fyzikální modely zasakovacího pásu	21
4.2 Výroba syntetické šedé vody.....	23
4.3 Práce na experimentální ploše	23
4.4 Analýza odebraných vzorků	25
4.5 Statistické metody vyhodnocení dat.....	27
5. Výsledky	28
5.1 Celkový organický uhlík (TOC).....	29
5.2 Celkový uhlík (TC)	37
5.3 Celkový dusík (TN).....	45
5.4 Dusičnany (NO_3^-)	53
5.5 Amoniakální dusík	61
5.6 Tenzidy	69
5.7 Bór	72
5.8 Měď	75
5.9 Nikl.....	78

5.10 Zinek.....	81
5.11 Benzotriazol (BTR)	84
6. Diskuse.....	87
6.1 Celkový organický uhlík (TOC).....	87
6.2 Celkový uhlík (TC)	87
6.3 Celkový dusík (TN).....	88
6.4 Dusičnany (NO_3^-)	88
6.5 Amoniakální dusík	89
6.6 Tenzidy	90
6.7 Bór	90
6.8 Měď	91
6.9 Nikl.....	91
6.10 Zinek.....	92
6.11 Benzotriazol (BTR)	92
7. Závěr	93
8. Přehled literatury a použitých zdrojů	95

1. Úvod

Voda pokrývá 71 % zemského povrchu. I přesto se jedná o velmi vzácnou komoditu, protože se stále častěji setkáváme s jejím nedostatkem. Tento problém se obecně týká především rozvojových zemí. V celkovém měřítku je však problematika nedostatku vody vnímána na globální úrovni. Přestože je voda nevyčerpatelný zdroj, tak mnoho zemí trápí její nedostatek.

Zásadním problémem ve vyspělých zemích je špatné hospodaření s vodou (Chábera, Kössl 1999). Pokud bude stávající situace pokračovat, je třeba přijít s alternativním řešením, odkud kvalitní vodu získávat. Jedním z možných řešeních je zpětné využití tzv. šedých odpadních vod. Je to označení pro veškerou splaškovou odpadní vodu, která neobsahuje moč ani fekálie. Jedná se o vody, které odtékají z praček, umyvadel, sprch či van, kuchyňských dřezů a myček na nádobí (Plotěný 2021). Novými postupy čištění těchto odpadních vod lze získat tzv. bílou (užitkovou) vodu, kterou je pak možné využít například pro splachování toalet či zalévání zahrad. Výhody použití recyklované šedé odpadní vody tkví především v ekonomickém hledisku a prakticky nulovém zatížení životního prostředí (Plotěný, Bartoník 2012). Znovu užití tohoto druhu odpadních vod je velice oblíbeným tématem v některých evropských zemích, například v Německu či Velké Británii (Bartáček et al. 2021). Vzhledem k celosvětovému ubývání kvalitních zásob vody a souvisejícímu nárůstu cen za vodu se dá předpokládat, že znovu užití odpadních vod bude nabývat na důležitosti i v České republice (Biela 2011). V současné době je však nutné změnit především pohled na čištění odpadních vod. Nemělo by se na ně pohlížet jako na odpad, nýbrž na surovinu, kterou lze ekonomicky a energeticky zhodnotit (Pavelková Chmelová 2013). Z dostupných zdrojů totiž vyplývá, že využíváním recyklované šedé vody ke splachování lze snížit spotřebu pitné vody o 26 % a při jejím využívání při zalévání pak dokonce o více než 40 % (Bartáček et al. 2021).

Tato bakalářská práce se skládá ze dvou částí. Literární rešerše představí problematiku šedých odpadních vod a druhá část, experimentální, se bude zabývat porovnáním vlivu různých skladeb filtračního lože na účinnost čištění šedých vod ve vztahu k fyzikálně-chemickým parametrům kvality vody.

2. Cíle práce

Bakalářská práce si klade za cíl představit problematiku šedých odpadních vod a na základě experimentální práce s fyzikálními modely zasakovacích pásů vyhodnotit vliv skladby filtračních materiálů na účinnost čištění šedých vod. V rámci práce budou porovnány tři skladby filtračního lože a účinnost čištění bude stanovena na základě sledování fyzikálně-chemických ukazatelů kvality vody.

3. Literární rešerše

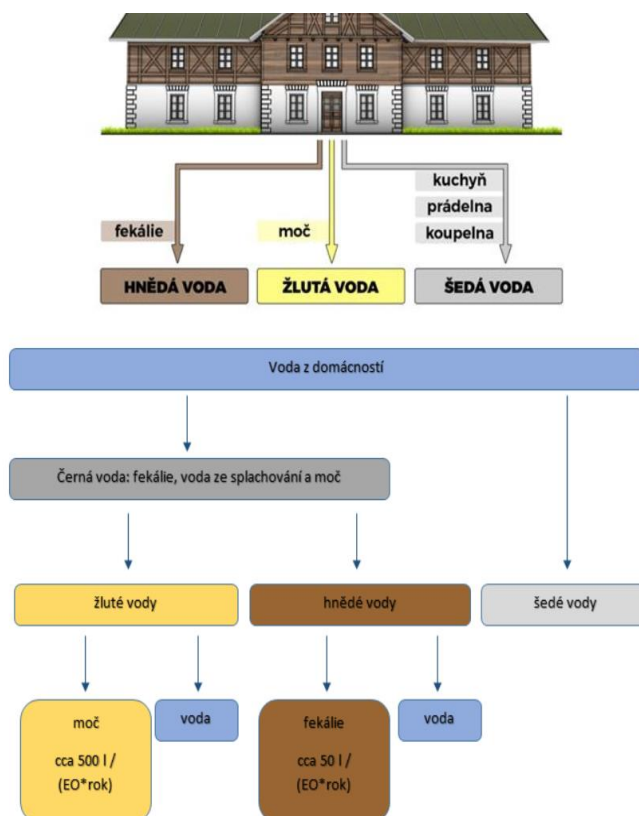
3.1 Odpadní vody

Základem procesu recyklace vod jsou tzv. odpadní vody. Zákon č. 254/2001 Sb. § 38¹ definuje 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.“ (ÚKZÚZ 2001)

Myšlenka na separaci a znovu využití jednotlivých druhů odpadních vod se v Evropě objevila již ve druhé polovině 20. století (Plotěný 2017). Odpadní vody lze podle původu rozdělit do několika skupin. První skupinou jsou vody splaškové, což jsou odpadní vody z domácností, sociálních zařízení, kuchyní, umýváren, restaurací, hotelů a nemocnic. Splaškové vody jsou znečištěny organickými i anorganickými látkami, které se do vody dostávají z moči a fekálií. Vody srážkové, druhá skupina odpadních vod, mají svůj původ ze srážek. Nevýhodou této vody je její kontaminace nečistotami už samotným průchodem atmosférou a dále pak smýváním různých nečistot z povrchu, kam přirozeně srážková voda dopadá. Dalším typem jsou vody průmyslové, což jsou odpadní vody, které pochází z technologických procesů výroby, například z pivovarů, jatek, mlékárenských zařízení atd. Zvláštní skupinou jsou odpadní vody městské, které vznikají kombinací vod splaškových, srážkových a průmyslových (Švehla et al. 2004; Chudoba et al. 1991).

¹ Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).

Odpadní splaškové vody (obr. 1) lze rozdělit podle složení na žluté, hnědé, černé a šedé. Žluté odpadní vody jsou tvořeny odpadními vodami z toalet. Tyto vody obsahují moč, nikoliv však fekálie. Ty jsou obsaženy v hnědých odpadních vodách. Dalším typem jsou černé odpadní vody, které vznikají mísením moči, fekálií, toaletního papíru a splachovací vody. Posledním typem odpadních vod jsou šedé vody, které se vyznačují tím, že naopak neobsahují moč ani fekálie (Plotěný 2017; Lhotáková 2014).



Obr.1: Produkce odpadních vod (Plotěný 2017)

3.2 Šedé vody

3.2.1 Charakteristika a druhy šedé vody

Šedá voda je pojmenována podle své barvy. Podle EN 12056 je to označení pro veškerou splaškovou odpadní vodu, která neobsahuje moč ani fekálie. Jedná se o vody, které odtékají z praček, umyvadel, sprch či van, kuchyňských dřezů a myček na nádobí (Plotěný 2021).

Šedé vody je možné rozdělit do dvou skupin² – tmavé a světlé šedé vody. Tmavou šedou vodou se označuje voda z kuchyňských dřezů a myček na nádobí, ale

² Plotěný (2019) například dělí šedé vody podle jejich původu, a to do čtyř kategorií – 1/ šedé vody z kuchyní a myček, 2/ šedé vody z prádelny a praček, 3/ šedé vody ze sprch, umyvadel a van a 4/ neseparované šedé vody.

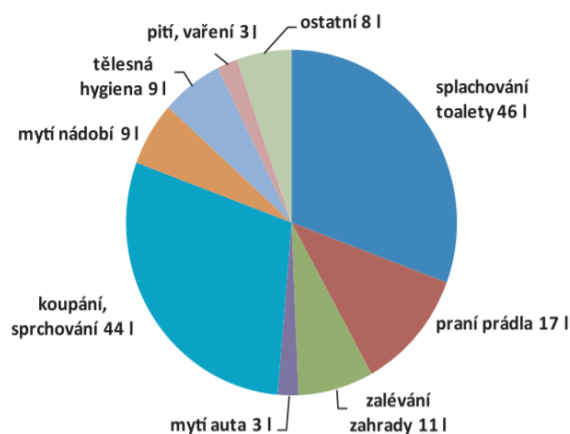
také voda z praček (Kettnerová 2018). Kuchyňská voda je k recyklaci doporučována nejméně, a to kvůli jejímu velkému znečištění³. Obsahuje totiž zbytky čistících prostředků a zbytky potravin. V případě myček se může jednat i o zbytky solí (Morel, Diener 2006). Voda z praček zase obsahuje zbytky pracích prostředků, ve kterých se mohou objevit sodík, fosfor, tenzidy, dusík či bělidla. Mohou se zde přirozeně také vyskytnout vlákna z praných textilií (Plotěný 2011). Druhou skupinou jsou světlé šedé vody, které pochází z umyvadel, sprch či van (Kettnerová 2018). Voda z koupelen tvoří 50–80 % objemu veškeré odpadní vody a lze ji považovat za nejméně znečištěnou vodu ve srovnání s ostatními typy šedých vod. Znečištění těchto vod má svůj původ především v kosmetických a hygienických produktech (mýdla, šampony, sprchové gely, zubní pasty aj.). Kromě těchto produktů se ve světlých vodách vyskytují zbytky kůže, vlasy či vousy. Mohou se zde objevit i fekálie, ale jejich množství je zanedbatelné (Morel, Diener 2006).

Na základě této charakteristiky lze konstatovat, že nejvhodnějšími šedými vodami použitelnými pro recyklaci jsou šedé vody ze sprch, umyvadel a van, protože jsou nejméně zatíženy. Jejich úpravou vzniká tzv. bílá (užitková) voda, kterou lze využít při běžném provozu v domácnosti, např. na splachování toalet, úklid či zalévání zahrad. Naopak nejméně vhodnými šedými vodami jsou ty, které pocházejí z kuchyňských dřezů a myček, protože jsou znehodnocené zbytky jídla. Podle výše uvedeného lze šedé vody rozdělit na vodu vhodnou pro recyklaci (voda ze sprch, umyvadel a van) a na vodu podmíněně použitelnou pro recyklaci, kam je řazena voda z kuchyňských dřezů a myček na nádobí (Biela 2011; Plotěný 2019).

Obecně lze říci, že zatížení šedých vod organismy v porovnání s ostatními odpadními vodami je mnohonásobně nižší. Právě díky nízkému obsahu organismů v sobě šedé vody ukrývají velký potenciál pro recyklaci, především pak světlé šedé vody (Bartoník et al. 2012). Hlavním důvodem, proč se věnovat znovu užití šedých vod, je jejich minimální znečištění a při jejich recyklaci prakticky nulové zatížení životního prostředí (Plotěný 2019). Šedá voda je zároveň stabilním zdrojem pro recyklaci, který není ovlivněn ročním obdobím, jako je tomu například u dešťové vody.

³ K jejímu znečištění přispívá především 58 % NL, 42 % CHSK, 48 % BSK₅ (Bartáček et al. 2021).

Velikost produkce šedých vod se liší v závislosti na charakteru země, jako je například její rozloha nebo počet obyvatel, a možnostech přírodních zdrojů. Množství její produkce se tak pohybuje v rozmezí 20–30 litrů na osobu za jeden den v oblastech, kde je nízká spotřeba vody, a 90–120 litrů v oblastech s vysokou spotřebou pitné vody (Morol, Diener 2006). Průměrné množství vyprodukovaných šedých vod je 57–75 l na osobu. Celková produkce šedé vody činí v domácnostech více než 50 % z celkové produkce odpadních vod. Největší množství průměrné spotřeby vody v domácnosti připadne na splachování toalety (46 l) a hned poté s průměrnou spotřebou 44 l na koupání a sprchování. Průměrnou spotřebu vody v domácnosti ukazuje obr. 2 (Bartoník et al. 2012).



Obr. 2: Průměrná spotřeba vody v domácnosti (Bartoník et al. 2012)

3.2.2 Složení šedé vody

Šedé vody se vyznačují svým specifickým složením a charakterem. Obecně jsou to vody, které neobsahují moč ani fekálie. Kvalita šedých vod kolísá v závislosti na tom, o jaký druh šedé vody se jedná. S použitím povrchově aktivních látek šedé vody podléhají různé úrovni znečištění. Nejméně zatížené jsou vody ze sprch, van a umyvadel, oproti tomu šedé vody z kuchyňských dřezů a myček jsou díky vyšším obsahům organických zbytků a nerozpuštěných látek zatížené více. Celkový charakter šedých vod určuje rozličný životní styl populace (Plotěný, Bartoník 2012).

Přítomnost jednotlivých prvků v šedých vodách se liší dle původu šedé vody. Například dusík (N) se v šedých vodách vyskytuje především jako organicky vázaný (např. v bílkovinách). Průměrně největší množství dusíku obsahují šedé vody z kuchyní a myček, a to 13–60 mg/l. Oxidovaných forem dusíku (dusitany, dusičnany) je v šedých vodách naopak velmi malé množství. Množství fosforu (P) je závislé na tom, kdo produkuje šedou vodu. Nejvíce fosforu je obsaženo v šedých vodách z kuchyní a myček, kde se jeho hodnota pohybuje v rozmezí 3,1–10 mg/l. Živiny dusík

a fosfor patří mezi hlavní sledované fyzikálně-chemické parametry (Bartoník et al. 2012). Koncentrace vybraných živin je zaznamenána v tabulce 1. V šedé vodě se také mohou vyskytovat minerální prvky (např. hořčík, měď, nikl, zinek, železo či hliník aj.) (Molaei 2014). Jenkins, Russel (1994) pojednávají i o výskytu těžkých prvků (např. chrom, kadmium aj.).

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

Tab. 1: Koncentrace vybraných živin v šedých vodách (Bartoník et al. 2012)

V šedých vodách lze najít také například farmaceutika. Pokud člověk dlouhodobě užívá nějaké léky, pak látky obsažené v lécích se spolu s potem člověka dostávají do odpadních vod, například při koupání či sprchování. Toto potvrzuje i Martínez-Alcalá et al. (2018). Jedličková et al. (2010) na základě celoroční studie odpadní vody z ČOV v Brně-Modřicích popisují látky narušující hormonální rovnováhu organismů a celkovou toxicitu odpadní vody. Zmiňují tu nižší účinnost při odstraňování látek dioxinového⁴ typu, což jsou látky se schopností negativně působit na homeostázu, rozmnožování a přirozené chování živočichů. Do odpadních vod se ale také mohou dostat látky zdraví prospěšné, jako například vitamíny a oleje, které jsou obsažené například v šamponech, sprchových gelech či mýdlech.

Mikrobiologické zatížení šedých vod záleží opět na tom, kdo produkuje šedé vody. Bakterie se mohou dostat do vody při mytí rukou, močení (především u malých dětí) a ze zpracování potravin (například při omývání syrového masa). Průzkumy potvrzují, že z mytí rukou a ze sprch mohou být krátkodobě vyšší koncentrace než

⁴ Dioxiny označují skupinu toxických polychlorovaných organických heterocyklických sloučenin. Tyto látky se v přírodě velmi pomalu rozkládají. Dioxin je známý svou teratogenitou (vývojovou toxicitou) a karcinogenitou (Wikipedia 2021b).

třeba z praní (Bartoník et al. 2012). Mezi hlavní sledované mikrobiologické parametry patří *E. coli*, koliformní bakterie, intestinální enterokoky a dále patogenní organismy *Pseudomonas aeruginosa* či *Legionella* sp. (Bartáček et al. 2021).

3.2.3 Vlastnosti šedé vody

Tato kapitola představí vybrané fyzikálně-chemické vlastnosti těchto vod, protože cílem práce je mimo jiné popsat účinnost čištění šedých vod, která bude stanovena právě na základě sledování fyzikálně-chemických ukazatelů kvality vody.

Teplota šedých vod se pohybuje v rozmezí 28–38 °C v závislosti na tom, o jaký druh šedé vody se jedná a k jakému účelu je voda použita. U šedých vod z prádelen a praček je teplota nižší, naopak u šedých vod ze sprch, umyvadel a van vyšší. Čím vyšší je však teplota vody, tím větší množství mikroorganismů se ve vodě vyskytuje a tím pádem šedou vodu znehodnocuje (Biela 2011).

Další fyzikální vlastností šedých vod, kterou lze sledovat, je pH. U šedých vod ze sprch, van či umyvadel se pH pohybuje v rozmezí 5–8,6⁵. Šedé vody z praček mají pH zásadité, pohybující se v rozmezí 9,3–10. Oproti tomu pH šedých vod z kuchyní je spíše kyselější (Bartoník et al. 2012).

Dalšími vlastnostmi, které lze u šedých vod pozorovat pouhým okem, jsou barva, zákal a plovoucí látky. Při porovnání barvy a zákalu u šedých vod ze sprch, umyvadel a van a šedých vod z prádelen a praček zjistíme, že první druh vody vykazuje horší hodnoty. Koncentrace nerozpuštěných látek a měření zákalu specifikuje přítomnost koloidních látek. Právě tyto látky spolu s plovoucími látkami (např. zbytky jídla, vlasy, vlákna z oblečení, písek aj.) způsobují největší problémy v úpravě šedých odpadních vod. Největší množství plovoucích látek lze pozorovat u šedých vod z kuchyní a myček právě proto, že tyto vody obsahují zbytky jídla (Bartoník et al. 2012).

K důležitým chemickým parametrům patří sledování poměru chemické spotřeby kyslíku (CHSK) a biochemické spotřeby kyslíku (BSK₅), který je u šedých

⁵ pH u komunálních vod se pohybuje v rozmezí 7–8 (Bartoník et al. 2012).

vod 4:1⁶, což ukazuje na vyšší podíl hůře rozložitelných organických látek. Tento poměr je sledovaný především u odpadních vod ze sprch, umyvadel a van, protože je tato odpadní voda navíc obohacena o mycí prostředky jako jsou šampony, sprchové gely, mýdla aj. (Bartoník et al. 2012). Vybrané fyzikálně-chemické parametry ukazují tabulka 2.

Fyzikálně-chemické parametry	Jednotka	Pračky	Vany, sprchy, umyvadla	Kuchyně a myčky	Neseparovaná voda
pH	-	9,2 - 10	5 - 8,6	6,3 - 7,4	6,1 - 8,4
Teplota	°C	28-32	18-38	-	-
Barva	Pt/C	50-70	60-100	-	-
Zákal	-	14-296	20-370	-	-
Plovoucí látky	mg/l	79-280	7-120	134 - 1 300	-
Rozpuštěné látky	mg/l	-	126-599	-	-
Vodivost	S/m	190-1 400	82-22 000	-	360-520
Alkalita (jako CaCO ₃)	mg/l	83-200	24-136	20-340	-
Tvrdost (jako CaCO ₃)	mg/l	-	18-52	-	-
BSK ₅	mg/l	48-682	19-200	669-756	41-194
CHSK	mg/l	375	64 - 8 000	26 - 1 600	495-623
TOC	mg/l	100-280	15-225	-	-
SO ₄ ²⁻	mg/l	-	12-40	-	39,8 - 88,5
Cl ⁻	mg/l	9-88	3,1 - 88	-	16,3 - 33,4
Oleje a tuky	mg/l	8,0 - 35	37-97	-	-

Tab. 2: Fyzikálně-chemické vlastnosti šedých vod podle jednotlivých kategorií (Bartoník et al. 2012)

3.3 Čištění šedé vody

Šedé vody se čistí v několika stupních. Nejdříve se hrubou filtrací odstraní hrubé nečistoty (např. různá vlákna, vlasy aj.). Poté následuje samotný proces filtrace s využitím vhodného filtračního materiálu. Zbytkové částice se usazují a následně jsou odváděny. Při odstraňování rozpuštěných látek se uplatňuje např. sorpce na povrchu

⁶ V komunálních vodách se pohybuje poměr CHSK/BSK₅ na úrovni 2:1 (Bartoník et al. 2012).

či Van der Waalsovy síly. Takto vyčištěná voda je na konci dezinfikována. Tento krok je velice důležitý kvůli odstranění patogenních organismů z vyčištěné vody, které by mohly narušit kvalitu vody. Způsoby, které jsou používány při dezinfekci, je možné rozdělit na chemické, ke kterým patří použití chlóru, ozónu či oxidačních procesů, a fyzikální, kam je řazeno UV záření (Lhotáková 2014; Plotěný 2013).

Technologické postupy čištění šedých vod se podle typu procesu dělí na mechanické, fyzikálně-chemické, biologické a přírodní způsoby. Mechanické čištění šedých vod zahrnuje základní procesy čištění, a to sedimentaci a filtraci. Tento typ úpravy je používán jako samostatný pouze v případech, že je tato úprava dostatečná. V ostatních případech se mechanická úprava používá jako předčištění před dalšími stupni. Mezi chemickou úpravou čištění jsou řazeny procesy založené na koagulaci a elektrokoagulaci. Do odpadní vody jsou dávkovány chemikálie na bázi železa, hliníku a jiných kovů, které napomáhají v jejich čištění. K chemické úpravě také patří fotokatalýza, tedy rozklad látek za přítomnosti fotokatalyzátoru. K fyzikální úpravě šedých vod patří procesy, které jsou založeny na adsorpci nerozpuštěných látek na filtračním loži pískového filtru. Filtrací je označován proces, při kterém dochází k oddělování pevné látky od kapaliny na porézní přepážce – filtru. Před každou filtrací je nutné zvolit správný filtrační materiál a snažit se získat co největší objem filtrátu, který by se dal znovu použít (Lhotáková 2014; Bartoník et al. 2012; Plotěný 2013). Kvalita filtrace je závislá na mnoha proměnných, mezi které jsou řazeny typ filtru, výška filtračního lože, druh a zrnitost filtrační náplně, filtrační rychlost, která udává rychlost průchodu vody filtrem, vhodnost materiálu filtračních komponentů, teplota vody a pracovní tlak. Filtraci je možné rozdělit na povrchovou, při které jsou částice zachycovány na povrchu filtru, a hloubkovou filtraci, kde částice procházejí porézním prostředím filtru a zachycují se v něm.⁷ Tloušťka filtru je u tohoto typu filtrace mnohem větší (Chudoba et al. 1991). Zvláštním typem filtrace je tzv. membránová filtrace.

Nakonec se vyčištěná šedá voda dezinfikuje UV zářením. Nevýhodou filtrace je organická frakce odpadních vod, a proto jsou zpravidla doplňovány o koagulaci nebo třeba ozonizaci. Dalšími technologiemi čištění šedých vod je biologické čištění. Biologické procesy čištění zpravidla doplňují membránovou filtraci. Jedná se o

⁷ Na tomto principu fungují pískové filtry v čistírnách odpadních vod.

metodu čištění, kdy k rozkladu přispívají mikroorganismy. Mezi procesy, které je možné řadit mezi biologické, patří biofilmové reaktory, aktivační nádrže, membránový bioreaktor a biologické provzdušňované filtry. U čištění odpadních vod lze využít i přírodní postupy, kam jsou řazeny mokřady, kořenové čistírny a rákosová pole (Lhotáková 2014; Bartoník et al. 2012; Plotěný 2013).

3.3.1 Čištění šedé vody ve světle legislativy

Zatímco v České republice neexistuje žádná legislativní úprava pro použití šedých vod, v zahraničí jsou takové právní předpisy týkající se sledovaných parametrů kvality odpadních vod běžně vydávány. V ČR jsou k dispozici pouze nezávazné normy, a proto v tomto směru hledá česká legislativa oporu právě v zahraničí (Bartoník et al. 2012).

Pro představu lze jmenovat například britskou normu BS 8525-1 z roku 2010 (Biela 2011). V lednu 2018 byla vydána evropská norma EN 16941-1 týkající se systémů ve využívání dešťových vod. Její druhá část EN 16941-2 označována také jako FprEN 16941-2 (*On-site non-potable water systems – Part 2: Systems for the use of treated greywater*), která se týká zařízení pro využití upravených šedých vod, byla vydána v listopadu téhož roku. Tato norma obsahuje nejen technické požadavky, ale i požadavky na ukazatele kvality užitkové vody týkající se zdravotních rizik a vychází právě z britské normy BS 8525-1 (Vrána 2018).

Je tedy nutné přesně určit požadavky na užitkovou vodu a přesně vědět, k jakému koncovému účelu bude následně tato voda sloužit. Není totiž nutné, aby užitková voda měla status pitné vody. Z příložené tabulky 3 lze konstatovat, že nejdůležitější ve vztahu kvality vody je určení fyzikálních parametrů, obsahu jednotlivých chemických prvků a mikroorganismů (Gross et al. 2015).

Parametr	Tlakové mytí, zahradní rozstřikovač a mytí vozidel	Bezroštíkové aplikace		
		Splachování toalet	Zavlažování zahrady ^(A)	Praní prádla
<i>Escherichia coli</i> (CFU/100ml)	nedetekováno	250	250	250
<i>Intestinal enterococci</i> (CFU/100ml)	nedetekováno	100	100	100
<i>Legionella pneumophila</i> (CFU/100ml)	10	Nelze aplikovat	Nelze aplikovat	Nelze aplikovat
Celkové koliformní bakterie ^{B)} (CFU/100ml)	10	1 000	1 000	1 000
pH	5 – 9,5	5 – 9,5	5 – 9,5	5 – 9,5
Zákal (NTU)	< 10 NTU pro všechna využití (< 1 NTU v případě, že proběhla UV dezinfekce)			
Usaditelné pevné látky	Vizuálně čisté, bez plovoucích nečistot			
Barva	Neobjektivní pro všechna užití			
Zbytkový chlor ^{C)} [mg/l]	< 2	< 2	< 2	< 2
Zbytkový brom ^{C)} [mg/l]	< 2	< 2	< 2	< 2

A) Pokud ošetřené šedé vody mají být použity v zelinářských zahradách pro plodiny určené ke konzumaci, pak by informace týkající se přípravy těchto plodin měly být poskytovány uživateli.
B) Celkové koliformní bakterie jsou ukazatelem provozního parametru mikrobiologické kvality šedé vody. Bakteriologické orientační hodnoty uvedené pro upravené šedé vody odráží potřebu kontrolovat kvalitu vyčištěné vody pro dodávky a užití.
C) Testování na zbytkový chlor a brom je nutné pouze tehdy, jsou-li použity dezinfekční prostředky.

Tab. 3: Vybrané požadavky na kvalitu upravené šedé vody dle normy EN 16941-2

Vzhledem k charakteru a složení šedých vod je nutné dodržovat přesné postupy čištění. Bez těchto úprav bude znovu použití šedých vod mít dopad na lidské zdraví. Za hlavní riziko je považováno šíření nemocí (Gross et al. 2015). Voda, která obsahuje především těžké kovy, pak může mít neblahý vliv také na psychiku člověka (Molaei 2014). Špatný dopad může mít taková užitková voda i na životní prostředí. Užíváním vody, která bude obsahovat zvýšené množství povrchově aktivních látek může například u rostlin způsobit tzv. chlorózu⁸. Postupem času by také mohla tato voda

⁸ Chloróza je onemocnění zelených rostlin, které se projevuje vytvářením atypických skvrn především na listech. Chloróza je nejčastěji způsobena nedostatkem či naopak nadbytkem živin a mikroorganismů (dusíku, železa, draslíku aj.), špatným pH půdního prostředí, nevyváženým vláhovým poměrem či toxicitou prostředí. Příčinou chlorózy mohou však být i biotické příčiny jako například virová onemocnění (Wikipedia 2021a).

změnit charakter půdy, a to v případě, že je šedá voda používána pro zavlažování (Gross et al. 2015). Zavlažovaná půda může vzhledem k přenosu mikropolutantů ze šedé vody kontaminovat pěstované plodiny (Mackulák et al. 2016), proto se jako nepřijatelnější jeví využití šedé vody k zavlažování například v parcích (Hnátková, Šereš 2016).

Z výše uvedeného lze tedy jednoznačně usoudit, že nedostatečným odstraněním patogenních látek z šedé vody lze způsobit přímé ohrožení člověka, rostlin, živočichů a prostředí, ve kterém se přirozeně vyskytují.

3.3.2 Vybrané filtrační materiály používané pro čištění šedé vody

Zásadním kritériem, které určuje, jakou metodu a následně jaký filtrační materiál použijeme, je dosažení co nejvyšší čisté jednotkové výroby filtru, což znamená získání největšího množství filtrátu během jednoho filtračního cyklu. Čistou jednotkovou výrobu filtru vypočteme jako $L = L_f - L_p$, přičemž L_f označuje objem vody, která proteče jednotkovou plochou filtru od začátku filtrace, a L_p představuje objem spotřebované prací vody na jeden cyklus dělené plochou filtru. U výběru filtrační náplně je také možné se zaměřit na dosažení vysoké kalové kapacity (L_f) a na snížení požadavků na množství prací vody a tím snížení hodnoty L_p . Pro dosažení vysoké kalové kapacity je důležité správně zvolit velikost zrn filtrační náplně. Ve výběru filtračních materiálů záleží také na koeficientu stejnozrnnosti, který určuje, jak se použitá náplň bude vzdalovat od požadavku „od hrubého k jemnému“. Pokud je filtr prán prací rychlostí přesahující limitní hodnoty, nastává expanze vrstvy zrnitého materiálu. Částice se následně usadí podle jejich sedimentačních rychlostí, což není žádaný jev. Velké částice jsou místo nahoře dole a naopak, horní část filtrační náplně obsahuje převahu nejjemnější části této filtrační náplně. Dalšími proměnnými, které lze u filtračních materiálů sledovat, je tvarový koeficient, který má vliv na porozitu. Ta pak následně ovlivňuje velikost tlakové ztráty čisté filtrační náplně a společně s tvarem zrn také charakter proudění kolem zrn náplně a tím účinnost záchytu suspenze. Pokud se zaměříme na povrchové vlastnosti filtračních materiálů je lepší použít částice

s hrubším povrchem, protože lze s nimi dosáhnout lepší separační účinnosti (Novotná 2013).

Mechanická stálost a pevnost, chemická odolnost, stejnozrnnost, tvar zrn mezerovitost a měrná hmotnost jsou požadavky na filtrační náplň. Důležitou vlastností filtračních náplní je stejnozrnnost. Je-li náplň o nestejně velikosti zrn, pak při praní dojde k jejímu vytrídění (nejjemnější zrna jsou v horní vrstvě), což má vliv na kvalitu filtrace, při které roste tlaková ztráta horních vrstev, které jsou rychle zaneseny, zatímco spodní vrstvy nejsou využity (Komínková et al. 2014).

Vzhledem k charakteru bakalářské práce budou představeny vybrané druhy materiálů, a to konkrétně vodárenský písek, aktivní uhlí, biochare a filtralite, které v rámci technologií čištění šedých odpadních vod lze využít. U vybraných materiálů pak budou představeny některé experimenty věnující se zkoumání účinnosti filtračních materiálů pro čištění šedých vod, aby bylo možné provést porovnání s účinností filtračních materiálů zvolených pro vlastní experiment prezentovaný v další části této práce.

3.3.2.1 Vodárenský písek

Tento filtrační materiál je nejdostupnější, nejlevnější, a tedy i nejpoužívanější pro čištění odpadních vod. Písek se používá při filtraci mechanických nečistot, vysrážených vloček při čerání vody a srážení železa. Zrnitost písku je používána od velikosti zrn 0,4 mm (velmi jemný písek) až po 5,6 mm (štěrk). V České republice se nejvíce používají písky FPU 4/7, FPU 7/11 a FPU 11/6⁹ (Novotná 2013; Komínková et al. 2014).

Abudi (2017) se ve svých experimentech věnoval mimo jiné právě zrnitosti filtračního materiálu. Provedl tři sady experimentů během devíti měsíců (od dubna do prosince) na univerzitě Mustansiryah. Zjistil, že průměr zrn písku má velký vliv na odstranění zákalu. Při užití zrna 0,35 mm a pórovitosti 39 % dosahoval písek účinnost čištění 89 %, zatímco zrna o velikosti 0,75 mm a pórovitosti 43 % pouze 81 %. K dalším parametrům kromě odstranění zákalu, které Abudi zkoumal, patří pH, fosfáty (PO_4^{3-}), biochemická spotřeba kyslíku (BSK_5), chemická spotřeba kyslíku (CHSK),

⁹ Čísla ve zlomku dělená deseti udávají zrnitost v milimetrech.

celkový obsah rozpuštěných pevných látek (TDS), celkový obsah nerozpuštěných pevných látek (TSS) a koliformní bakterie.

El-Taweel et. Ali (2000) jako důležitý parametr pro svůj výzkum uvažoval mocnost filtračního materiálu. Ve svém experimentu pracoval s pískovými filtry o mocnosti 50, 60 a 75 cm. Zjistili, že všechny tři mocnosti vykazují velmi dobré výsledky ve snížení zákalu a obsahu organické hmoty, avšak nižší účinnosti při odstraňování zelených řas. Velmi dobrých výsledků dosahovaly všechny tři pískové filtry také při odstraňování koliformních bakterií.

Dalahmeh et al. (2012) zkoumal výkonnost čtyř různých filtračních materiálů – písek, aktivní uhlí, borová kůra a polyuretanová pěna při odstraňování BSK₅, povrchově aktivních látek, fosforu, dusíku a mikrobiálních indikátorů z šedé odpadní vody. Pro tento experiment byly využity kolony o průměru 20 cm, které byly naplněny daným filtračním materiálem o mocnosti 60 cm. Po dobu 75 dnů byly filtry proplachovány 0,33 litry pitné vody každý den. Následně pak dalších 113 dnů byla šedá voda o teplotě 25 °C dávkována v množství 0,7 litrů, 0,1 litr a 0,2 litry, a to vždy třikrát denně. Borová kůra a aktivní uhlí účinně snižovaly koncentrace organických látek (BSK₅), povrchově aktivních látek (MBAS), celkového fosforu a celkového počtu koliformních bakterií, zatímco písek a polyuretanová pěna vykazovaly menší účinnost. Z příložené tabulky 4 lze vyčíst účinnost snížení MBAS, tj. 96 %, průměrná redukce fosfátů pak činila 83 %. To vše za předpokladu, že doba zdržení šedé vody ve filtru s pískem je minimálně 4 hodiny. Při použití písku dosahuje účinnost odstranění dusíku hodnoty pouze 5 %, tedy nejméně ze všech uvedených filtračních materiálů. Přehled vybraných parametrů šedé vody před a po filtraci za použití vybraných filtračních materiálů ukazuje tabulka 4.

Parametr	Šedá voda (mg/l)	Filtreační materiály (účinnost odstranění %)			
		Písek	Aktivní uhlí	Borová kůra	Polyuretanová pěna
CHSK (%)	890 ± 130	72 ± 2	94 ± 2	74 ± 12	37 ± 9
BSK ₅ (%)	425 ± 56	75 ± 6	97 ± 3	98 ± 2	37 ± 13
Organický uhlík (%)	304	75 ± 2	97 ± 0	74 ± 4	46 ± 16
Celkový dusík (%)	75 ± 10	5 ± 7	98 ± 1	19 ± 9	13 ± 1
Celkový fosfor (%)	4,2 ± 0,2	78 ± 7	91 ± 8	97 ± 2	36 ± 34
pH	7,8 ± 0,3	7,7 ± 0,3	7,8 ± 0,4	6,1 ± 0,4	7,7 ± 0,2
Elektrická konduktivita (mS/cm)	2,0 ± 0,1	2,2 ± 0,1	1,7 ± 0,3	1,8 ± 0,4	2,1 ± 0,1
MBAS (%)	30 ± 10	96 ± 1	> 99 ± 0	> 99 ± 0	73 ± 9
Průměrná doba pobytu stopovače (NaCl) (h)		4 ± 0	16 ± 1	43 ± 4	<0,5 ± 0

Tab. 4: Přehled vybraných parametrů šedé vody před a po filtraci za použití vybraných filtračních materiálů (Dalahmeh et al. 2012)

3.3.2.2 Aktivní uhlí

Granulované aktivní uhlí je vyrobeno z vybraných druhů černého uhlí aktivací vodní parou. Kromě vlastního zachycení mechanických nečistot se u aktivního uhlí uplatňují sorpční vlastnosti povrchu, což znamená, že pomocí aktivního uhlí lze odstranit z vody těžké kovy, například rtuť, kadmium či olovo. Mimo jiné se pomocí něho odstraňují nežádoucí pachy a oxiduje rozpuštěný chlor. Při porovnání granulovaného a práškového uhlí lze zjistit, že s granulovaným uhlím lze dosáhnout lepší kvality vody při nižších provozních nákladech. Pokud porovnáme aktivní uhlí s předchozím filtračním materiálem, vodárenským pískem, zjistíme, že filtrací granulovaným aktivním uhlí lze zachytit nejen pevné částice, ale i rozpuštěné organické látky (Novotná 2013).

Jako výzkum, který popisuje aktivní uhlí jako filtrační materiál, lze uvést již zmiňovaný (viz kap. 3.2.3.1 Vodárenský písek) od autorů Dalahmeh et al. (2012), kteří

zkoumali účinnost čištění šedých vod za použití písku, borové kůry, polyuretanové pěny a aktivního uhlí. Když se podíváme na výše uvedenou tabulku a zaměříme se na jednotlivé výsledky, zjistíme, že aktivní uhlí dosahuje největší účinnosti odstranění celkového dusíku ze všech zvolených filtračních materiálů, a to 98 %. Celkově tento výzkum ukázal, že filtry, ve kterých byly použity borová kůra a aktivní uhlí, jsou nejvhodnějšími filtračními materiály pro zlepšení kvality šedé vody.

3.3.2.3 Biochare (biouhel)

Biochare neboli zuhelněná biomasa vznikla tepelnou přeměnou (při teplotě přibližně 700 °C). Jedná se o látku podobnou dřevěnému či aktivnímu uhlí, která je vyrobená ze zbytkové a odpadní biomasy. Její základní složkou je chemicky stabilní uhlík, který nepodléhá dalšímu rozkladu ani oxidaci. Mezi velké výhody ve využití tohoto materiálu patří v první řadě jeho vlastnosti. Jedná se o přírodní látku, která je v souladu s životním prostředím, a například při ukládání tohoto materiálu do půdy dochází ke zlepšování její kvality, jelikož uhlík váže živiny a další důležité látky (fosfor, dusík, draslík). Jako praktický příklad lze uvést například budování ochranných bariér na okrajích polí či vodních toků, zabráňujících vyplavování pesticidů do povrchových vod (Šťastný 2019).

Kaetzl et al. (2018) použili k filtraci kromě biocharu také smrkové dřevní štěpky a křemenný štěrk. Autoři využili kolony o průměru 5 cm, ve kterých se kromě spodní a svrchní vrstvy štěrku nacházely 3 vrstvy filtračního materiálu se snižující se frakcí (11/16 mm, 8/11 mm, 5/8 mm). Autoři pak vzorky odebírali vždy jednou týdně. Z výsledků experimentu je patrné, že biouhel byl vyhodnocen jako nejúčinnější v odstraňování celkového organického uhlíku. Biouhel také vykazoval největší účinnost odstranění zákalu. Vybrané parametry před a po filtraci šedé vody za použití vybraných filtračních materiálů ukazuje tabulka 5.

Parametr	Šedá voda	Odtok z filtru		
		Biouhel	Smrkové dřevní štěpky	Křemenný štěrk
CHSK (mg/l)	372 ± 120	48 ± 19	114 ± 29	102 ± 29
Celkový organický uhlík (mg/l)	137 ± 45	31 ± 9,1	50 ± 14	48 ± 14
Celkový dusík (mg/l)	70 ± 12,4	61 ± 10	64 ± 11	62 ± 11
Celkový fosfor (mg/l)	2,6 ± 0,5	2,3 ± 0,3	2,3 ± 0,3	2,2 ± 0,4
pH	7,8 ± 0,2	7,8 ± 0,3	7,8 ± 0,3	8,0 ± 0,2
Elektrická konduktivita (μS/cm)	1 178 ± 166	1 148 ± 154	1 177 ± 168	1 177 ± 171
Zákal (FNU)	260 ± 92	14 ± 8,2	20 ± 6,0	26 ± 15,9
<i>E. coli</i> (log10MPN/ml)	4,93 ± 0,39	3,96 ± 0,43	4,13 ± 0,35	4,15 ± 0,38
<i>Enterococci</i> (log10MPN/ml)	4,29 ± 0,28	3,28 ± 0,34	3,47 ± 0,32	3,47 ± 0,38

Tab. 5: Vybrané parametry kvality šedé vody před a po filtraci za použití vybraných filtračních materiálů (Kaetzel et al. 2018)

Thompson et al. (2020) zkoumali vlastnosti a vliv na čištění šedých vod u níže uvedených typů biouhlu, vyrobených vypalováním dané suroviny při určité teplotě a bez přístupu vzduchu (tzn. pyrolýzou):

- FD-TLUD Wood – pyrolýza měkkého a tvrdého dřeva při teplotě 850 °C
- Full-Scale Wood – pyrolýza dřevní štěpky při teplotě 400 až 1200 °C
- 800 C Furnance Wood – pyrolýza pelet z borovice při 800 °C po dobu 2 h
- 900 C Furnance Wood – pyrolýza pelet z borovice při 900 °C po dobu 2 h
- Bone – pyrolýza hovězích kostí při 700 °C po dobu 8 h

Každý typ biouhlu byl rozdrcen na 45 μm pro úpravu šedé vody šesti různých šarží, které byly získávány během jednoho roku. Pro zajištění reprezentativnosti šarží bylo odebráno 60 kontrolních vzorků šedé vody během 20 měsíců. Podle výsledků byl biouhel FD-TLUD Wood vyhodnocen jako typ s nejlepší účinností odstranění znečištění, především pak našel uplatnění při odstraňování organického uhlíku, kde bylo dosaženo odstranění přibližně 50 % (Thompson et al. 2020).

3.3.2.4 Filtralite

Tento materiál je novinkou v technologiích čištění odpadních vod a v tomto oboru se nepoužívá déle než deset let. Filtralite se vyrábí z jílu, který se vypaluje při teplotě 1 200 °C. Takto vyrobený materiál vyniká pórovitou strukturou a volitelnou hustotou ve velmi širokém rozmezí, díky čemuž vykazuje velmi dobré vlastnosti pro čištění odpadních vod. V závislosti na hustotě je možné použít materiál do různě koncipovaných jednovrstvých filtrů s nižšími nároky na prací rychlosti, než by bylo u filtrů pískových. Především se ale použití filtralitu projeví u dvouvrstvých filtrů. Zvláštním typem úpravy je použití dvou vzorků filtralitu pro sestavení dvouvrstvého filtru – tzv. MonoMulti filtr (Dolejš et al. 2010).

Moges et al. (2015) použili k čištění šedých vod biouhel a filtralite. Zajímavostí na tomto experimentu je fakt, že byla využita voda ze studentských kolejí, která byla odebírána vždy 1x za 14 dnů po dobu 6 měsíců. Byla využita kolona o průměru 14 cm, která byla naplněna filtračním materiálem o mocnosti 60 cm. Výzkum jasně ukázal, že použití těchto filtračních materiálů viditelně snižuje zákal filtrované vody a např. obsah dusíku či fosforu byl také značně redukován, jak ukazuje tabulka 6.

Parametr	Šedá voda	Filtrační materiály	
		Biouhel	Filtralite
CHSK (mg/l)	309,91 ± 38,88	10,99 ± 5,51	20,63 ± 5,79
Celkový dusík (mg/l)	17,76 ± 2,18	3,41 ± 0,92	6,38 ± 1,26
Celkový fosfor (mg/l)	1,50 ± 0,14	0,22 ± 0,03	0,15 ± 0,17
pH	6,95 ± 0,16	7,66 ± 0,13	7,46 ± 0,18
Elektrická konduktivita ([μS/cm])	276 ± 32,09	311 ± 43,76	279 ± 31,97
Zákal (FNU)	102,61 ± 55,43	0,87 ± 0,23	1,76 ± 2,67
E. coli [MPN/ml]	8,51 E + 05	1,46 E + 02	5,29 E + 01
Amoniakální dusík (mg/l)	7,61 ± 1,59	2,17 ± 0,72	2,91 ± 0,79

Tab. 6: Vybrané parametry kvality šedé vody před a po filtraci za použití vybraných filtračních materiálů (Moges et al. 2015)

3.3.3 Porovnání vybraných filtračních materiálů používaných pro čištění šedé vody

Lepší kvality filtrace lze dosáhnout volbou správného filtračního materiálu, resp. náplně (Dolejš et al. 2012). Mechanická stálost a pevnost, chemická odolnost, stejnozrnnost, tvar zrn, mezerovitost a měrná hmotnost jsou požadavky, podle kterých volit správně filtrační náplň. Vhodná volba různých materiálů je možností zkvalitnění provozu filtrů a také zlepšení kvality upravené vody (Komínková et al. 2014).

Mezi tradiční filtrační materiály patří písek či aktivní uhlí. Vodárenský písek je nejlevnějším, a tedy i nejdostupnějším filtračním materiálem používaným při čištění odpadních vod. Písek je používán pouze k zachycení mechanických nečistot, nevyniká sorpčními vlastnostmi jako například aktivní uhlí, pomocí kterého lze navíc odstranit z vody přítomné těžké kovy nebo zápach. Použitím aktivního uhlí lze také mimo jiné odstranit z vody rozpuštěné organické látky, což s pískem nelze (Novotná 2013).

Mezi netradiční filtrační materiály, které jsou pro čištění odpadních vod používány, je biochar (česky biouhel). Mezi velké výhody ve využití tohoto materiálu patří v první řadě jeho schopnost vázat živiny a zvyšovat tak kvalitu půdy (Šťastný 2019). V posledních letech se pro čištění nejen šedých odpadních vod využívá tzv. filtralite. Výhodou tohoto materiálu je, že umožňuje dosažení delších filtračních cyklů, zajišťuje lepší kvalitu filtrátu a dobrou stabilitu provozu. Zároveň filtralite vyžaduje o několik desítek procent nižší práci rychlosti než náplň filtru se stejnými zrnitostmi písku či aktivního uhlí (Dolejš et al. 2012).

4. Metodika

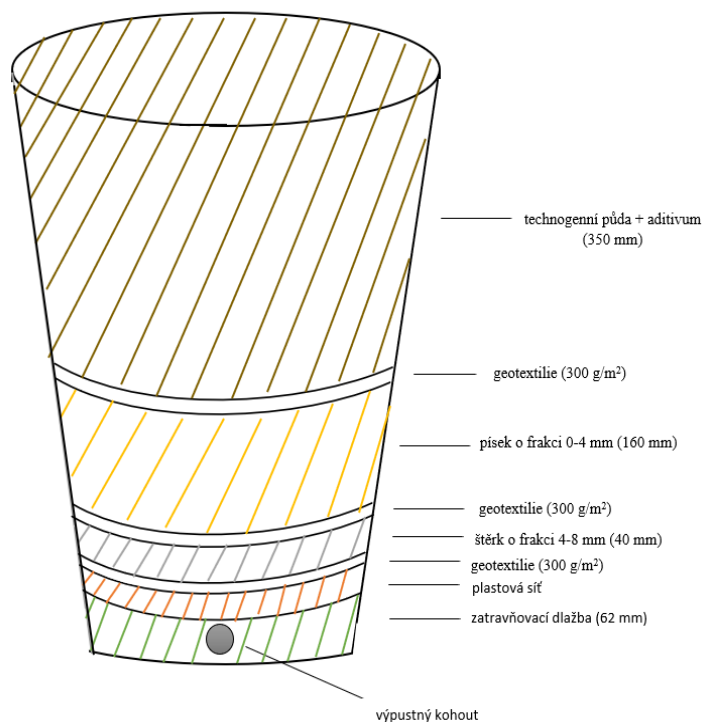
Tato část práce představuje vlastní postup experimentu, který lze rozdělit na více částí. V první části je popsána příprava fyzikálních modelů zasakovacích pásů včetně filtračních materiálů. Další důležitou částí je výroba syntetické šedé vody, po které následuje asi nejdůležitější a také po fyzické stránce nejnáročnější část vlastního experimentu – práce na experimentální ploše. Další klíčovou částí práce je chemická analýza odebraných vzorků a na závěr nelze opomenout statistické vyhodnocení dat.

Před zaměřením se na jednotlivé, výše uvedené části je třeba také uvést místo a čas realizace tohoto experimentu. Experimentální práce probíhaly v areálu ČZU v Praze od 28.06.2021 do 09.11.2021 a lze je rozdělit na vnitřní (v laboratoři) a vnější (na experimentální ploše) aktivity. Důležité je také zmínit téměř dvoutýdenní pauzu (13.08.2021 – 24.08.2021), během které mělo dojít k obnovení a regeneraci vegetace ve svrchních vrstvách fyzikálních modelů.

4.1 Fyzikální modely zasakovacího pásu

K vytvoření fyzikálních modelů byly použity bílé plastové barely o objemu 75 l a o těchto rozměrech: výška 62 cm, spodní průměr 32 cm a vrchní průměr 42 cm. Vnější stěny těchto barelů byly obaleny černou fólií, která zamezuje průniku světla a zabraňuje nadměrnému růstu řas, a tak i nadměrné produkci kyslíku na straně jedné a na straně druhé kolmataci filtru v důsledku nadměrného rozvoje řas. To by mohlo mít za následky například zkreslení výsledků. Výsledky by mohly být zkreslené také v souvislosti s tvorbou preferenčních cest proudění šedé vody po obvodových stěnách barelů. Abychom těmto nežádoucím účinkům předešli, pokryli jsme vnitřní obvodové plochy barelů geotextilií 300 g/m², která byla použita také k zabránění míchání jednotlivých filtračních materiálů mezi sebou. Pro odběry vzorků přefiltrované šedé vody sloužily dobře utěsněné výpustní kohouty, které byly nainstalovány ve spodních částech barelů. Aby bylo možné jednotlivé barely pohodlně vypouštět například do 20 litrových kýblů, bylo třeba barely posadit na vyvýšené místo, k čemuž dobře posloužily na sobě položené dřevěné palety.

Vnitřní skladbu barelů znázorňuje obrázek 3. Na dna barelů byla umístěna zatravnovací dlažba, dále plastová síť, následovala vrstva štěrku (frakce 4–8 mm), poté vrstva písku (frakce 0–4 mm) a na závěr vrstva technogenní půdy (písek, kompost, ornice) s příčným aditivem.



Obr. 3: Fyzikální model zasakovacího pásu

Pro tento experiment byly použity celkem 4 skladby filtračního lože (default, biochar, štěpka a antuka), přičemž každou skupinu tvořilo celkem 5 barelů, a to z důvodu zajištění statisticky vypovídajících hodnot.

Struktury všech filtračních loží byly postaveny na defaultní skladbě (písek, kompost, ornice), ke které bylo vždy přidáno dané aditivum. Konkrétní objemové poměry testovaných filtračních materiálů jsou uvedené v tabulce 7.

Testovaný filtrační materiál	Objemový poměr (P : K : O : A)
Defaultní skladba (bez aditiva)	5 : 3 : 2 : 0
Biochare 10% surový	5 : 2 : 2 : 1
Štěpka	5 : 2 : 2 : 1
Antuka	4 : 3 : 2 : 1
Vysvětlivky	$P : K : O : A$ půda : kompost : ornice : aditivum

Tab. 7: Objemové poměry testovaných filtračních materiálů

4.2 Výroba syntetické šedé vody

Šedá voda byla pro tento experiment vyráběna uměle, a to smícháním nejčastěji používaných přípravků osobní hygieny, pracích přípravků, kovů a farmaceutik. Složení šedé vody ukazuje tabulka 8. Jednotlivé složky šedé vody byly nejdříve v laboratoři naváženy, resp. naředěny do plastových nádob a následně na experimentální ploše smíchány s kohoutkovou vodou v IBC kontejneru o celkovém objemu 1000 l. Tento kontejner bylo vždy potřeba předem pečlivě propláchnout čistou kohoutkovou vodou, aby byla co nejvíce eliminována nechtěná kontaminace šedé vody. Potřebné promíchávání šedé vody a lepší rozpouštění připravených kontaminantů po celou dobu experimentu zajišťovalo vodní čerpadlo uložené v IBC kontejneru.

Kontaminační látka	Množství kontaminační látky na 1000 l vody [g]	Poznámka
Šampón	72	Head & Shoulders
Mýdlo	648	Dove
Tělové mléko	10	Nivea
Zubní pasta	32,5	Colgate
Deodorant	10	Nivea
Prací prostředek	150	Ariel
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,786	síran měďnatý – pentahydrát (modrá skalice)
H_3BO_3	5,722	kyselina boritá
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,880	síran zinečnatý – heptahydrát (bílá skalice)
$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0,895	síran nikelnatý – hexahydrát
Farmaceutika	0,0247	organická sloučenina benzotriazol

Tab. 8: Složení syntetické šedé vody

4.3 Práce na experimentální ploše

Práce na experimentální ploše spočívala v prolévání čtyř skupin fyzikálních modelů s různými filtračními materiály umělou šedou vodou a v odebrání vzorků vody na odtoku z fyzikálních modelů (obr. 4).



Obr. 4: Odebírání vzorků u jednotlivých skupin filtračních materiálů

U každé skupiny se testovaly 2 různé saturace filtračního materiálu vodou, a to 30% a 70% saturace, kdy každou filtrační skupinu tvořilo pět barelů, které byly ze začátku experimentu plněny šedou vodou (rozmíchanou v IBC kontejneru) zahradními konvicemi (ručně), později však tuto manuální práci nahradil zavlažovací systém (obr. 5), čímž jednoznačně došlo k zefektivnění celého procesu aplikace šedé vody přímo z IBC kontejneru do jednotlivých skupin filtračních materiálů a určitě také ke snížení rizika kontaminace právě odebíraných vzorků v době aplikace šedé vody. U ručního plnění (zahradními konvicemi) bylo riziko kontaminace rozhodně vyšší.



Obr. 5: Zavlažovací systém zajišťující aplikaci šedé vody z IBC kontejneru do zasakovacích pásů

Před první aplikací šedé vody do jednotlivých skupin filtračních nádob bylo třeba tyto nádoby nejprve vypustit, propláchnout kohoutkovou vodou a odebrat vzorky, aby byly zajištěny takzvané „startovací hodnoty“.

Barely byly plněny šedou vodou každý pracovní den a následující den byly vypuštěny. Vzorky pro analýzu byly odebírány vždy za celou skupinu filtračního materiálu s danou saturací, jako směsný vzorek. K odebírání vzorků docházelo vždy v pondělí a ve čtvrtek. V odběrových dnech se také odebíral vzorek syntetické šedé vody přímo z IBC kontejneru. Při odebírání vzorků bylo velmi důležité dbát na řádné vymývání odběrových nádob, aby nedocházelo ke kontaminaci vzorků mezi jednotlivými skupinami. Odebrané vzorky vždy ve čtvrtek pocházely z aplikované šedé vody před 22 hodinami. Oproti tomu u vzorků odebíraných vždy v pondělí se jednalo o vzorky přefiltrované šedé vody aplikované vždy v pátek minulého týdne, tedy před 72 hodinami. Vzorkovací schéma postihovalo možné využití zasakovacího pásu s přestávkou během víkendu.

Po odebrání vzorků ze všech filtračních skupin a po následné aplikaci šedé vody byla vždy experimentální plocha řádně uklizena, kontejnery na šedou i odpadní vodu propláchnuty, aby se následující den mohlo v experimentu pokračovat bez jakéhokoliv zdržování a aby tak byly zachovány pravidelné časové intervaly jednotlivých kroků.

4.4 Analýza odebraných vzorků

Po úspěšném dokončení prací na experimentální ploše byly všechny odebrané vzorky analyzovány v laboratoři a účinnost čištění byla následně stanovena na základě sledování fyzikálně-chemických ukazatelů kvality vody.

Konduktivita (vodivost) vody byla stanovena přístrojem InoLab Cond 7110, hodnoty pH byly zjišťovány zařízením InoLab pH 7110, turbidita se měřila na mikroprocesorovém měřiči zákalu značky HANNA Instruments typ HI 93703 (obr. 6). Pro analýzu vzorků na těchto zařízeních se používal vždy nepřefiltrovaný testovaný materiál.



Obr. 6: Mikroprocesorový měřič zákalu HI 93703

Následná filtrace vzorků přes membránový PES filtr o velikosti pórů 0,22 μm byla nezbytná pro zkoumání základních aniontů (Cl^- , F^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}) na přístroji Metrohm 883 Basic IC Plus (Metrohm AG, CH), jednotlivé formy uhlíku (IC, TC, TOC) a celkového dusíku (TN) se měřily na analyzátoru SKALAR Formacs^{HT} TOC/TN (Skalar Analytical B.V., NL), amonné ionty (NH_4^+) byly stanoveny na spektrofotometru Agilent Technologies Cary 60 UV-Vis (Agilent Technologies Inc., USA) a tenzidy na základě kyvetového testu LCK332 prostřednictvím spektrometru HACH LANGE DR 3900 (obr. 7 a 8).



Obr. 7: Kyvetový test LCK332



Obr. 8: Spektrometr HACH LANGE DR 3900

4.5 Statistické metody vyhodnocení dat

Vyhodnocení dat probíhalo za využití základních funkcí a procesů softwaru Microsoft Office, konkrétně v Microsoft Excel, kde byla klíčová příprava porovnávaných dat pro jejich další analýzu ve statistickém programu RStudio (verze 2021.09.1+372).

V softwaru RStudio se ze schránky zobrazila připravená porovnávaná data, u kterých se nejdříve musela zvolit správná metoda testu. Důležitým parametrem zde byla hodnota P (p-value), stanovená na základě Shapiro-Wilkova testu normality. Zde platí podmínka, že hodnota P musí být menší než 0,05 a jedná se tak o alternativní hypotézu (H1). Pokud měly reziduály dat normální rozdělení, byly splněny předpoklady pro parametrický test ANOVA. Statistické signifikantní rozdíly mezi skupinami poté vyhodnotil Tukey HSD test. Jestliže reziduály dat normální rozdělení neměly, byl použit Kruskal-Wallisův test s Dunnovým testem. Po správně zvolené metodě testu byl vytvořen konečný graf (boxplot) s popisky.

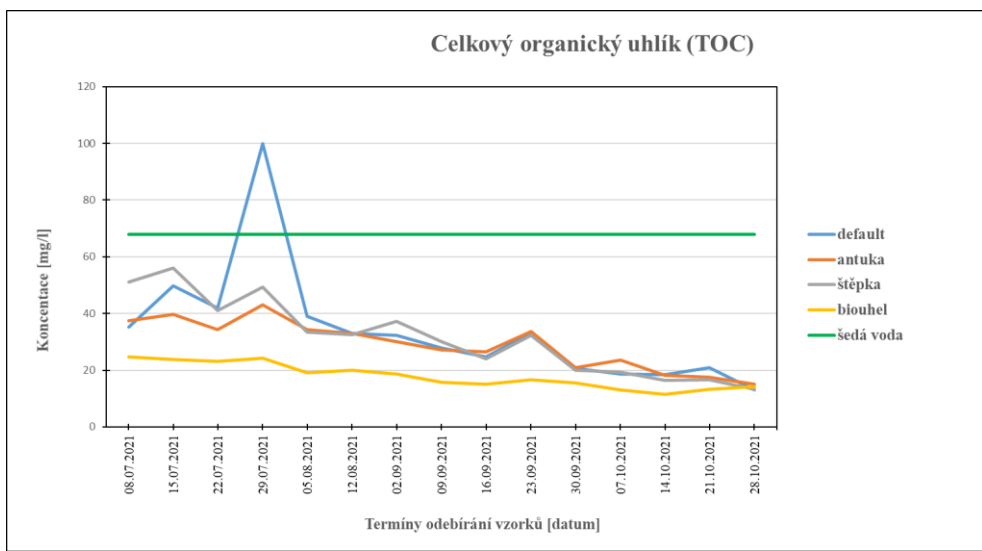
5. Výsledky

V jednotlivých podkapitolách je prezentována účinnost zvolených filtračních materiálů při odstraňování celkového organického uhlíku, celkového uhlíku, celkového dusíku, dusičnanů, amoniakálního dusíku, tenzidů, bóru, mědi, niklu, zinku a farmaceutika benzotriazolu. Pro každý parametr byla stanovena účinnost jeho odstranění ze vzorků odebraných vždy 22 hodin a 72 hodin po aplikaci šedé vody do daného typu zasakovacího pásu o 70% a 30% saturaci filtračního materiálu vodou.

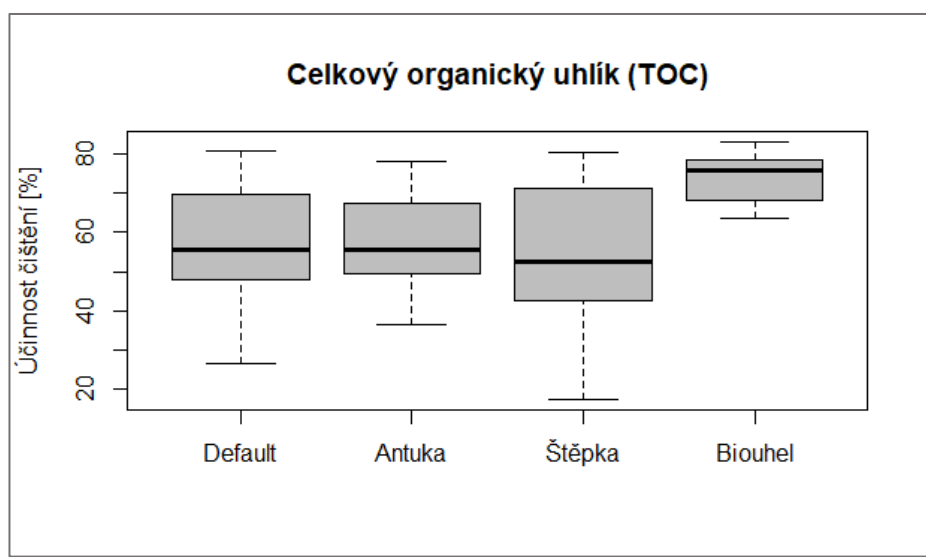
5.1 Celkový organický uhlík (TOC)

Na základě analýzy vzorků odebíraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtru vodou lze konstatovat, že průběh koncentrace celkového organického uhlíku byl téměř po celou dobu experimentu u všech filtračních skupin klesajícího charakteru. Oproti aplikované šedé vodě, u které dosahovala koncentrace celkového organického uhlíku v průměru 67,86 mg/l, vykazovaly všechny typy zasakovacích pásů během celého experimentu (vyjma měření ze dne 29.7.2021 u defaultní skladby) na výpusti filtru nižší hodnoty koncentrace celkového organického uhlíku, což znázorňuje graf 1.

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování celkového organického uhlíku dle analýzy vzorků odebíraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 2 a tabulka 9. Signifikantně vyšší účinnost čištění zde oproti ostatním filtračním materiálům vykazoval biouhel s účinností čištění v průměru 73,58 %. Defaultní skladba vykazovala účinnost při odstraňování TOC v průměru 56,95 %, antuka 57,32 % a štěpka 53,56 %.



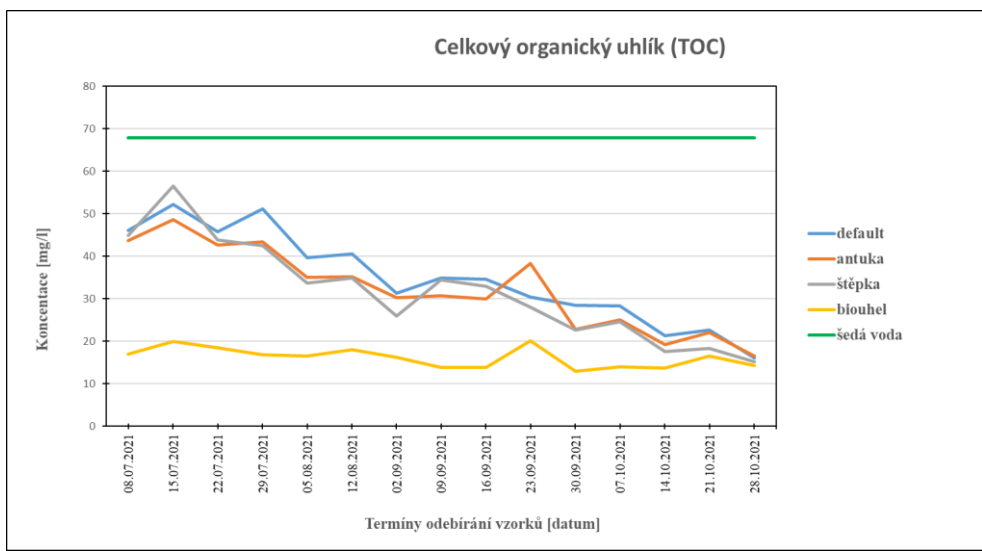
Graf 1: Průběh koncentrace celkového organického uhlíku – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



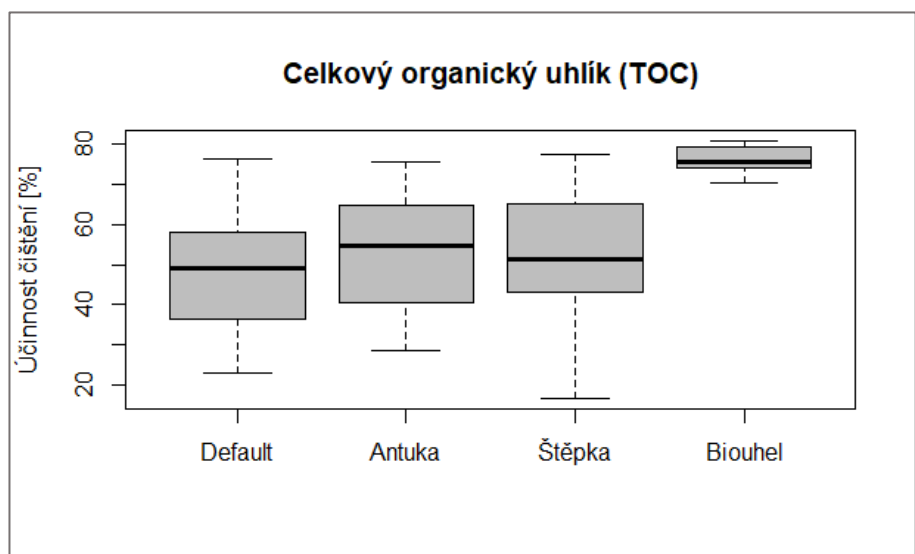
Graf 2: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci celkového organického uhlíku – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou

Na základě analýzy vzorků odebíraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtru vodou lze konstatovat, že průběh koncentrace celkového organického uhlíku byl opět téměř po celou dobu experimentu u všech filtračních skupin klesajícího charakteru. Oproti aplikované šedé vodě, u které dosahovala koncentrace celkového organického uhlíku v průměru 67,86 mg/l, vykazovaly všechny typy zasakovacích pásů během celého experimentu na výpusti filtru nižší hodnoty koncentrace celkového organického uhlíku, což znázorňuje graf 3.

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování celkového organického uhlíku dle analýzy vzorků odebíraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 4 a tabulka 9. Signifikantně vyšší účinnost čištění zde oproti ostatním filtračním materiálům vykazoval opět biouhel s účinností čištění v průměru 76,18 %. Defaultní skladba vykazovala účinnost při odstraňování TOC v průměru 48,59 %, antuka 52,49 % a štěpka 53,22 %.



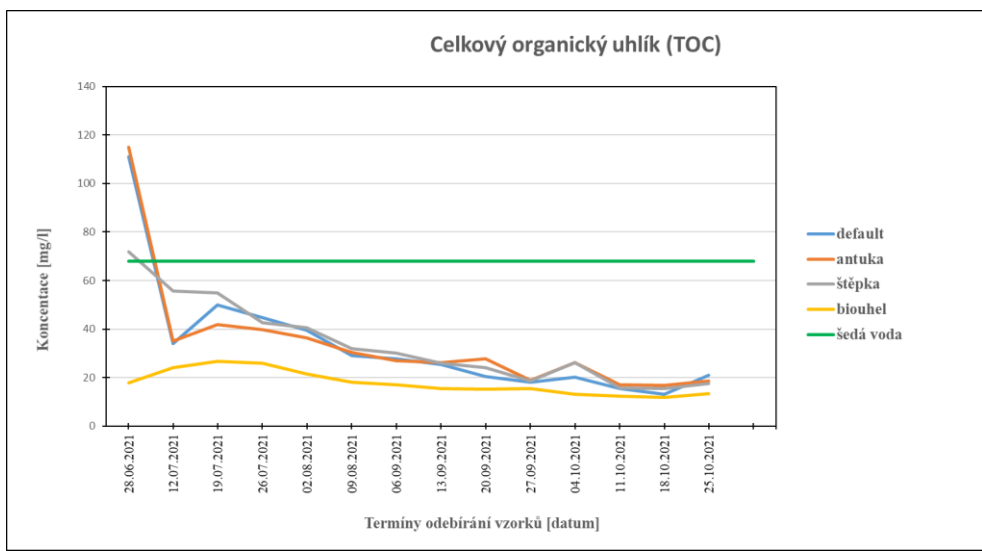
Graf 3: Průběh koncentrace celkového organického uhlíku – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou



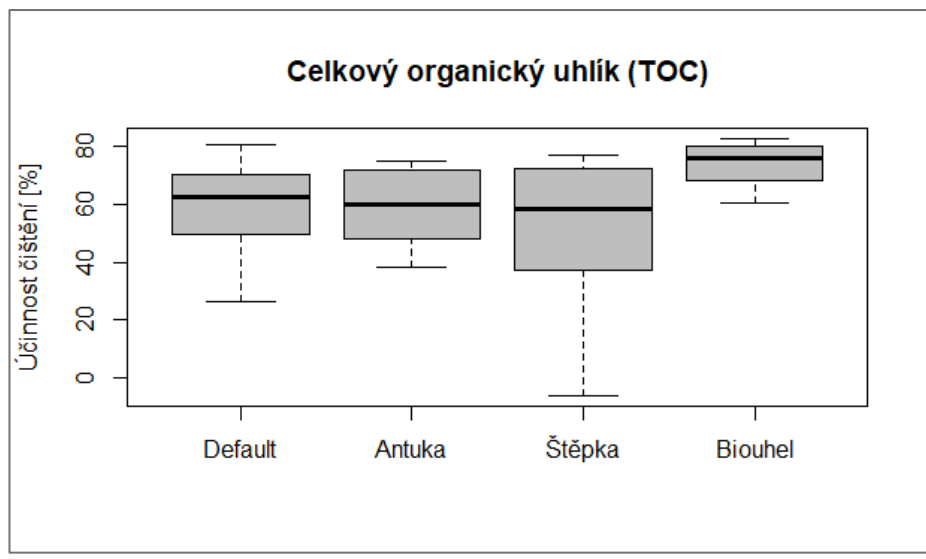
Graf 4: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci celkového organického uhlíku – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou

Na základě analýzy vzorků odebíraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtru vodou lze konstatovat, že průběh koncentrace celkového organického uhlíku byl po téměř celou dobu experimentu u všech filtračních skupin klesajícího charakteru. Oproti aplikované šedé vodě, u které dosahovala koncentrace celkového organického uhlíku v průměru 67,86 mg/l, vykazovaly všechny typy zasakovacích pásů během téměř celého experimentu (vyjma prvního dne u defaultní skladby, antuky a štěpky) na výpusti filtru nižší hodnoty koncentrace celkového organického uhlíku, což znázorňuje graf 5.

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování celkového organického uhlíku dle analýzy vzorků odebíraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 6 a tabulka 9. Signifikantně vyšší účinnost čištění zde oproti ostatním filtračním materiálům vykazoval opět biouhel s účinností čištění v průměru 73,83 %. Defaultní skladba vykazovala účinnost při odstraňování TOC v průměru 59,30 %, antuka 58,89 % a štěpka 50,33 %.



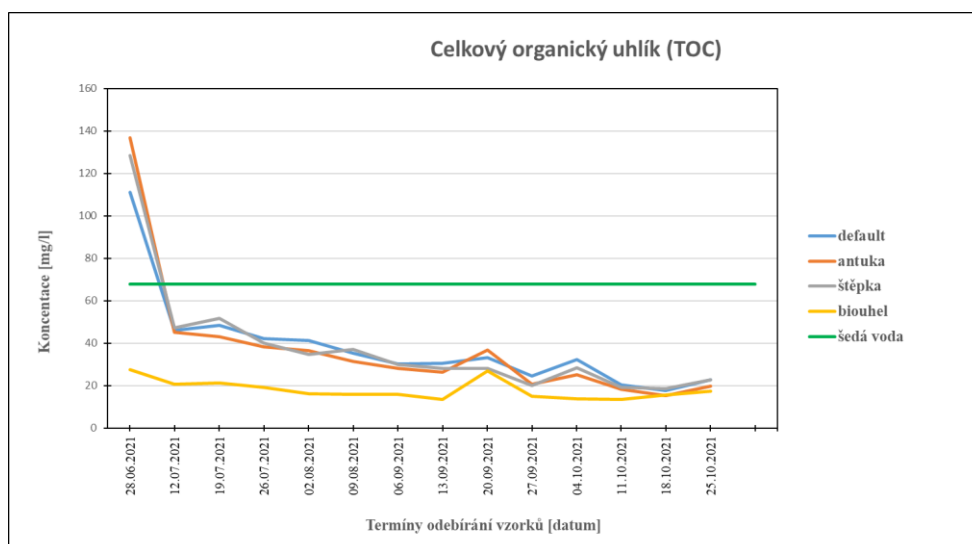
Graf 5: Průběh koncentrace celkového organického uhlíku – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



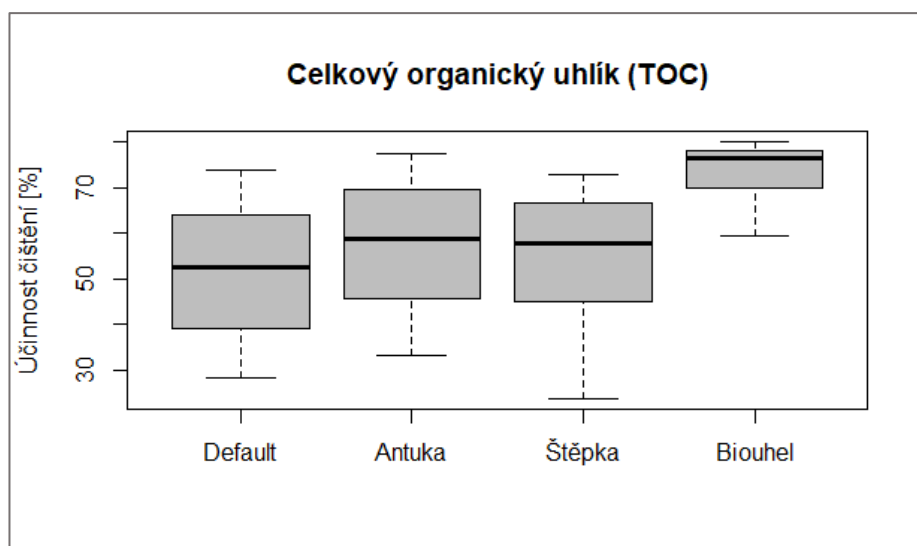
Graf 6: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci celkového organického uhlíku – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou

Na základě analýzy vzorků odebíraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtru vodou lze konstatovat, že průběh koncentrace celkového organického uhlíku byl po téměř celou dobu experimentu u všech filtračních skupin klesajícího charakteru. Oproti aplikované šedé vodě, u které dosahovala koncentrace celkového organického uhlíku v průměru 67,86 mg/l, vykazovaly všechny typy zasakovacích pásů během téměř celého experimentu (vyjma prvního dne u defaultní skladby, antuky a štěpky) na výpusti filtru nižší hodnoty koncentrace celkového organického uhlíku, což znázorňuje graf 7.

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování celkového organického uhlíku dle analýzy vzorků odebíraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 8 a tabulka 9. Signifikantně vyšší účinnost čištění zde oproti ostatním filtračním materiálům vykazoval opět biouhel s účinností čištění v průměru 73,39 %. Defaultní skladba vykazovala účinnost při odstraňování TOC v průměru 51,79 %, antuka 56,32 % a štěpka 53,89 %.



Graf 7: Průběh koncentrace celkového organického uhlíku – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 8: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci celkového organického uhlíku – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou

Účinnost čištění jednotlivých filtračních materiálů					
	filtrační materiál	průměr [%]	min. [%]	max. [%]	směr. odchylka [%]
A)	default	56.95	26.64	80.80	15.34
	antuka	57.32	36.61	77.92	12.60
	štěpka	53.56	17.53	80.49	19.86
	biouhel	73.58	63.73	82.95	6.52
B)	default	48.59	23.00	76.37	16.10
	antuka	52.49	28.36	75.53	14.50
	štěpka	53.22	16.65	77.51	17.20
	biouhel	76.18	70.37	80.89	3.40
C)	default	59.30	26.52	80.49	16.84
	antuka	58.89	38.40	75.05	12.59
	štěpka	50.33	-5.93	77.26	25.47
	biouhel	73.83	60.49	82.65	7.36
D)	default	51.79	28.49	73.87	14.42
	antuka	56.32	33.28	77.29	14.45
	štěpka	53.89	23.92	72.73	15.47
	biouhel	73.39	59.49	79.94	6.77

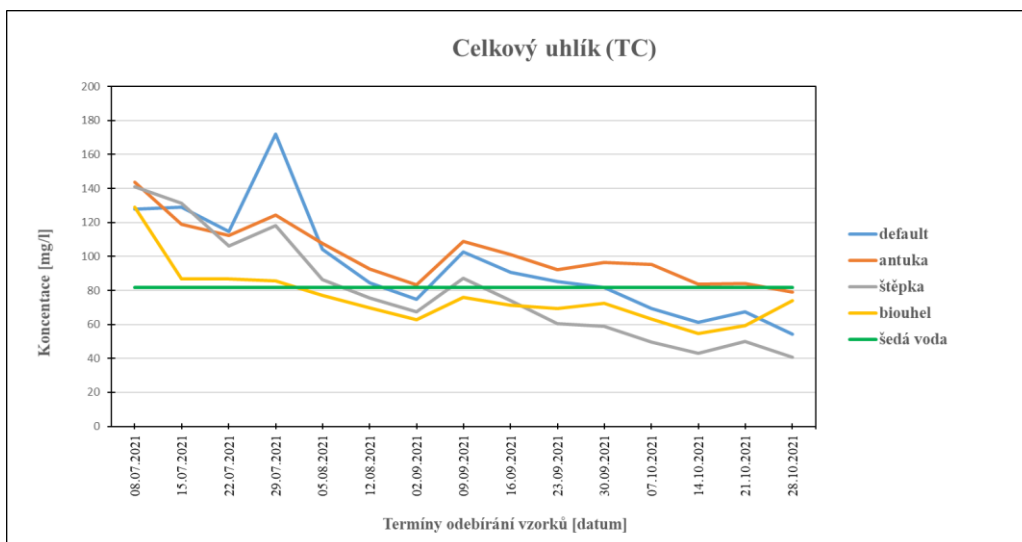
A) odběry vzorků po 22 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 B) odběry vzorků po 22 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,
 C) odběry vzorků po 72 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 D) odběry vzorků po 72 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,

Tab. 9: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci celkového organického uhlíku

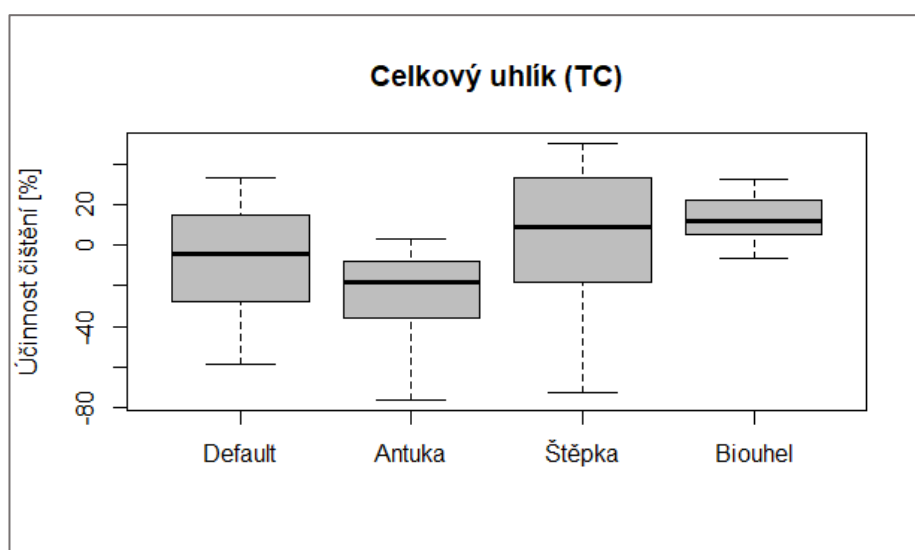
5.2 Celkový uhlík (TC)

Na základě analýzy vzorků odebíraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtru vodou lze konstatovat, že průběh koncentrace celkového uhlíku byl téměř po celou dobu experimentu u všech filtračních skupin klesajícího charakteru. V aplikované šedé vodě dosahovaly hodnoty koncentrace celkového uhlíku v průměru 81,56 mg/l, oproti tomu všechny typy zasakovacích pásů na začátku experimentu vykazovaly na výpusti filtru vyšší hodnoty koncentrace celkového uhlíku, avšak na konci experimentu se hodnoty koncentrace celkového uhlíku dostaly pod průměrnou hodnotu koncentrace TC v aplikované šedé vodě, což znázorňuje graf 9.

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování celkového uhlíku dle analýzy vzorků odebíraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 10 a tabulka 10. V případech, kde byla vykázána průměrná účinnost čištění v záporných hodnotách se jedná o tzv. znečištění aplikované šedé vody daným typem filtru a tyto hodnoty lze prezentovat jako míru znečištění. Signifikantní rozdíly zde vykazovala antuka s průměrnou mírou znečištění 24,55 % vůči biouhlu o průměrné účinnosti čištění 11,61 % a vůči štěpce o průměrné účinnosti čištění 2,76 %. Defaultní skladba vykazovala míru znečištění TC v průměru 9,31 %.



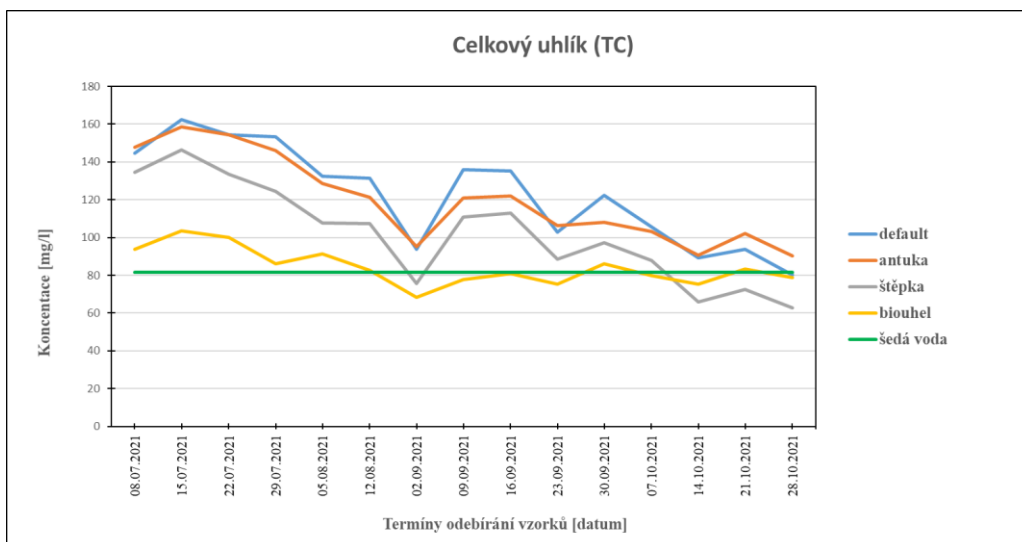
Graf 9: Průběh koncentrace celkového uhlíku – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



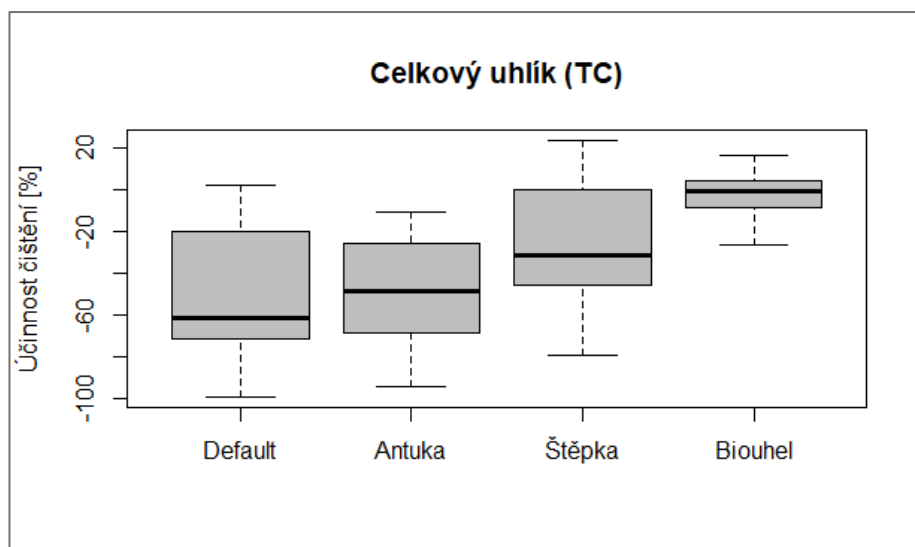
Graf 10: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci celkového uhlíku – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou

Na základě analýzy vzorků odebíraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtru vodou lze konstatovat, že průběh koncentrace celkového uhlíku byl sice téměř po celou dobu experimentu u všech filtračních skupin klesajícího charakteru, avšak v porovnání s průměrnou hodnotou koncentrace celkového uhlíku v aplikované šedé vodě (81,56 mg/l) vykazovaly všechny typy zasakovacích pásů na výpusti filtru vyšší hodnoty koncentrace celkového uhlíku, a to po téměř celou dobu experimentu, což znázorňuje graf 11.

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování celkového uhlíku, resp. míru znečištění šedé vody daným typem filtru dle analýzy vzorků odebíraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 12 a tabulka 10. Signifikantní rozdíly zde vykazoval biouhel s průměrnou mírou znečištění 3,17 % vůči defaultní skladbě o průměrné míře znečištění 50,24 % a vůči antuce o průměrné míře znečištění 46,77 %. Štěpka znečišťovala v průměru 24,95 %.



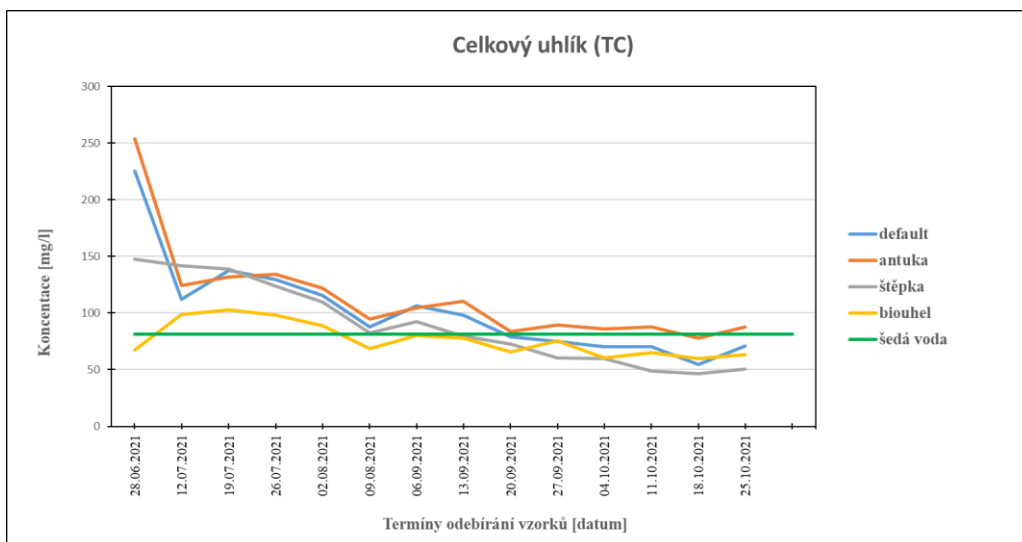
Graf 11: Průběh koncentrace celkového uhlíku – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou



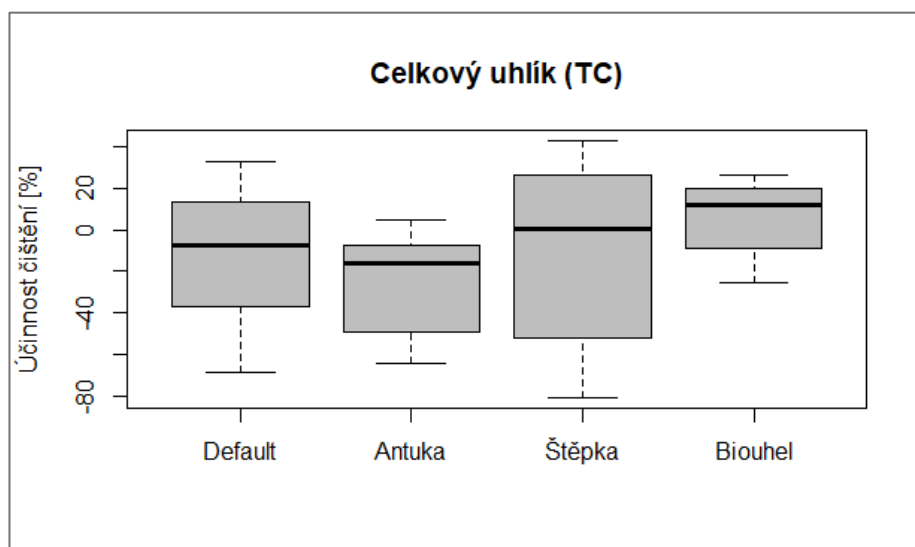
Graf 12: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci celkového uhlíku – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou

Na základě analýzy vzorků odebíraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtru vodou lze konstatovat, že průběh koncentrace celkového uhlíku byl téměř po celou dobu experimentu u všech filtračních skupin klesajícího charakteru. V aplikované šedé vodě dosahovaly hodnoty koncentrace celkového uhlíku v průměru 81,56 mg/l, oproti tomu všechny typy zasakovacích pásů na začátku experimentu vykazovaly na výpusti filtru vyšší hodnoty koncentrace celkového uhlíku (vyjma biouhlu v první den), avšak na konci experimentu se hodnoty koncentrace celkového uhlíku dostaly pod průměrnou hodnotu koncentrace TC v aplikované šedé vodě (vyjma antuky v poslední den), což znázorňuje graf 13.

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování celkového uhlíku, resp. míru znečištění šedé vody daným typem filtru dle analýzy vzorků odebíraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 14 a tabulka 10. Signifikantní rozdíly zde vykazoval pouze biouhel s průměrnou účinností čištění 4,72 % vůči antuce o průměrné míře znečištění 25,79 %. Defaultní skladba vykazovala míru znečištění TC v průměru 13,91 % a štěpka v průměru 10,04 %.



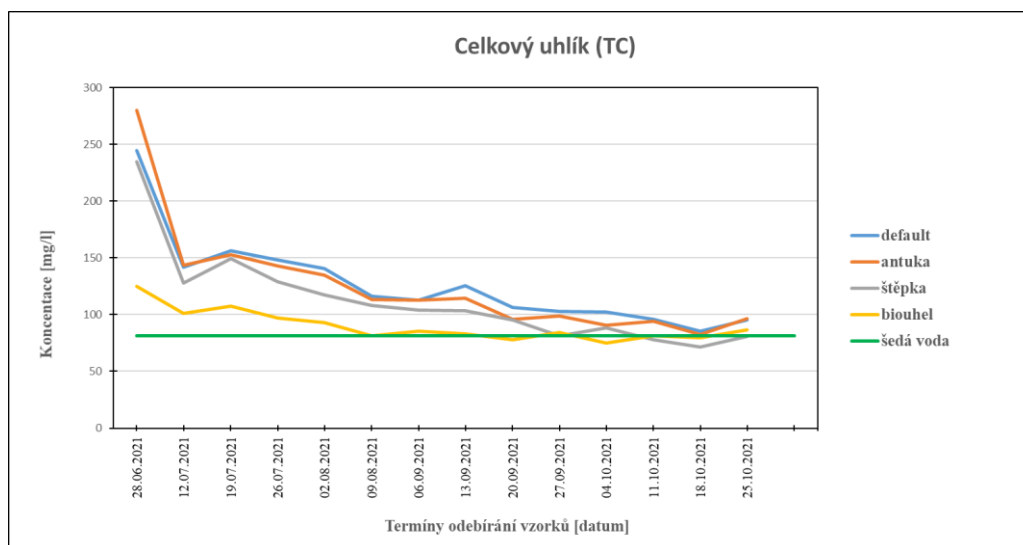
Graf 13: Průběh koncentrace celkového uhlíku – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



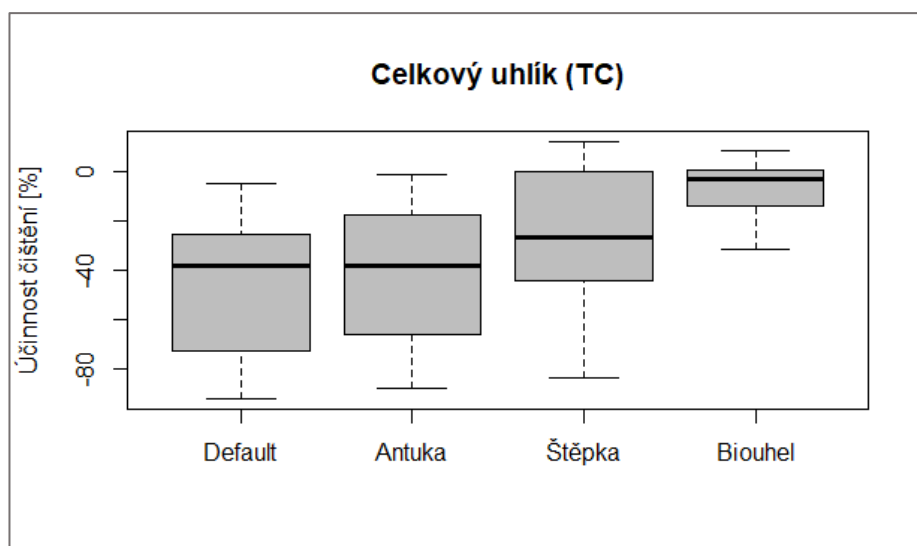
Graf 14: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci celkového uhlíku – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou

Na základě analýzy vzorků odebíraných odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtru vodou lze konstatovat, že průběh koncentrace celkového uhlíku byl sice téměř po celou dobu experimentu u všech filtračních skupin klesajícího charakteru, avšak v porovnání s průměrnou hodnotou koncentrace celkového uhlíku v aplikované šedé vodě (81,56 mg/l) vykazovaly všechny typy zasakovacích pásů na výpusti filtru vyšší hodnoty koncentrace celkového uhlíku, a to po téměř celou dobu experimentu, což znázorňuje graf 15.

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování celkového uhlíku, resp. míru znečištění šedé vody daným typem filtru dle analýzy vzorků odebíraných odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 16 a tabulka 10. Signifikantně rozdílný se zde jevil biouhel s průměrnou mírou znečištění 6,74 % vůči defaultní skladbě o průměrné míře znečištění 44,20 % a vůči antuce s mírou znečištění v průměru 38,86 %. Filtr se štěpkou znečišťoval aplikovanou šedou vodu v průměru 25,83 %.



Graf 15: Průběh koncentrace celkového uhlíku – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 16: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci celkového uhlíku – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou

Účinnost čištění jednotlivých filtračních materiálů					
	filtrační materiál	průměr [%]	min. [%]	max. [%]	směr. odchylka [%]
A)	default	-9.31	-58.32	33.54	29.06
	antuka	-24.55	-76.14	3.10	22.01
	štěpka	2.76	-72.85	50.14	39.24
	biouhel	11.61	-6.49	32.81	12.31
B)	default	-50.24	-99.24	1.77	32.43
	antuka	-46.77	-94.45	-10.63	28.32
	štěpka	-24.95	-79.70	23.25	32.12
	biouhel	-3.17	-26.76	16.03	11.76
C)	default	-13.91	-68.76	32.67	31.48
	antuka	-25.79	-64.30	4.86	24.27
	štěpka	-10.04	-80.72	42.79	44.65
	biouhel	4.72	-25.87	26.26	18.40
D)	default	-44.20	-91.62	-4.61	27.85
	antuka	-38.86	-87.59	-1.06	28.55
	štěpka	-25.83	-83.21	12.15	28.60
	biouhel	-6.74	-31.46	8.30	12.46

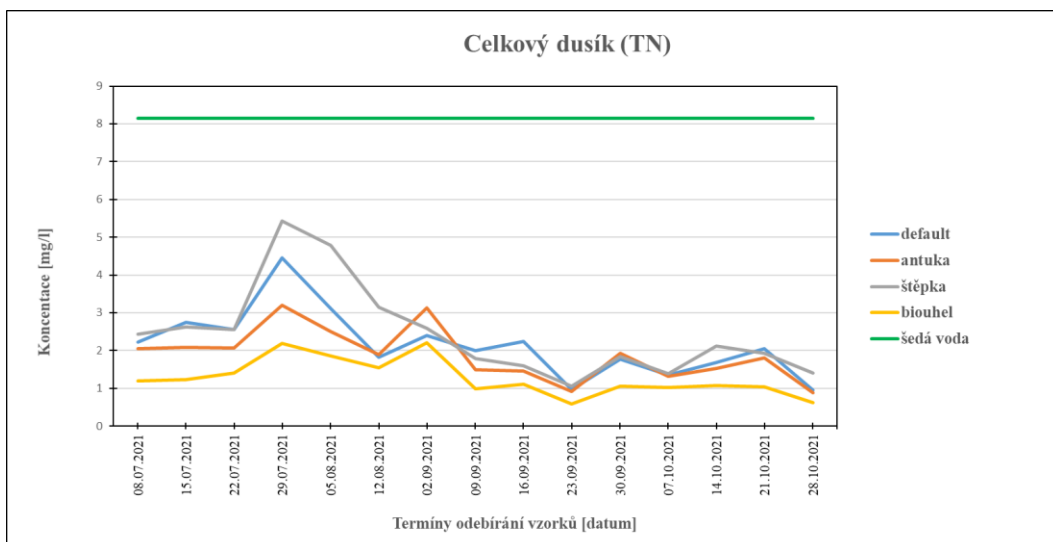
A) odběry vzorků po 22 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 B) odběry vzorků po 22 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,
 C) odběry vzorků po 72 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 D) odběry vzorků po 72 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,

Tab. 10: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci celkového uhlíku

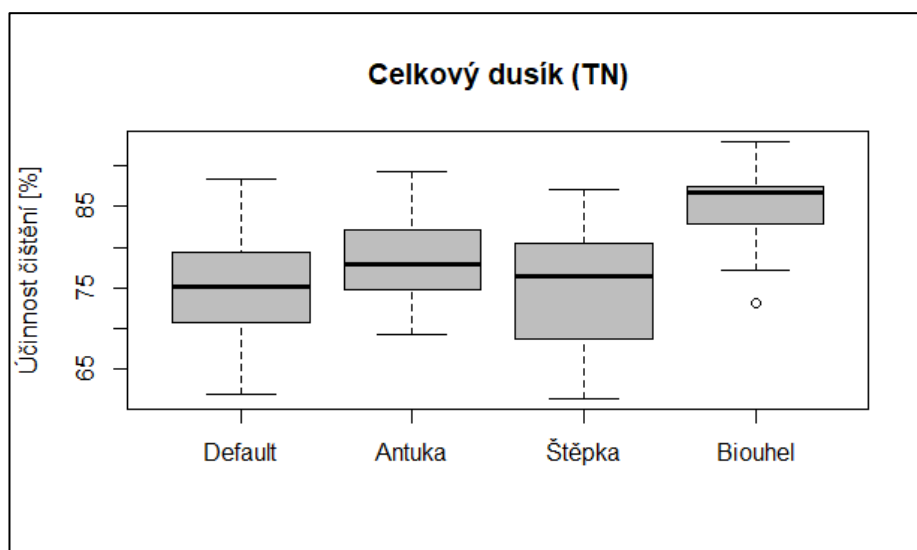
5.3 Celkový dusík (TN)

Na základě analýzy vzorků odebíraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtru vodou lze konstatovat, že oproti aplikované šedé vodě, u které dosahovala koncentrace celkového dusíku v průměru 8,16 mg/l, vykazovaly všechny typy zasakovacích pásů během celého experimentu na výpusti filtru nižší hodnoty koncentrace celkového dusíku, což znázorňuje graf 17.

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování celkového dusíku dle analýzy vzorků odebíraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 18 a tabulka 11. Signifikantní rozdíly v účinnosti čištění zde vykazoval biouhel s průměrnou účinností čištění 85,23 % vůči defaultní skladbě o průměrné účinnosti čištění 75,62 % a vůči štěpce o průměrné účinnosti čištění 75,04 %. Antuka vykazovala účinnost při odstraňování TN v průměru 79,31%.



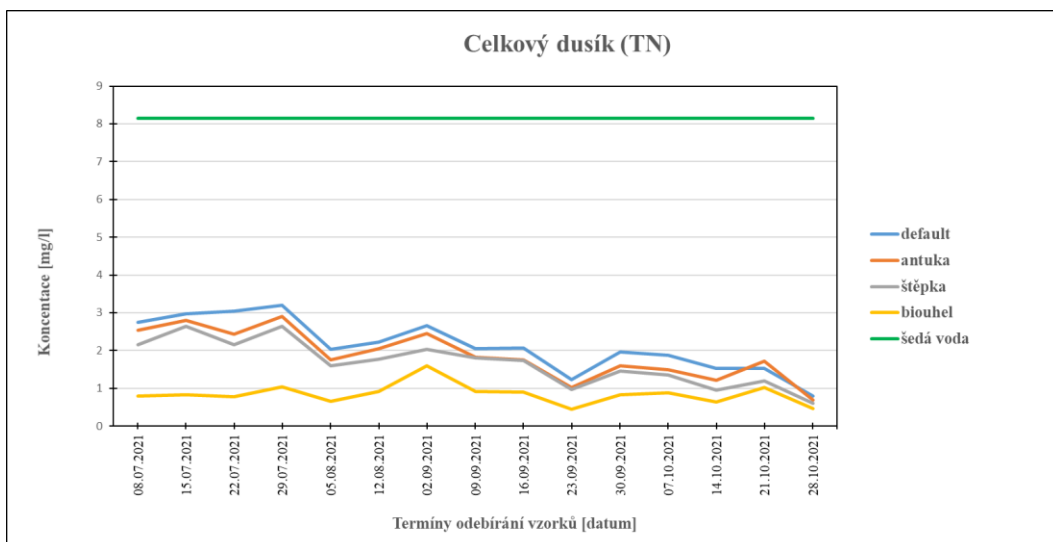
Graf 17: Průběh koncentrace celkového dusíku – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



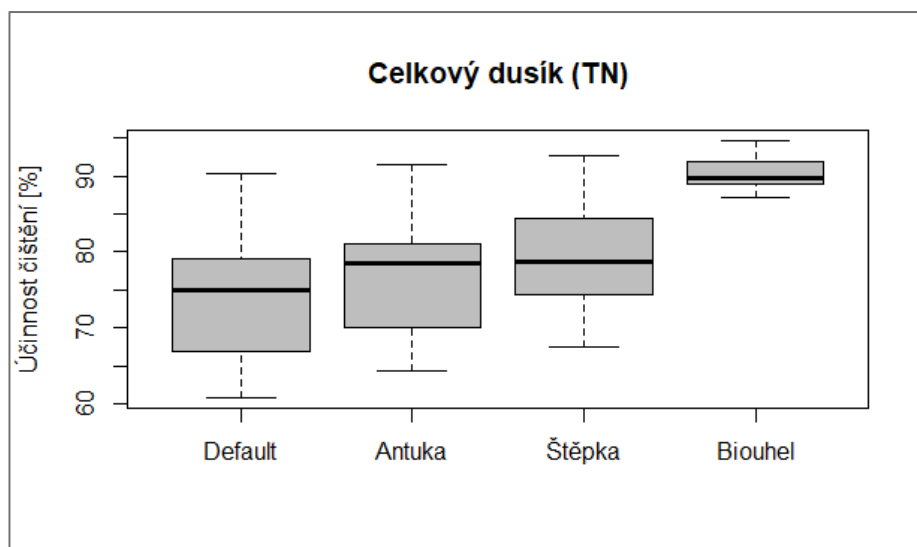
Graf 18: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci celkového dusíku – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou

Na základě analýzy vzorků odebíraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtru vodou lze konstatovat, že oproti aplikované šedé vodě, u které dosahovala koncentrace celkového dusíku v průměru 8,16 mg/l, vykazovaly všechny typy zasakovacích pásů během celého experimentu na výpusti filtru nižší hodnoty koncentrace celkového dusíku, což znázorňuje graf 19.

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování celkového dusíku dle analýzy vzorků odebíraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 20 a tabulka 11. Signifikantně vyšší účinnost čištění zde oproti všem ostatním filtračním materiálům vykazoval biouhel s účinností čištění v průměru 90,29 %. Defaultní skladba vykazovala účinnost při odstraňování TN v průměru 73,62 %, antuka 79,31 % a štěpka 75,04 %.



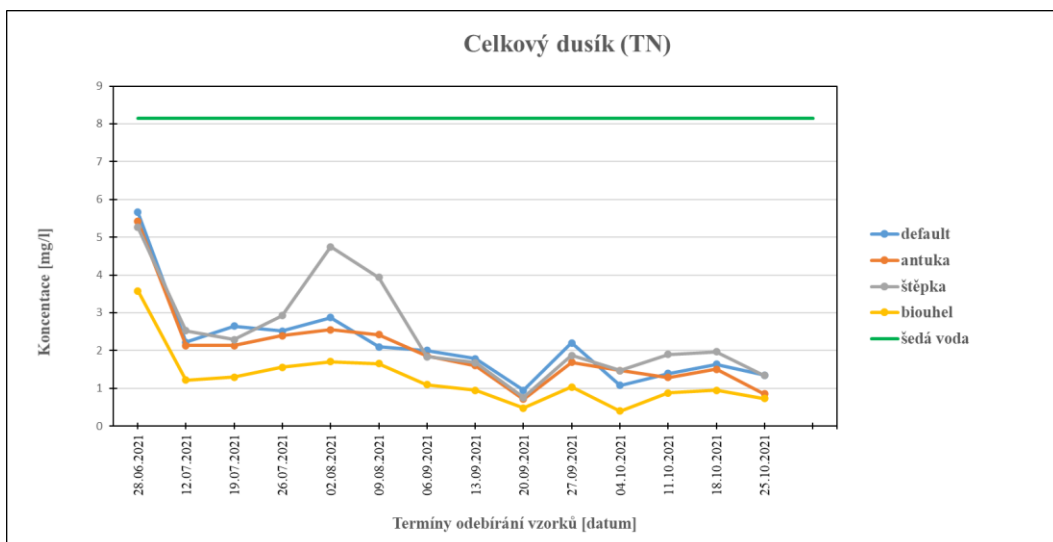
Graf 19: Průběh koncentrace celkového dusíku – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou



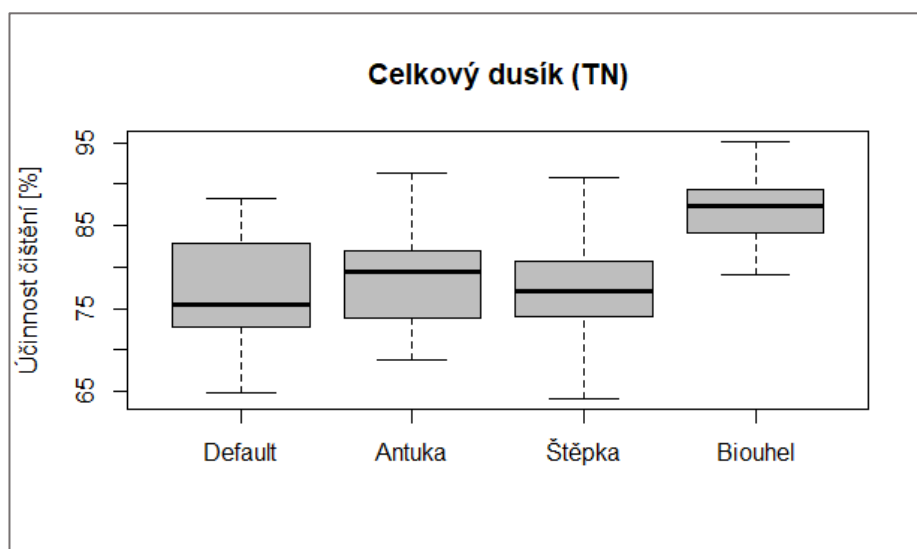
Graf 20: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci celkového dusíku – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou

Na základě analýzy vzorků odebíraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtru vodou lze konstatovat, že oproti aplikované šedé vodě, u které dosahovala koncentrace celkového dusíku v průměru 8,16 mg/l, vykazovaly všechny typy zasakovacích pásů během celého experimentu na výpusti filtru nižší hodnoty koncentrace celkového dusíku, což znázorňuje graf 21.

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování celkového dusíku dle analýzy vzorků odebíraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 22 a tabulka 11. Signifikantně vyšší účinnost čištění zde oproti všem ostatním filtračním materiálům vykazoval biouhel s účinností čištění v průměru 86,85 %. Defaultní skladba vykazovala účinnost při odstraňování TN v průměru 76,66 %, antuka 78,71 % a štěpka 77,11 %.



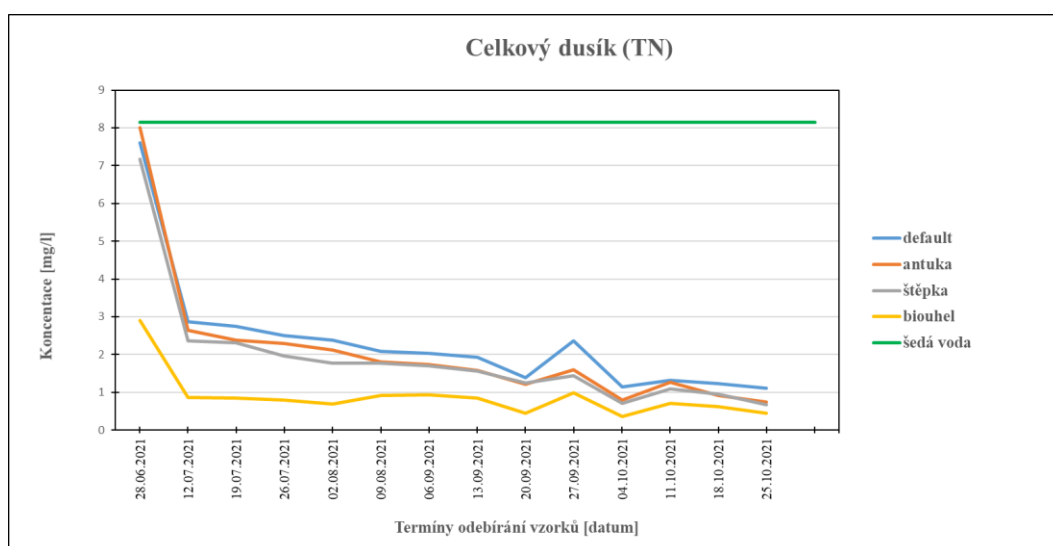
Graf 21: Průběh koncentrace celkového dusíku – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



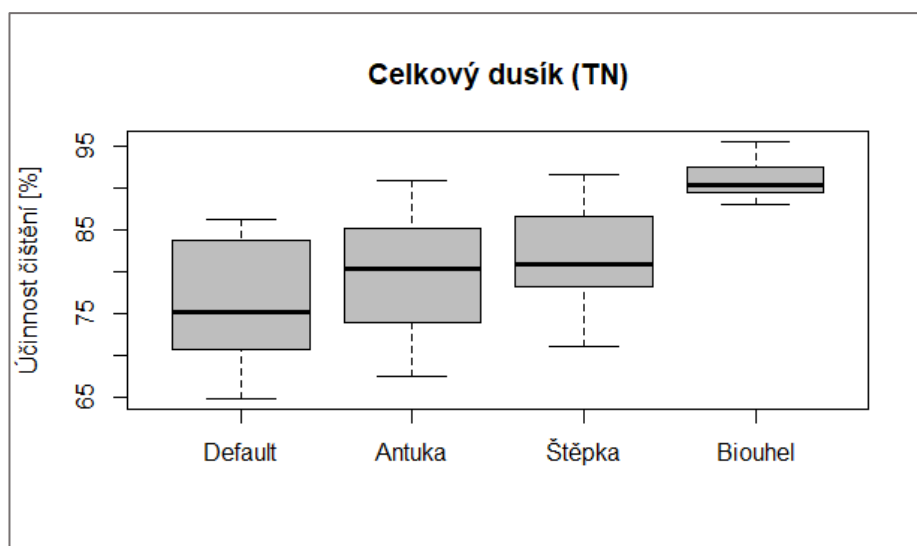
Graf 22: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci celkového dusíku – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou

Na základě analýzy vzorků odebíraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtru vodou lze konstatovat, že oproti aplikované šedé vodě, u které dosahovala koncentrace celkového dusíku v průměru 8,16 mg/l, vykazovaly všechny typy zasakovacích pásů během celého experimentu na výpusti filtru nižší hodnoty koncentrace celkového dusíku, což znázorňuje graf 23.

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování celkového dusíku dle analýzy vzorků odebíraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 24 a tabulka 11. Signifikantně vyšší účinnost čištění zde oproti všem ostatním filtračním materiálům vykazoval biouhel s účinností čištění v průměru 91,10 %. Defaultní skladba vykazovala účinnost při odstraňování TN v průměru 76,35 %, antuka 80,11 % a štěpka 81,54 %.



Graf 23: Průběh koncentrace celkového dusíku – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 24: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci celkového dusíku – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou

Účinnost čištění jednotlivých filtračních materiálů					
	filtrační materiál	průměr [%]	min. [%]	max. [%]	směr. odchylka [%]
A)	default	75.62	61.90	88.43	7.70
	antuka	79.31	69.26	89.17	5.83
	štěpka	75.04	61.47	87.14	7.43
	biouhel	85.23	73.23	92.90	5.29
B)	default	73.93	60.85	90.24	8.51
	antuka	76.89	64.32	91.57	7.96
	štěpka	79.52	67.54	92.57	7.37
	biouhel	90.29	87.23	94.62	2.27
C)	default	76.66	64.73	88.36	7.38
	antuka	78.71	68.72	91.33	7.15
	štěpka	77.11	64.13	90.76	7.20
	biouhel	86.85	79.07	95.11	5.07
D)	default	76.35	64.93	86.33	7.70
	antuka	80.11	67.53	90.90	7.62
	štěpka	81.54	71.05	91.70	6.74
	biouhel	91.10	87.98	95.52	2.51

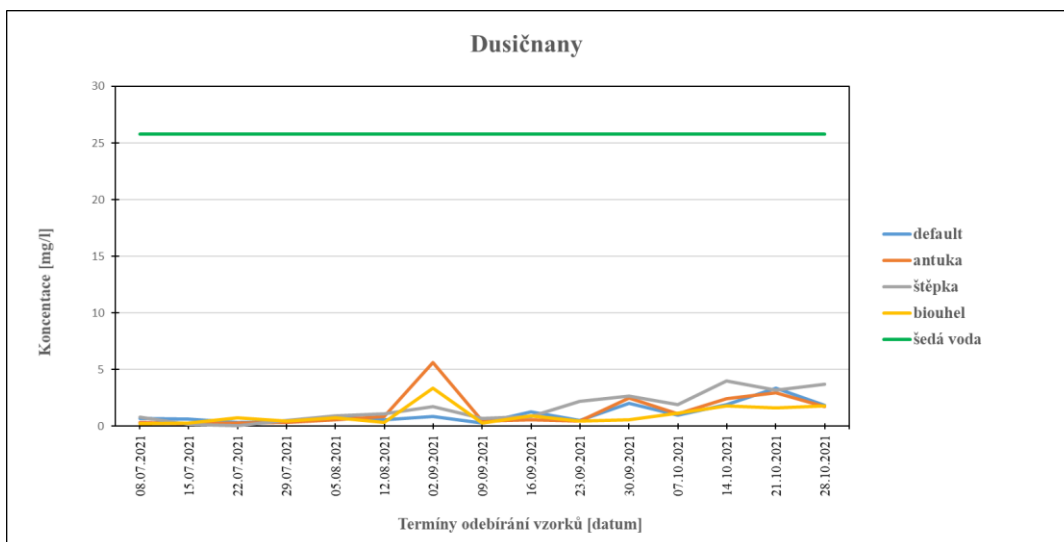
A) odběry vzorků po 22 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 B) odběry vzorků po 22 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,
 C) odběry vzorků po 72 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 D) odběry vzorků po 72 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,

Tab. 11: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci celkového dusíku

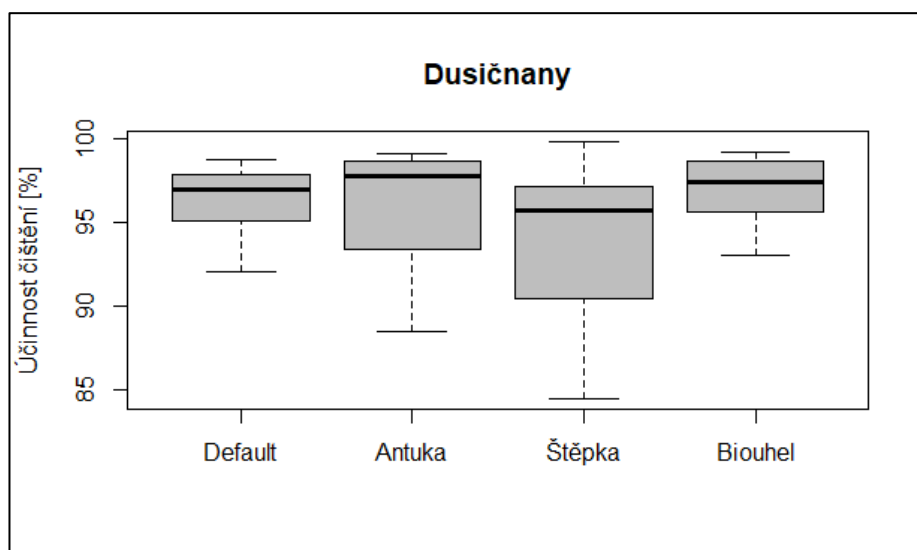
5.4 Dusičnany (NO_3^-)

Na základě analýzy vzorků odebíraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtru vodou lze konstatovat, že oproti aplikované šedé vodě, u které dosahovala koncentrace dusičnanů v průměru 25,80 mg/l, vykazovaly všechny typy zasakovacích pásů během celého experimentu na výpusti filtru nižší hodnoty koncentrace dusičnanů, což znázorňuje graf 25.

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování dusičnanů dle analýzy vzorků odebíraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 26 a tabulka 12. Signifikantně rozdílné účinnosti čištění zde mezi jednotlivými skupinami filtračních materiálů nalezeny nebyly. Defaultní skladba vykazovala účinnost při odstraňování dusičnanů v průměru 96,33 %, antuka 95,88 %, štěpka 93,65 % a biouhel 96,84 %.



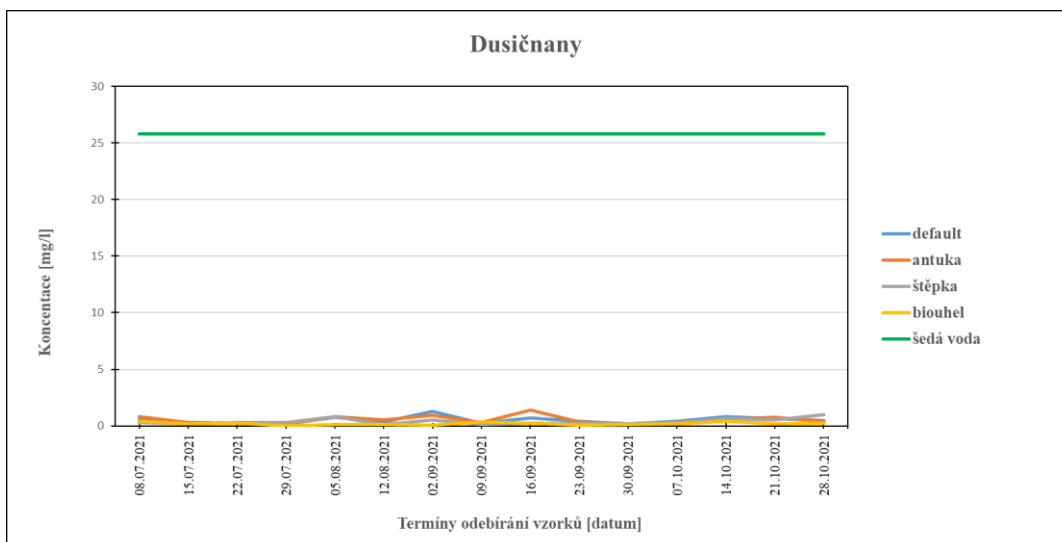
Graf 25: Průběh koncentrace dusičnanů – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



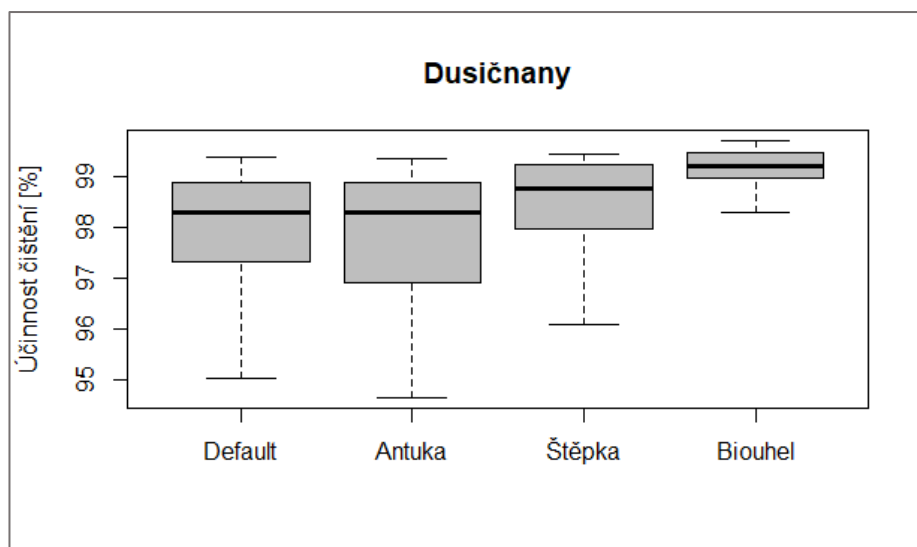
Graf 26: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci dusičnanů – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou

Na základě analýzy vzorků odebíraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtru vodou lze konstatovat, že oproti aplikované šedé vodě, u které dosahovala koncentrace dusičnanů v průměru 25,80 mg/l, vykazovaly všechny typy zasakovacích pásů během celého experimentu na výpusti filtru nižší hodnoty koncentrace dusičnanů, což znázorňuje graf 27.

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování dusičnanů dle analýzy vzorků odebíraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 28 a tabulka 12. Signifikantní rozdíly v účinnosti čištění zde vykazoval biouhel s průměrnou účinností čištění 99,14 % vůči defaultní skladbě o průměrné účinnosti čištění 98,00 % a vůči antuce o průměrné účinnosti čištění 97,87 %. Štěpka vykazovala účinnost při odstraňování dusičnanů v průměru 98,48 %.



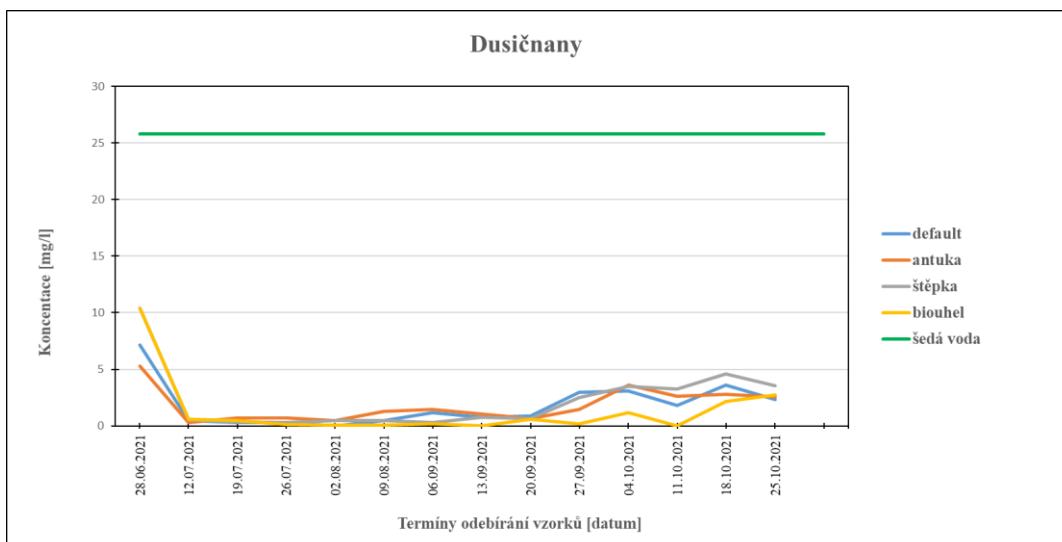
Graf 27: Průběh koncentrace dusičnanů – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou



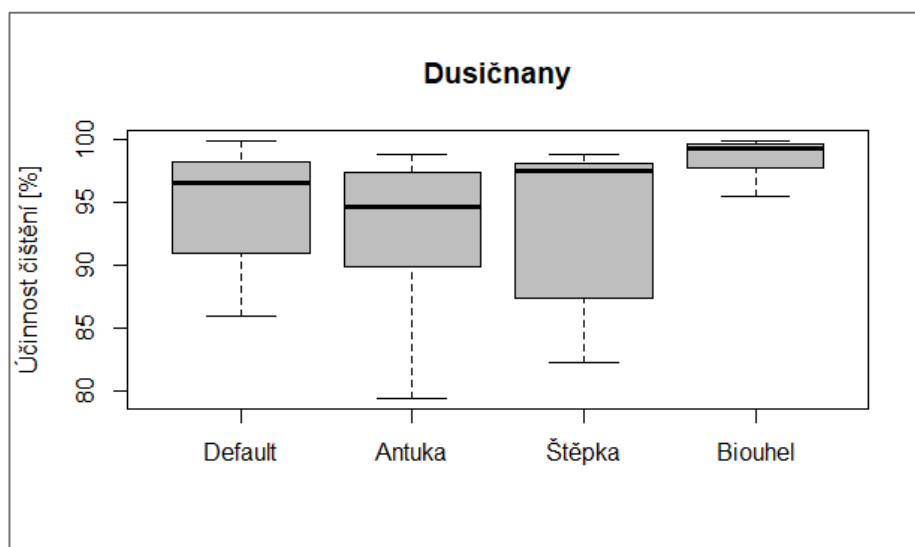
Graf 28: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci dusičnanů – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou

Na základě analýzy vzorků odebíraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtru vodou lze konstatovat, že oproti aplikované šedé vodě, u které dosahovala koncentrace dusičnanů v průměru 25,80 mg/l, vykazovaly všechny typy zasakovacích pásů během celého experimentu na výpusti filtru nižší hodnoty koncentrace dusičnanů, což znázorňuje graf 29.

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování dusičnanů dle analýzy vzorků odebíraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 30 a tabulka 12. Signifikantně vyšší účinnost čištění zde oproti všem ostatním filtračním materiálům vykazoval biouhel s účinností čištění v průměru 98,66 %. Defaultní skladba vykazovala účinnost při odstraňování dusičnanů v průměru 94,57 %, antuka 93,07 % a štěpka 93,65 %.



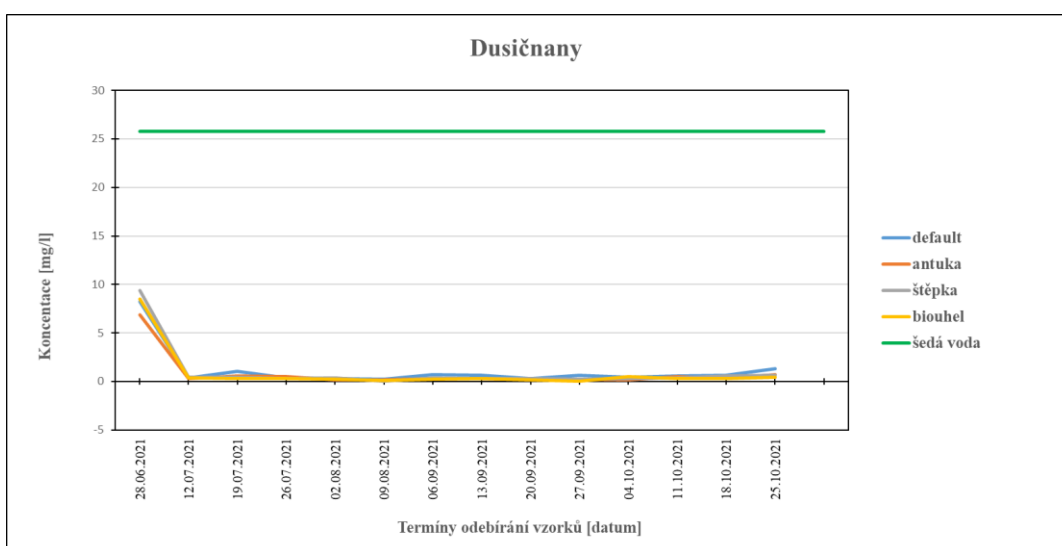
Graf 29: Průběh koncentrace dusičnanů – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



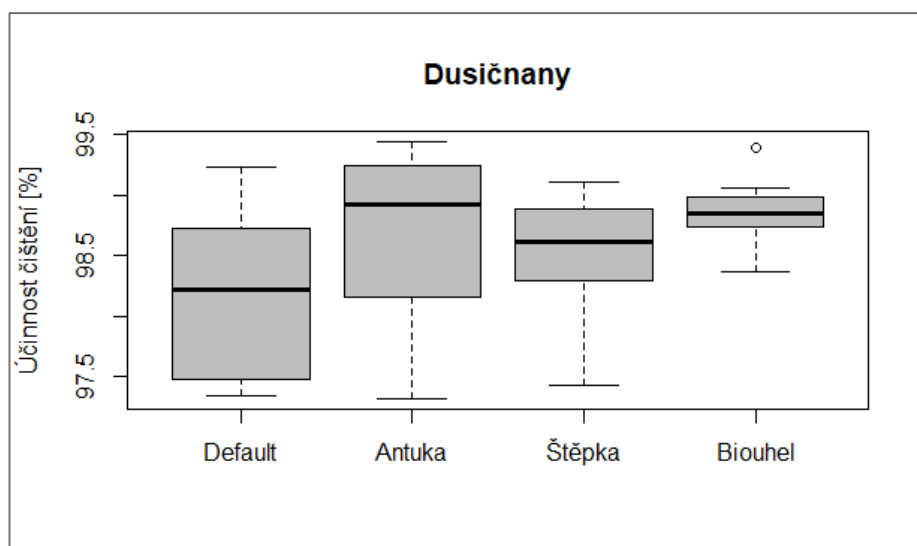
Graf 30: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci dusičnanů – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou

Na základě analýzy vzorků odebíraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtru vodou lze konstatovat, že oproti aplikované šedé vodě, u které dosahovala koncentrace dusičnanů v průměru 25,80 mg/l, vykazovaly všechny typy zasakovacích pásů během celého experimentu na výpusti filtru nižší hodnoty koncentrace dusičnanů, což znázorňuje graf 31.

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování dusičnanů dle analýzy vzorků odebíraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 32 a tabulka 12. Signifikantně rozdílné účinnosti čištění zde mezi jednotlivými skupinami filtračních materiálů nalezeny nebyly. Defaultní skladba vykazovala účinnost při odstraňování dusičnanů v průměru 98,17 %, antuka 98,72 %, štěpka 98,52 % a biouhel 98,86 %.



Graf 31: Průběh koncentrace dusičnanů – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 32: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci dusičnanů – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou

Účinnost čištění jednotlivých filtračních materiálů					
	filtrační materiál	průměr [%]	min. [%]	max. [%]	směr. odchylka [%]
A)	default	96.33	92.11	98.79	2.32
	antuka	95.88	88.49	99.13	3.67
	štěpka	93.65	84.53	99.81	4.93
	biouhel	96.84	93.02	99.18	2.18
B)	default	98.00	95.03	99.38	1.17
	antuka	97.87	94.64	99.36	1.34
	štěpka	98.48	96.09	99.44	1.03
	biouhel	99.14	98.31	99.71	0.43
C)	default	94.57	85.95	99.91	4.76
	antuka	93.07	79.40	98.88	5.55
	štěpka	93.65	82.28	98.90	6.13
	biouhel	98.66	95.55	99.89	1.37
D)	default	98.17	97.34	99.24	0.70
	antuka	98.72	97.32	99.44	0.68
	štěpka	98.52	97.42	99.10	0.49
	biouhel	98.86	98.36	99.39	0.27

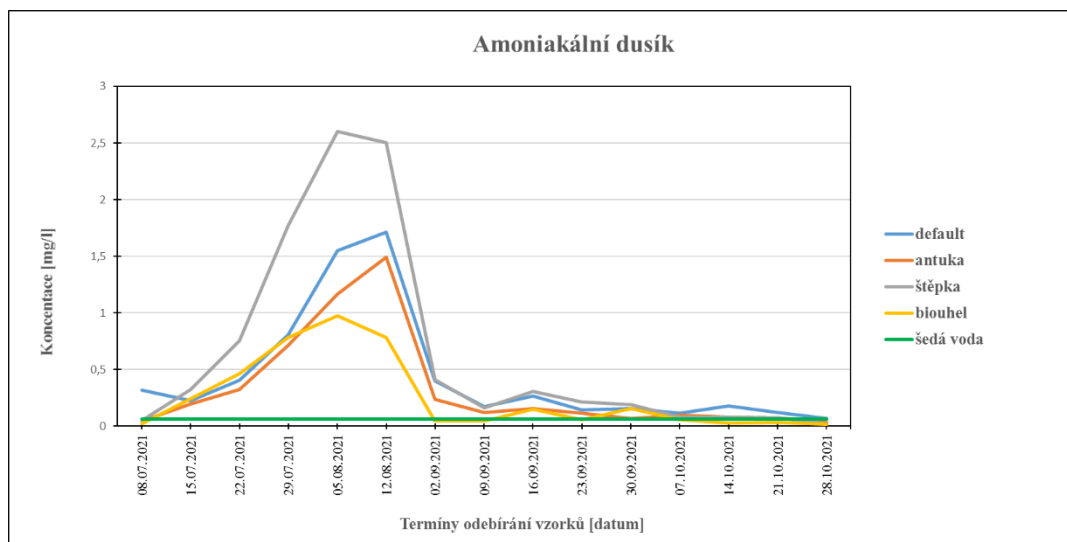
A) odběry vzorků po 22 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 B) odběry vzorků po 22 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,
 C) odběry vzorků po 72 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 D) odběry vzorků po 72 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,

Tab. 12: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci dusičnanů

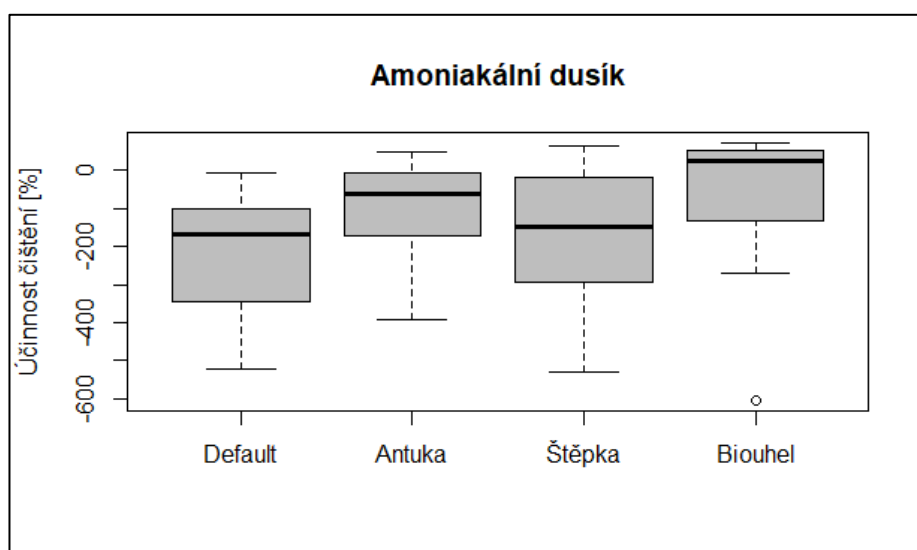
5.5 Amoniakální dusík

Na základě analýzy vzorků odebíraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtru vodou lze konstatovat, že oproti aplikované šedé vodě, u které dosahovala koncentrace amoniakálního dusíku v průměru 0,07 mg/l, vykazovaly všechny typy zasakovacích pásů během téměř celého experimentu na výpusti filtru vyšší hodnoty koncentrace amoniakálního dusíku, což znázorňuje graf 33.

Pokud byla vykázána průměrná účinnost čištění v záporných hodnotách, jedná se o tzv. znečištění aplikované šedé vody daným typem filtru a tyto hodnoty lze prezentovat jako míru znečištění. Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování amoniakálního dusíku, resp. míru znečištění šedé vody daným typem filtru dle analýzy vzorků odebíraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 34 a tabulka 13. Všechny typy zasakovacích pásů zde aplikovanou šedou vodu znečišťovaly a signifikantní rozdíly vykazoval biouhel s průměrnou mírou znečištění 66,54 % vůči defaultní skladbě o průměrné míře znečištění 226,49 %. Antuka znečišťovala amoniakálním dusíkem v průměru 95,96 % a štěpka 165,42 %.



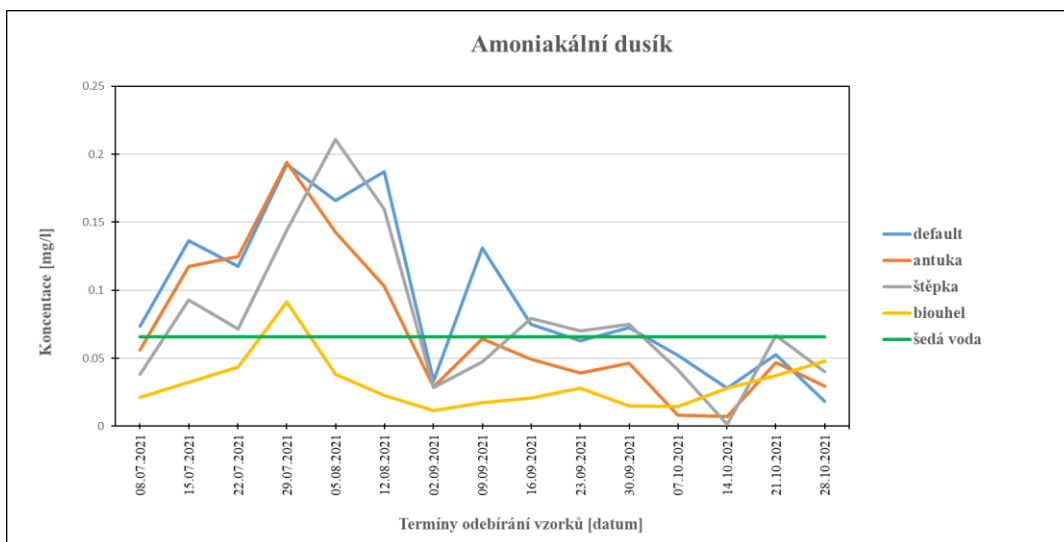
Graf 33: Průběh koncentrace amoniakálního dusíku – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



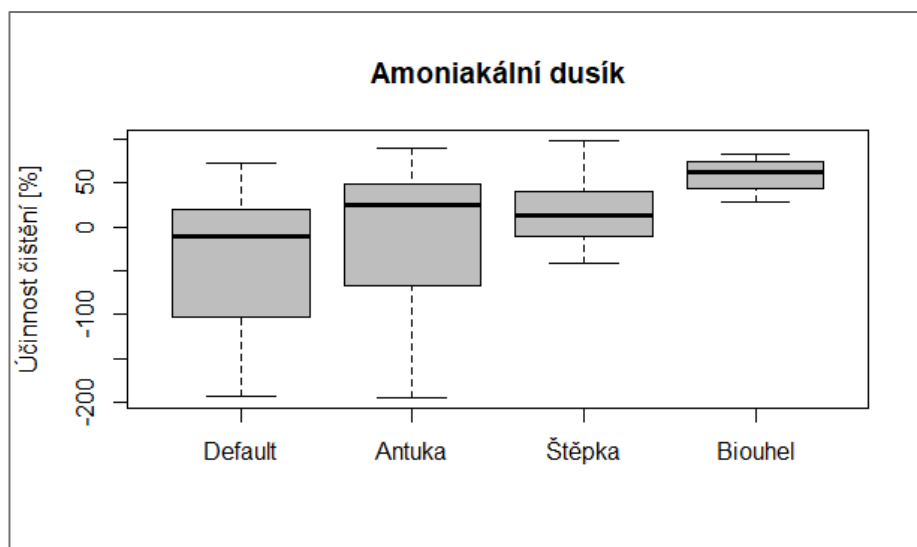
Graf 34: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci amoniakálního dusíku – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou

Na základě analýzy vzorků odebíraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtru vodou lze konstatovat, že oproti aplikované šedé vodě, u které dosahovala koncentrace amoniakálního dusíku v průměru 0,07 mg/l, vykazovaly všechny typy zasakovacích pásů ze začátku experimentu na výpusti filtru vyšší hodnoty koncentrace amoniakálního dusíku (vyjma typu filtru s biouhlem, který téměř po celou dobu experimentu vykazoval nižší hodnoty koncentrace amoniakálního dusíku vůči hodnotám koncentrace amoniakálního dusíku v aplikované šedé vodě), avšak na konci experimentu se hodnoty koncentrace zkoumaného parametru dostaly pod průměrnou hodnotu koncentrací v aplikované šedé vodě, což znázorňuje graf 35.

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování amoniakálního dusíku, resp. míru znečištění šedé vody daným typem filtru dle analýzy vzorků odebíraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 36 a tabulka 13. Signifikantně účinnější se zde oproti všem ostatním filtračním materiálům jevil biouhel s účinností čištění v průměru 58,93 %. Účinný při odstraňování N-NH_4^+ byl také typ filtru se štěpkou (průměrná účinnost čištění 17,35 %). Defaultní skladba vykazovala míru znečištění v průměru 41,58 % a antuka 6,99 %.



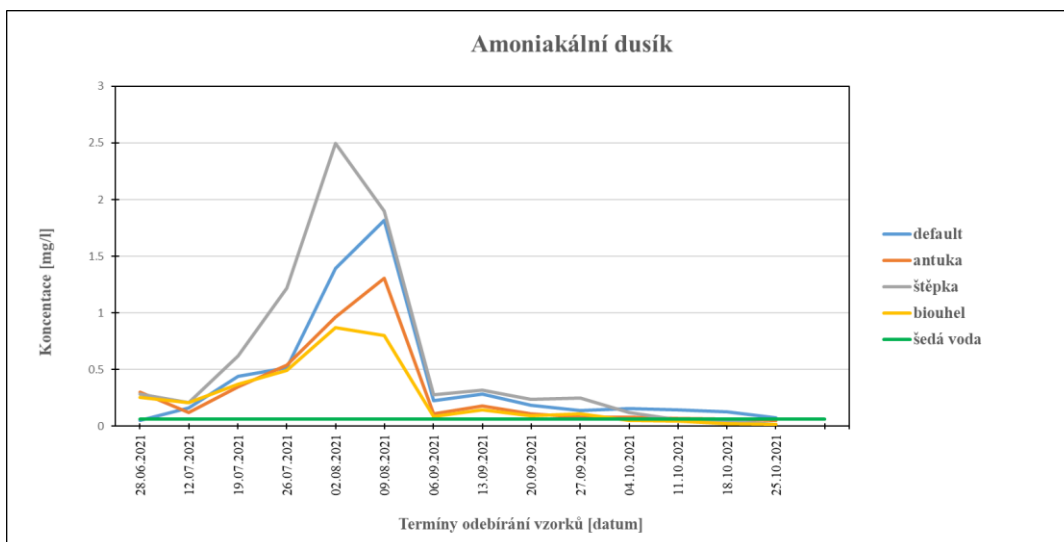
Graf 35: Průběh koncentrace amoniakálního dusíku – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou



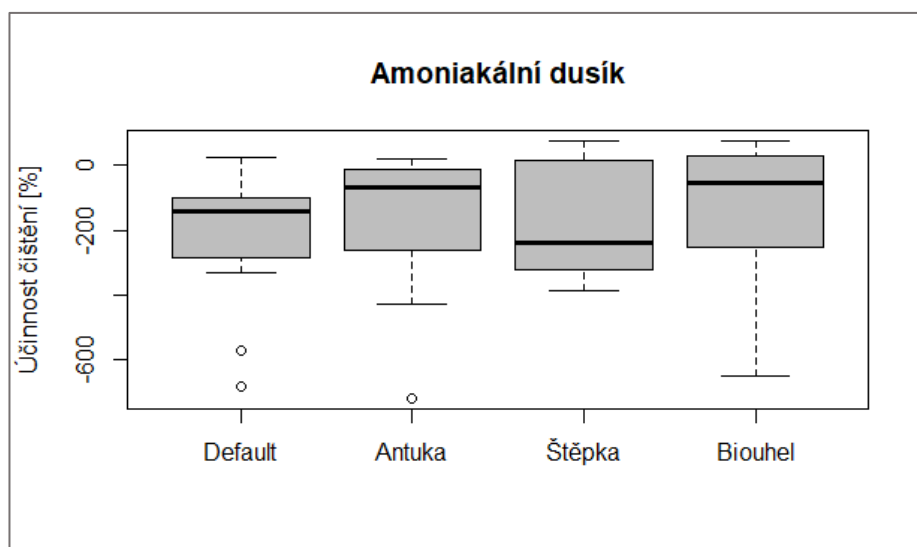
Graf 36: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci amoniakálního dusíku – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou

Na základě analýzy vzorků odebíraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtru vodou lze konstatovat, že oproti aplikované šedé vodě, u které dosahovala koncentrace amoniakálního dusíku v průměru 0,07 mg/l, vykazovaly všechny typy zasakovacích pásů během téměř celého experimentu na výpusti filtru vyšší hodnoty koncentrace amoniakálního dusíku, což znázorňuje graf 37.

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování amoniakálního dusíku, resp. míru znečištění šedé vody daným typem filtru dle analýzy vzorků odebíraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 38 a tabulka 13. Opět všechny typy zasakovacích pásů zde aplikovanou šedou vodu znečišťovaly, avšak významné rozdíly mezi jednotlivými skupinami filtračních materiálů nalezeny nebyly. Defaultní skladba vykazovala míru znečištění v průměru 216,76 %, antuka 158,78 %, štěpka 175,55 % a biouhel 140,39 %.



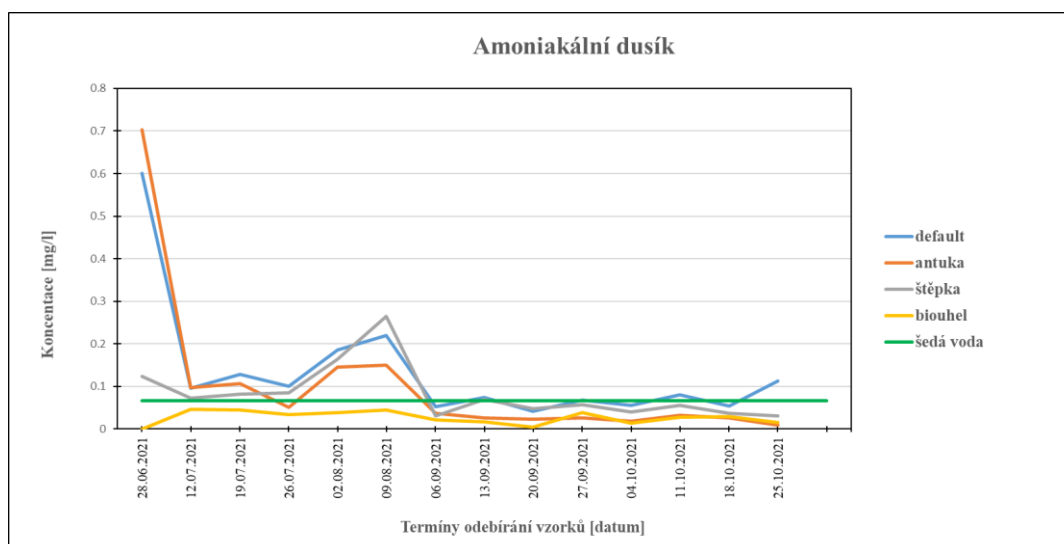
Graf 37: Průběh koncentrace amoniakálního dusíku – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



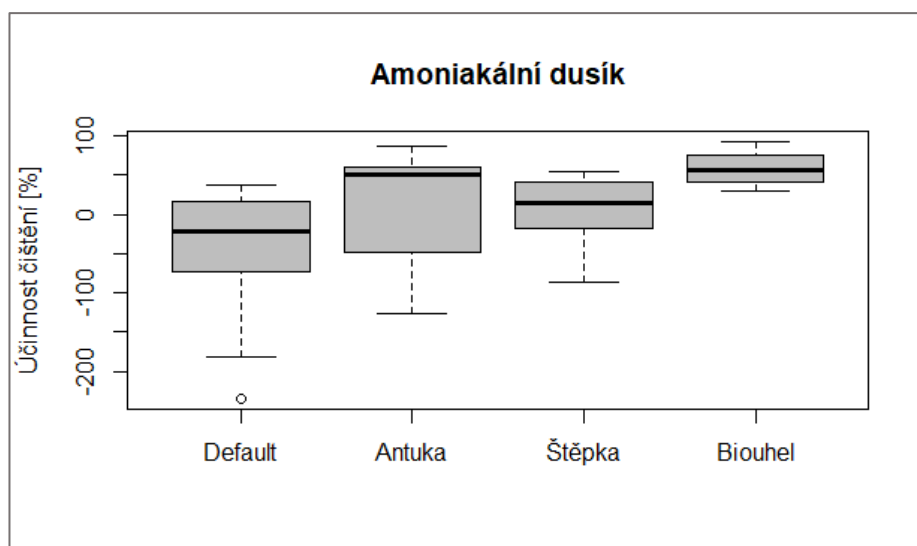
Graf 38: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci amoniakálního dusíku – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou

Na základě analýzy vzorků odebíraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtru vodou lze konstatovat, že oproti aplikované šedé vodě, u které dosahovala koncentrace amoniakálního dusíku v průměru 0,07 mg/l, vykazovaly všechny typy zasakovacích pásů ze začátku experimentu na výpusti filtru vyšší hodnoty koncentrace amoniakálního dusíku (vyjma typu filtru s biouhlem, který po celou dobu experimentu vykazoval nižší hodnoty koncentrace amoniakálního dusíku vůči hodnotám koncentrace v aplikované šedé vodě), avšak na konci experimentu se hodnoty koncentrace zkoumaného parametru dostaly pod průměrnou hodnotu koncentrace v aplikované šedé vodě (vyjma skupiny filtrů s defaultní skladbou), což znázorňuje graf 39.

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování amoniakálního dusíku, resp. míru znečištění šedé vody daným typem filtru dle analýzy vzorků odebíraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 40 a tabulka 13. Signifikantní rozdíly vykazoval biouhel s průměrnou účinností čištění 56,12 % vůči štěpce s průměrnou účinností čištění 7,49 % a vůči defaultní skladbě o průměrné míře znečištění 48,28 %. Další signifikantní rozdíly v účinnosti čištění byly zjištěny mezi defaultní skladbou a antukou, která vykazovala účinnost při odstraňování amoniakálního dusíku v průměru 12,41 %.



Graf 39: Průběh koncentrace amoniakálního dusíku – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 40: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci amoniakálního dusíku – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou

Účinnost čištění jednotlivých filtračních materiálů					
	filtrační materiál	průměr [%]	min. [%]	max. [%]	směr. odchylka [%]
A)	default	-226.49	-520.16	-6.48	168.87
	antuka	-95.96	-391.48	46.77	131.20
	štěpka	-165.42	-528.58	64.82	194.28
	biouhel	-66.54	-603.25	71.40	199.03
B)	default	-41.58	-192.25	72.01	87.65
	antuka	-6.99	-194.24	89.30	81.89
	štěpka	17.35	-41.22	97.72	39.30
	biouhel	58.93	27.33	82.11	17.26
C)	default	-216.76	-681.14	24.42	213.97
	antuka	-158.78	-718.47	19.83	227.62
	štěpka	-175.55	-387.96	74.92	170.77
	biouhel	-140.39	-648.85	75.07	226.41
D)	default	-48.28	-234.33	37.28	81.53
	antuka	12.41	-126.91	86.24	74.79
	štěpka	7.49	-87.28	53.65	41.14
	biouhel	56.12	30.55	92.36	20.59

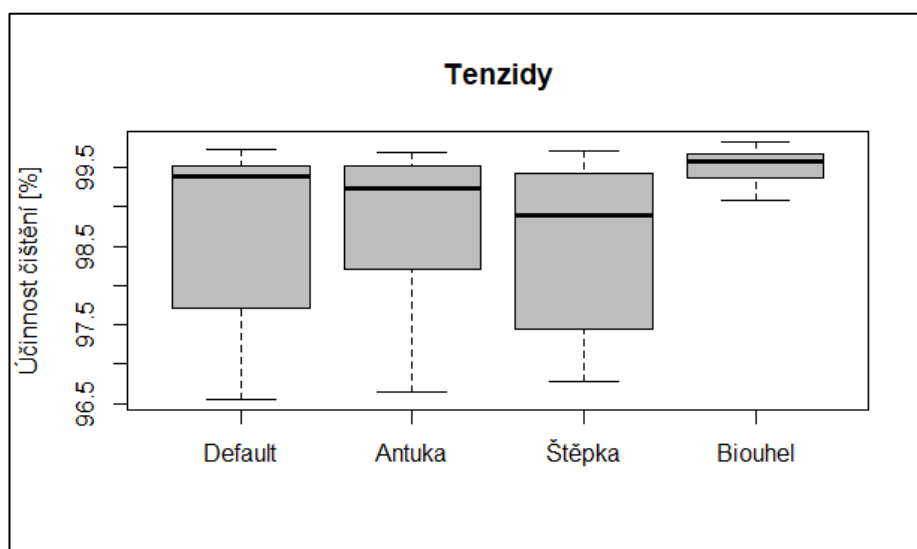
A) odběry vzorků po 22 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 B) odběry vzorků po 22 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,
 C) odběry vzorků po 72 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 D) odběry vzorků po 72 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,

Tab. 13: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci amoniakálního dusíku

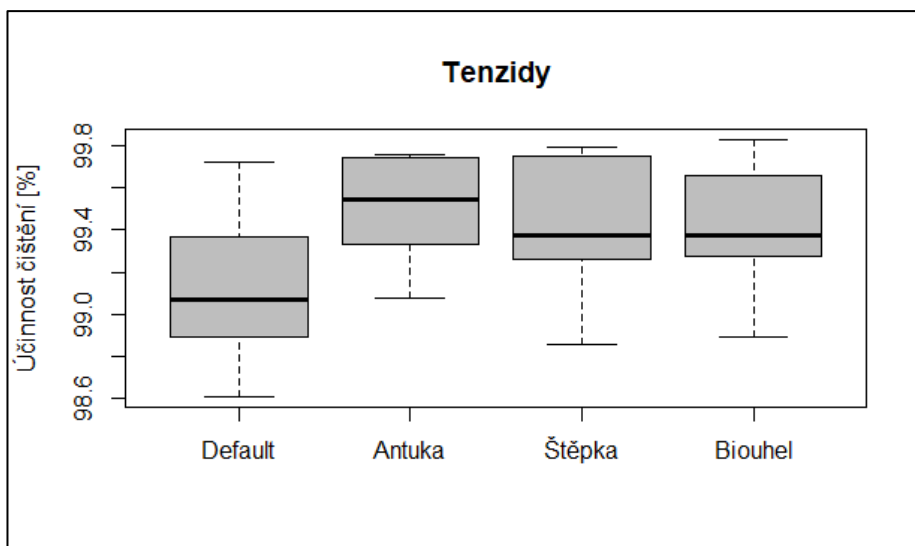
5.6 Tenzidy

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování tenzidů dle analýzy vzorků odebíraných po 22 a 72 hodinách kontaktního času při 70% a 30% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 41, graf 42, graf 43, graf 44 a tabulka 14.

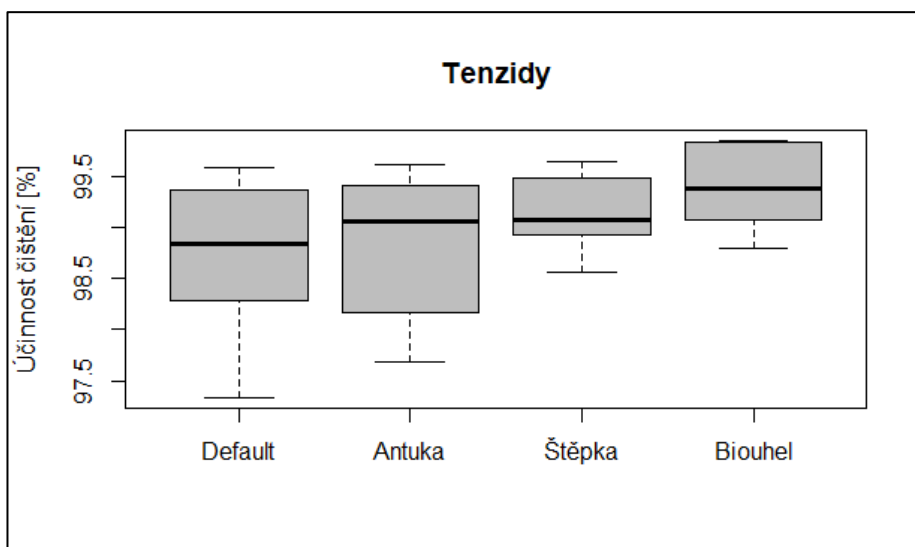
Signifikantně rozdílné účinnosti čištění zde mezi jednotlivými skupinami filtračních materiálů (s ohledem na vzorky odebírané 22 hodin či 72 hodin po aplikaci šedé vody do skupin filtračních materiálů o 70% či 30% saturaci filtru vodou) nalezeny nebyly. Koncentrace tenzidů v aplikované šedé vodě dosahovala v průměru 90,09 mg/l a účinnost čištění zde dosahovala u všech typů filtrů velmi vysokých hodnot od 96,56 % do 99,98 %.



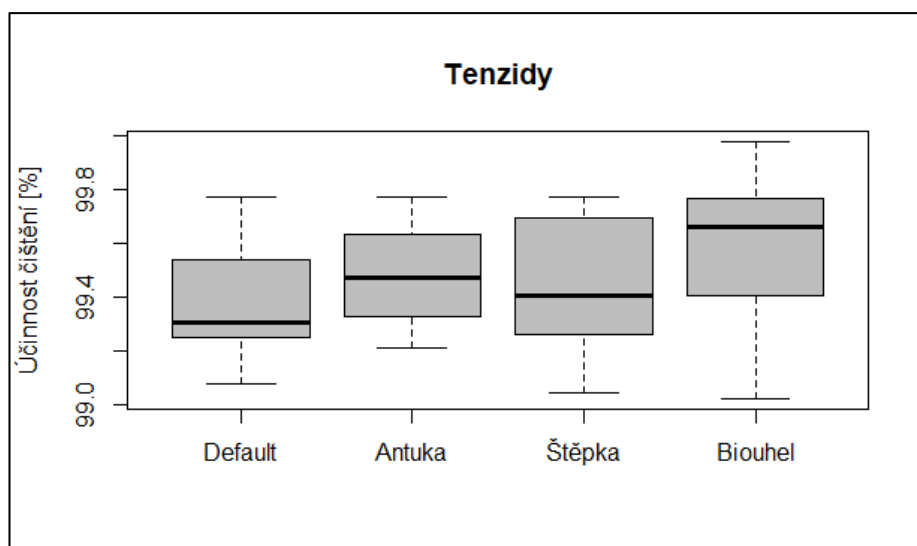
Graf 41: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci tenzidů – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 42: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci tenzidů – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 43: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci tenzidů – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 44: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci tenzidů – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou

Účinnost čištění jednotlivých filtračních materiálů					
	filtrační materiál	průměr [%]	min. [%]	max. [%]	směr. odchylka [%]
A)	default	98.65	96.56	99.72	1.19
	antuka	98.66	96.65	99.70	1.16
	štěpka	98.51	96.78	99.71	1.13
	biouhel	99.50	99.08	99.82	0.27
B)	default	99.15	98.61	99.72	0.41
	antuka	99.51	99.08	99.75	0.25
	štěpka	99.45	98.86	99.79	0.32
	biouhel	99.39	98.89	99.83	0.34
C)	default	98.75	97.34	99.59	0.77
	antuka	98.83	97.69	99.62	0.77
	štěpka	99.16	98.57	99.66	0.39
	biouhel	99.41	98.80	99.86	0.41
D)	default	99.39	99.08	99.78	0.24
	antuka	99.48	99.21	99.77	0.20
	štěpka	99.44	99.05	99.78	0.26
	biouhel	99.59	99.02	99.98	0.30

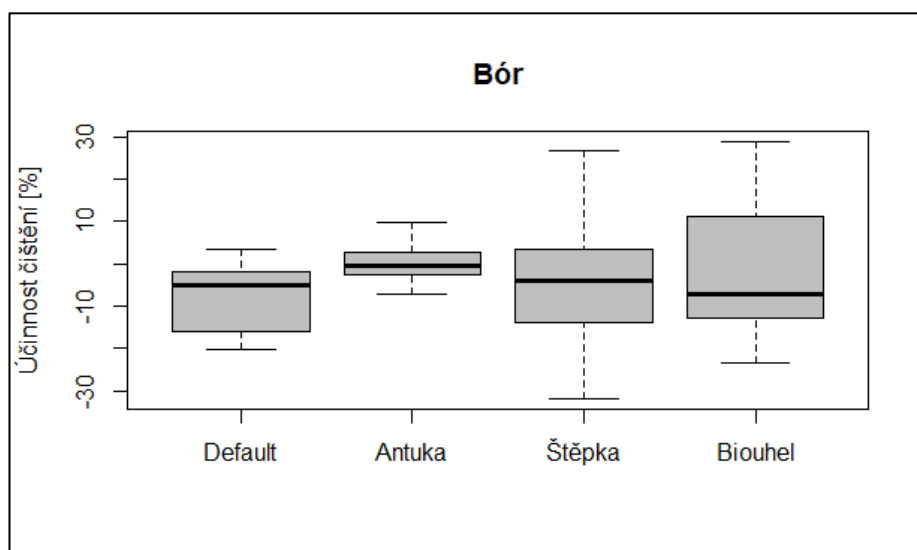
A) odběry vzorků po 22 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 B) odběry vzorků po 22 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,
 C) odběry vzorků po 72 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 D) odběry vzorků po 72 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,

Tab. 14: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci tenzidů

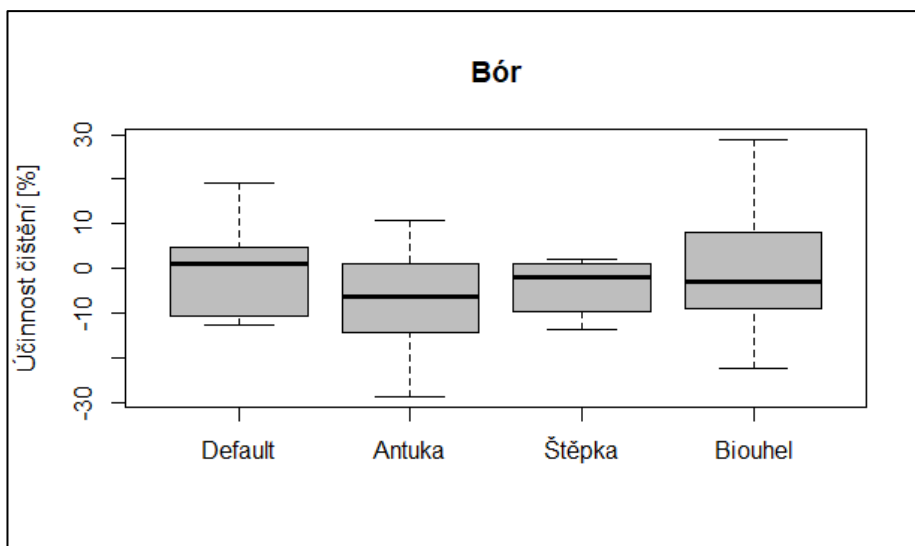
5.7 Bór

Jelikož koncentrace bóru v aplikované šedé vodě dosahovala v průměru 0,97 mg/l a téměř u všech typů zasakovacích pásů byla vykazována průměrná účinnost čištění v záporných hodnotách, jedná se v těchto případech znovu o tzv. míru znečištění aplikované šedé vody daným typem filtru. Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování bóru, resp. míru znečištění dle analýzy vzorků odebíraných po 22 a 72 hodinách kontaktního času při 70% a 30% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 45, graf 46, graf 47, graf 48 a tabulka 15.

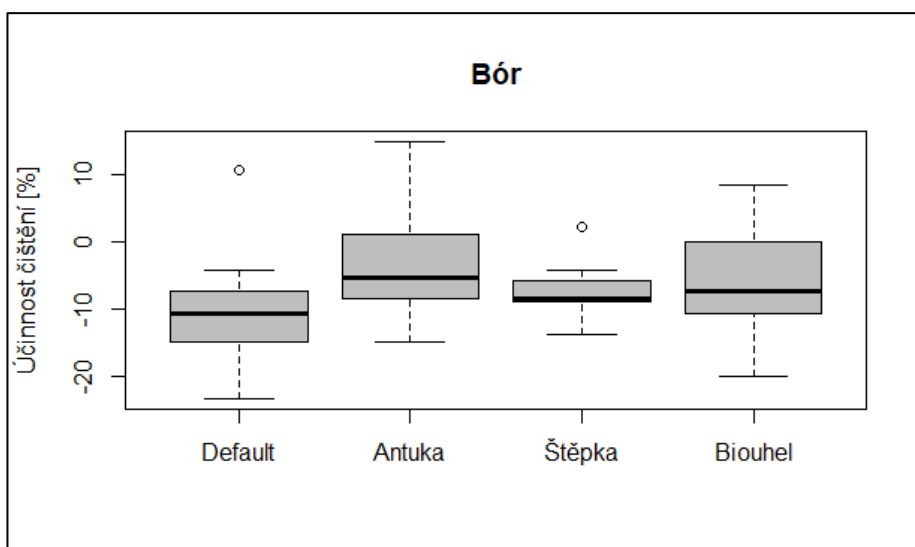
Signifikantní rozdíly zde mezi jednotlivými skupinami filtračních materiálů (s ohledem na vzorky odebírané 22 hodin či 72 hodin po aplikaci šedé vody do skupin filtračních materiálů o 70% či 30% saturaci filtru vodou) nalezeny nebyly.



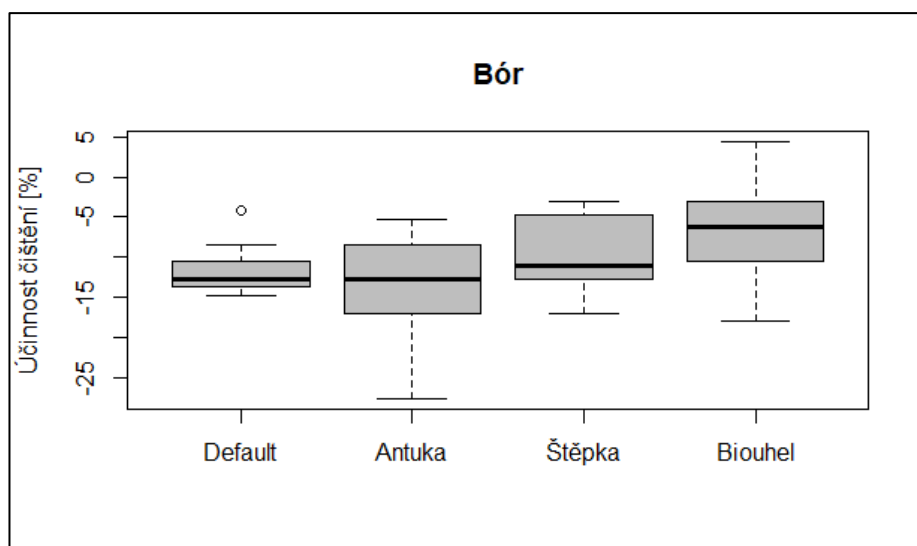
Graf 45: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci bóru – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 46: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci bóru – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 47: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci bóru – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 48: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci bóru – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou

Účinnost čištění jednotlivých filtračních materiálů					
	filtrační materiál	průměr [%]	min. [%]	max. [%]	směr. odchylka [%]
A)	default	-7.54	-20.08	3.30	8.42
	antuka	0.24	-7.33	9.68	5.03
	štěpka	-4.24	-31.77	26.68	15.57
	biouhel	-1.63	-23.27	28.80	16.86
B)	default	-1.05	-12.64	19.24	10.31
	antuka	-7.13	-28.58	10.74	11.62
	štěpka	-3.90	-13.70	2.24	5.96
	biouhel	0.40	-22.20	28.80	16.11
C)	default	-9.92	-23.27	10.74	9.62
	antuka	-3.08	-14.77	14.99	8.56
	štěpka	-7.02	-13.70	2.24	4.97
	biouhel	-4.97	-20.08	8.61	9.72
D)	default	-11.43	-14.77	-4.14	3.80
	antuka	-14.06	-27.52	-5.20	7.53
	štěpka	-9.58	-16.89	-3.08	4.90
	biouhel	-6.66	-17.95	4.36	6.74

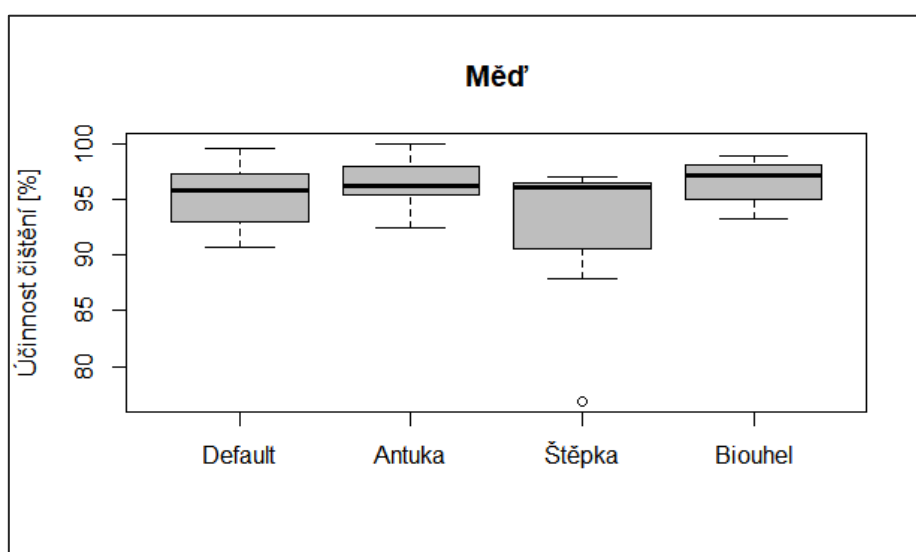
A) odběry vzorků po 22 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 B) odběry vzorků po 22 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,
 C) odběry vzorků po 72 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 D) odběry vzorků po 72 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,

Tab. 15: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci bóru

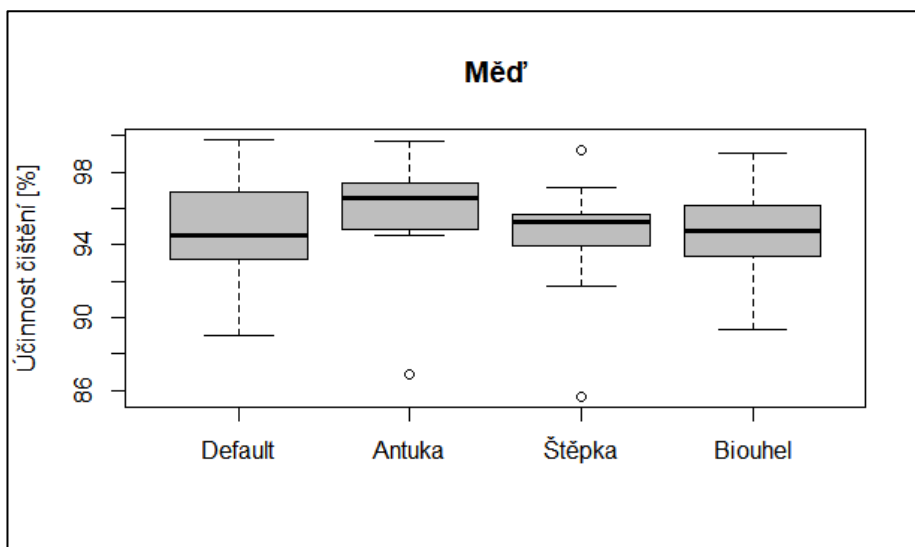
5.8 Měď

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování mědi dle analýzy vzorků odebíraných po 22 a 72 hodinách kontaktního času při 70% a 30% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 49, graf 50, graf 51, graf 52 a tabulka 16.

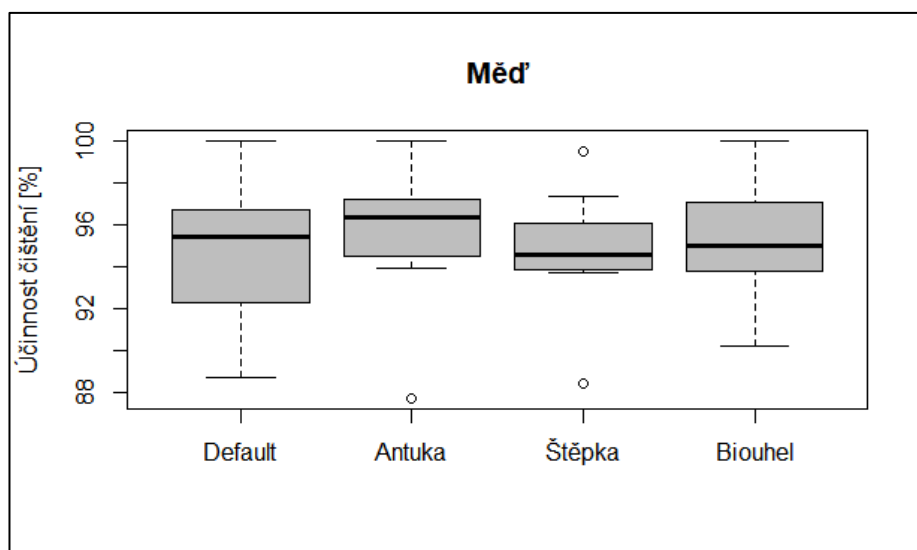
Signifikantně rozdílné účinnosti čištění zde mezi jednotlivými skupinami filtračních materiálů (s ohledem na vzorky odebírané 22 hodin či 72 hodin po aplikaci šedé vody do skupin filtračních materiálů o 70% či 30% saturaci filtru vodou) nalezeny nebyly. Koncentrace mědi v aplikované šedé vodě dosahovala v průměru 0,21 mg/l a účinnost čištění zde dosahovala u všech typů filtrů velmi vysokých hodnot od 76,88 % až do 100 %.



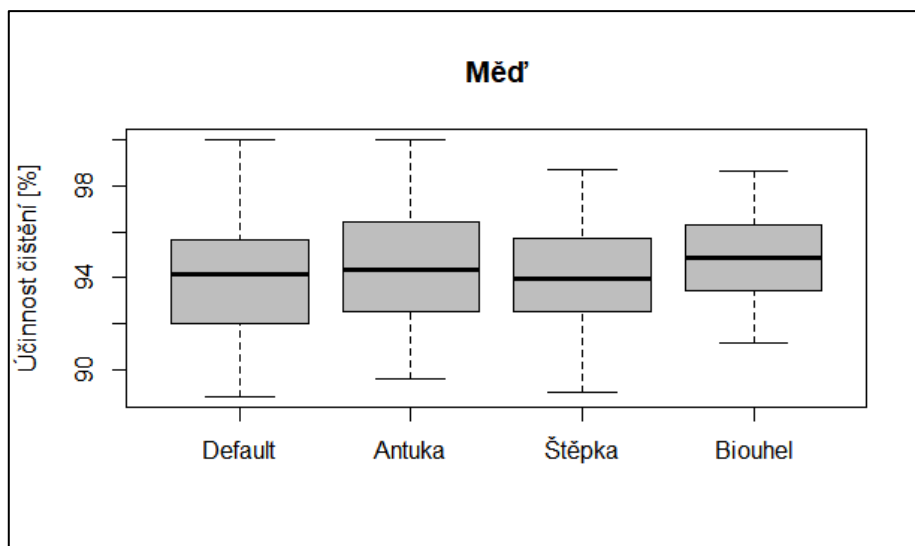
Graf 49: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci mědi – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 50: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci mědi – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 51: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci mědi – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 52: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci mědi – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou

Účinnost čištění jednotlivých filtračních materiálů					
	filtrační materiál	průměr [%]	min. [%]	max. [%]	směr. odchylka [%]
A)	default	95,32	90,71	99,58	3,01
	antuka	96,38	92,46	100,00	2,37
	štěpka	92,75	76,88	97,00	6,35
	biouhel	96,62	93,34	98,91	2,03
B)	default	94,96	88,99	99,77	3,08
	antuka	95,72	86,84	99,69	3,37
	štěpka	94,43	85,67	99,24	3,47
	biouhel	94,78	89,33	99,05	3,02
C)	default	94,57	88,70	100,00	3,56
	antuka	95,73	87,75	100,00	3,18
	štěpka	94,82	88,45	99,49	2,77
	biouhel	95,40	90,24	100,00	2,79
D)	default	94,17	88,82	100,00	3,18
	antuka	94,43	89,59	99,99	3,04
	štěpka	94,10	89,01	98,68	2,79
	biouhel	94,84	91,16	98,67	2,31

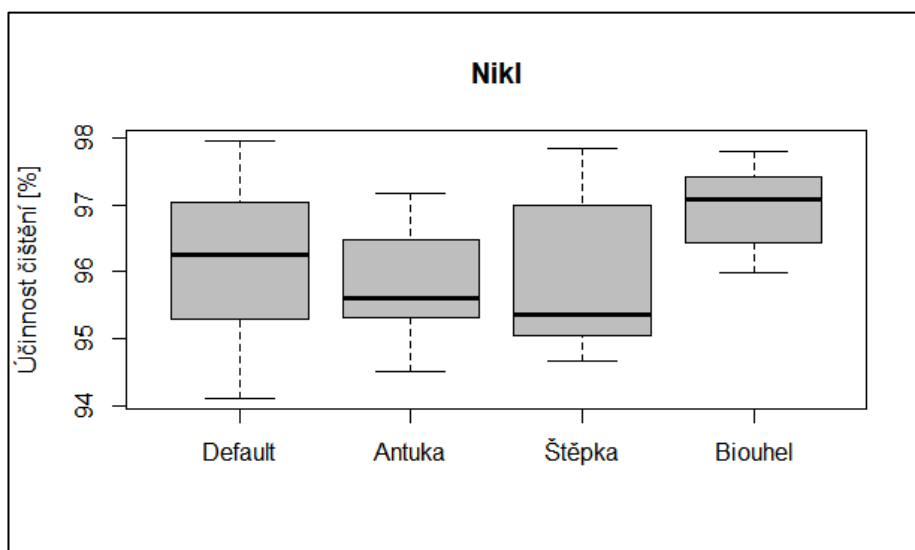
A) odběry vzorků po 22 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 B) odběry vzorků po 22 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,
 C) odběry vzorků po 72 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 D) odběry vzorků po 72 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,

Tab. 16: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci mědi

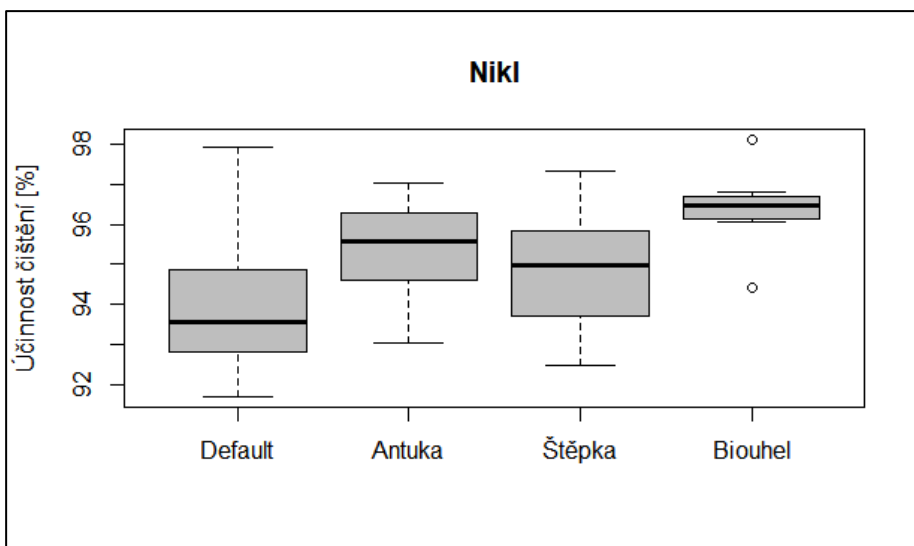
5.9 Nikl

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování niklu dle analýzy vzorků odebíraných po 22 a 72 hodinách kontaktního času při 70% a 30% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 53, graf 54, graf 55, graf 56 a tabulka 17.

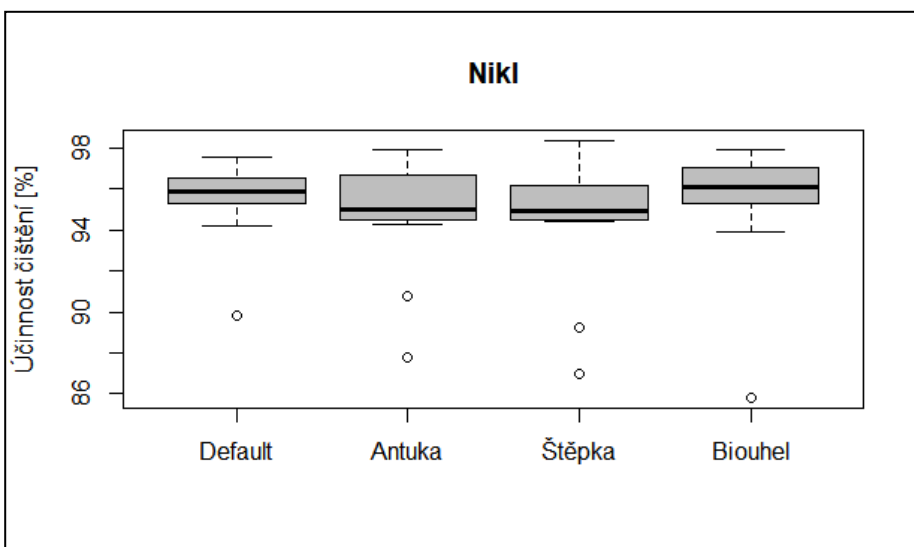
Signifikantní rozdíl v účinnosti čištění byl zjištěn pouze u vzorků odebíraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtru vodou, kde biouhel vykazoval signifikantně vyšší účinnost čištění (v průměru 96,38 %) oproti defaultní skladbě o průměrné účinnosti 94,14 %. Další signifikantní rozdíly v účinnosti čištění nalezeny nebyly. Koncentrace niklu v aplikované šedé vodě dosahovala v průměru 0,19 mg/l a bez ohledu na kontaktní čas aplikované šedé vody s filtrem a saturaci filtru průměrná účinnost čištění zde dosahovala velmi vysokých hodnot (u biouhlu 96,14 %, u antuky 95,10 %, u defaultní skladby 95,00 % a u štěpky 93,92 %).



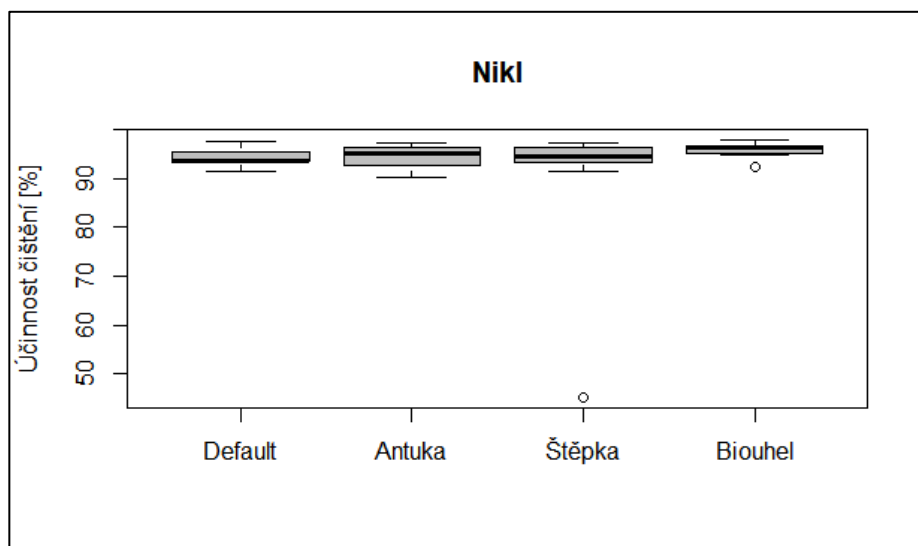
Graf 53: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci niklu – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 54: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci niklu – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 55: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci niklu – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 56: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci niklu – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou

Účinnost čištění jednotlivých filtračních materiálů					
	filtrační materiál	průměr [%]	min. [%]	max. [%]	směr. odchylka [%]
A)	default	96,06	94,11	97,96	1,23
	antuka	95,84	94,50	97,18	0,90
	štěpka	95,94	94,67	97,85	1,15
	biouhel	96,98	95,98	97,81	0,57
B)	default	94,14	91,72	97,92	2,03
	antuka	95,40	93,05	97,02	1,20
	štěpka	94,91	92,50	97,32	1,55
	biouhel	96,38	94,41	98,10	0,91
C)	default	95,46	89,82	97,57	2,10
	antuka	94,68	87,76	97,94	3,03
	štěpka	94,40	86,96	98,36	3,43
	biouhel	95,28	85,83	97,96	3,33
D)	default	94,36	91,56	97,48	1,94
	antuka	94,48	90,27	97,25	2,28
	štěpka	90,43	45,20	97,45	15,11
	biouhel	95,92	92,27	97,89	1,58

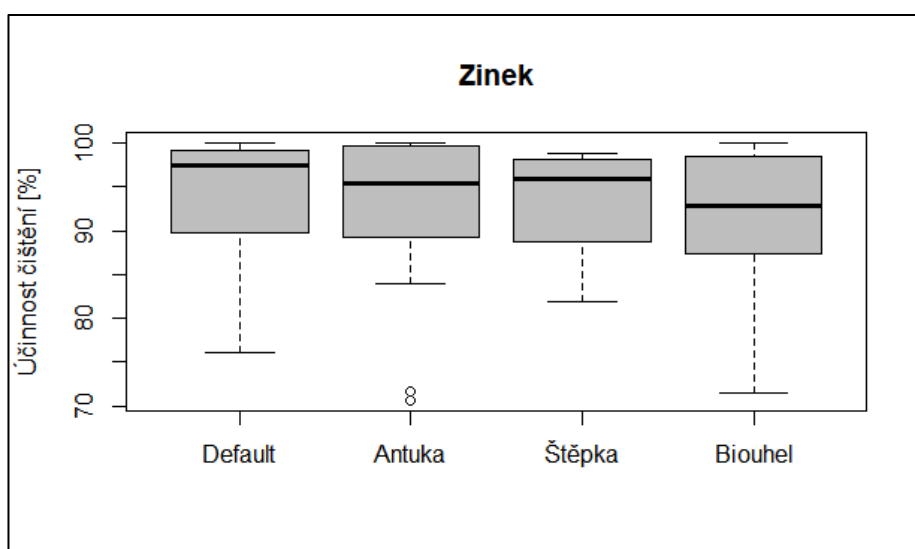
A) odběry vzorků po 22 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 B) odběry vzorků po 22 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,
 C) odběry vzorků po 72 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 D) odběry vzorků po 72 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,

Tab. 17: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci niklu

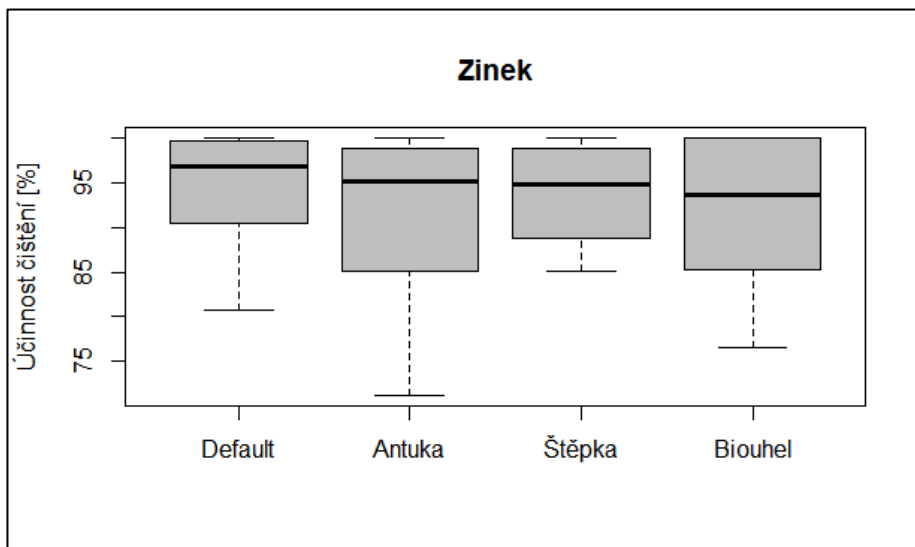
5.10 Zinek

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování zinku dle analýzy vzorků odebíraných po 22 a 72 hodinách kontaktního času při 70% a 30% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 57, graf 58, graf 59, graf 60 a tabulka 18.

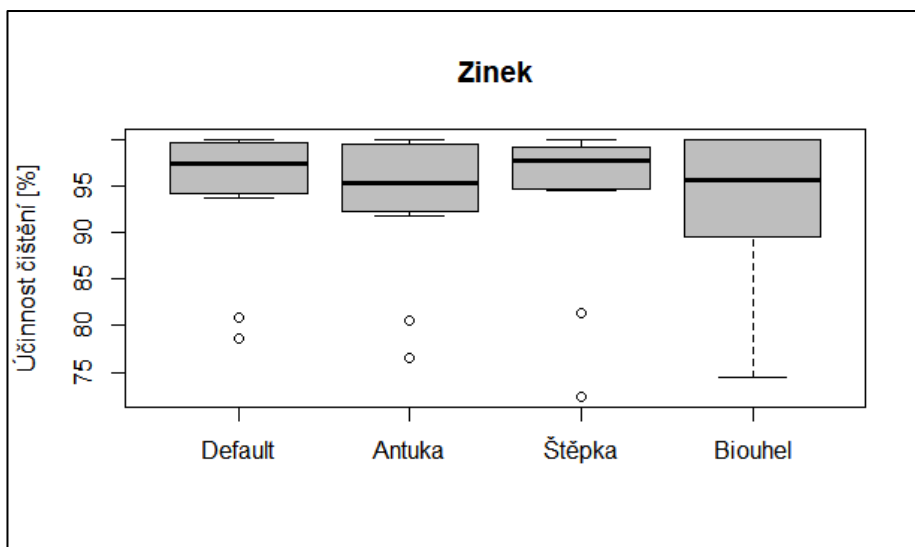
Signifikantně rozdílné účinnosti čištění zde mezi jednotlivými skupinami filtračních materiálů (s ohledem na vzorky odebírané 22 hodin či 72 hodin po aplikaci šedé vody do skupin filtračních materiálů o 70% či 30% saturaci filtru vodou) nalezeny nebyly. Koncentrace zinku v aplikované šedé vodě dosahovala v průměru 0,23 mg/l a účinnost čištění zde dosahovala u všech typů filtrů opět velmi vysokých hodnot od 70,67 % až do 100 %.



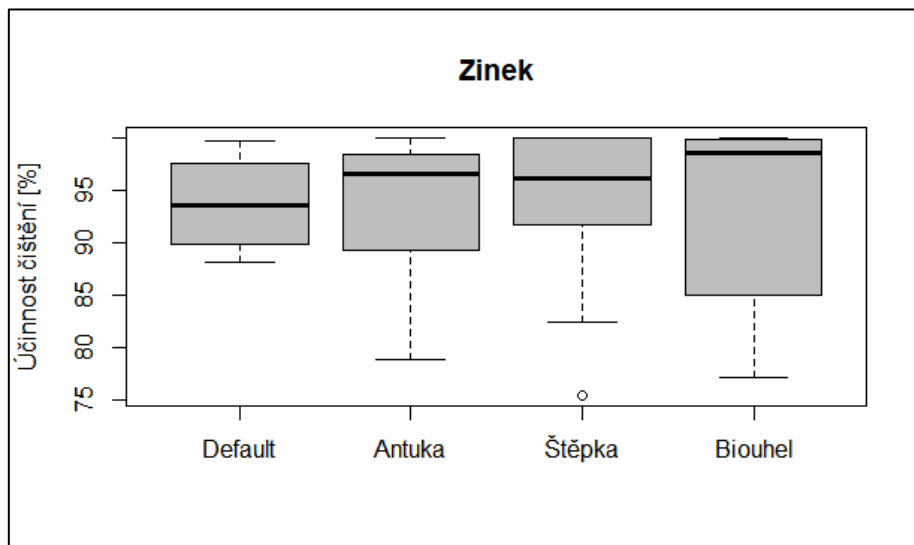
Graf 57: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci zinku – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 58: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci zinku – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 59: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci zinku – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 60: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci zinku – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou

Účinnost čištění jednotlivých filtračních materiálů					
	filtrační materiál	průměr [%]	min. [%]	max. [%]	směr. odchylka [%]
A)	default	93,23	76,01	100,00	9,16
	antuka	91,61	70,67	100,00	11,10
	štěpka	93,34	81,93	98,76	6,10
	biouhel	90,71	71,40	100,00	9,86
B)	default	94,34	80,68	100,00	6,85
	antuka	90,62	71,21	100,00	9,89
	štěpka	93,85	85,09	100,00	5,78
	biouhel	91,63	76,55	100,00	8,78
C)	default	94,40	78,69	100,00	7,56
	antuka	93,67	76,52	100,00	8,08
	štěpka	93,95	72,40	100,00	8,90
	biouhel	92,65	74,38	100,00	9,38
D)	default	94,13	88,20	99,77	4,45
	antuka	93,29	78,92	100,00	7,15
	štěpka	93,84	75,47	100,00	8,26
	biouhel	92,43	77,15	100,00	8,58

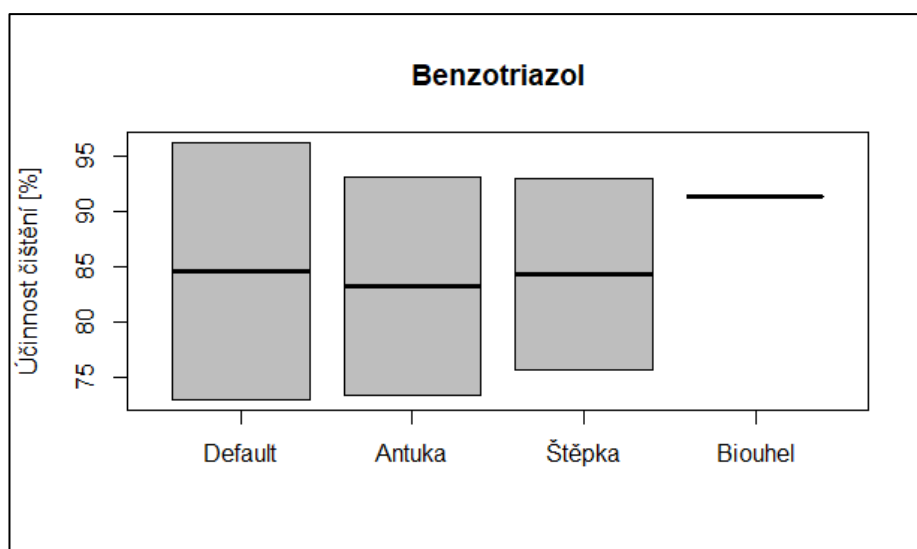
A) odběry vzorků po 22 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 B) odběry vzorků po 22 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,
 C) odběry vzorků po 72 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 D) odběry vzorků po 72 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,

Tab. 18: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci zinku

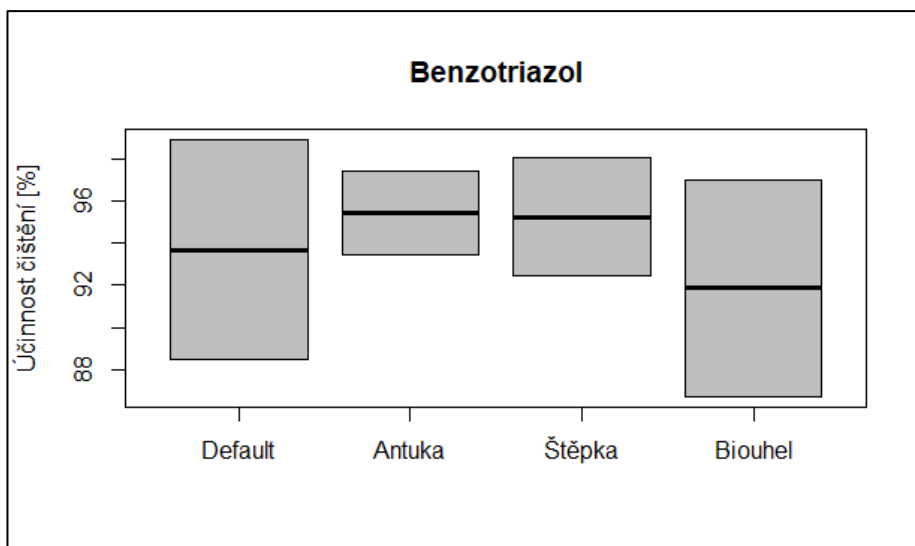
5.11 Benzotriazol (BTR)

Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při odstraňování benzotriazolu dle analýzy vzorků odebíraných po 22 a 72 hodinách kontaktního času při 70% a 30% saturaci filtru vodou zobrazuje graf 61, graf 62, graf 63, graf 64 a tabulka 19.

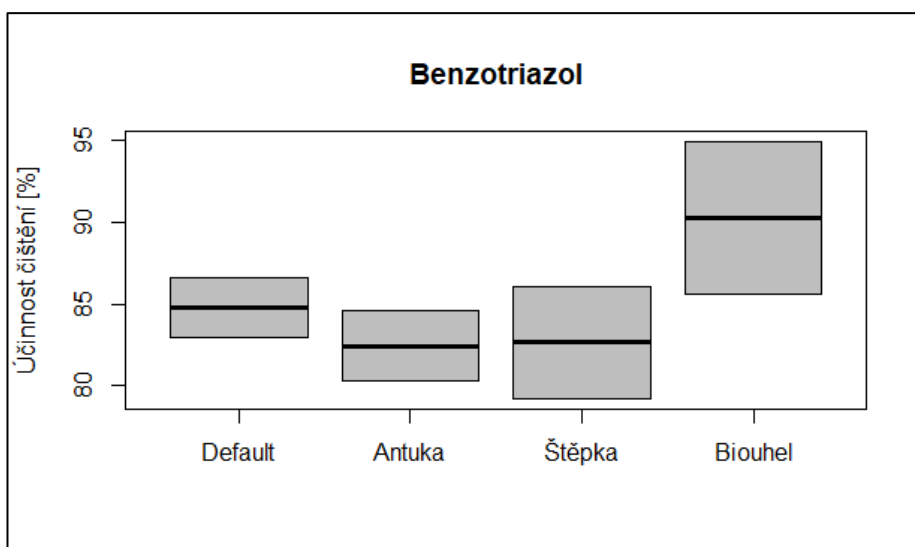
Signifikantně rozdílné účinnosti čištění zde mezi jednotlivými skupinami filtračních materiálů (s ohledem na vzorky odebírané 22 hodin či 72 hodin po aplikaci šedé vody do skupin filtračních materiálů o 70% či 30% saturaci filtru vodou) nalezeny nebyly, avšak v tabulce 19 lze poukázat na rozdíly v účinnosti při odstraňování BTR mezi skupinami filtračních materiálů o 70% saturaci filtru vodou a skupinami filtračních materiálů o 30% saturaci filtru vodou.



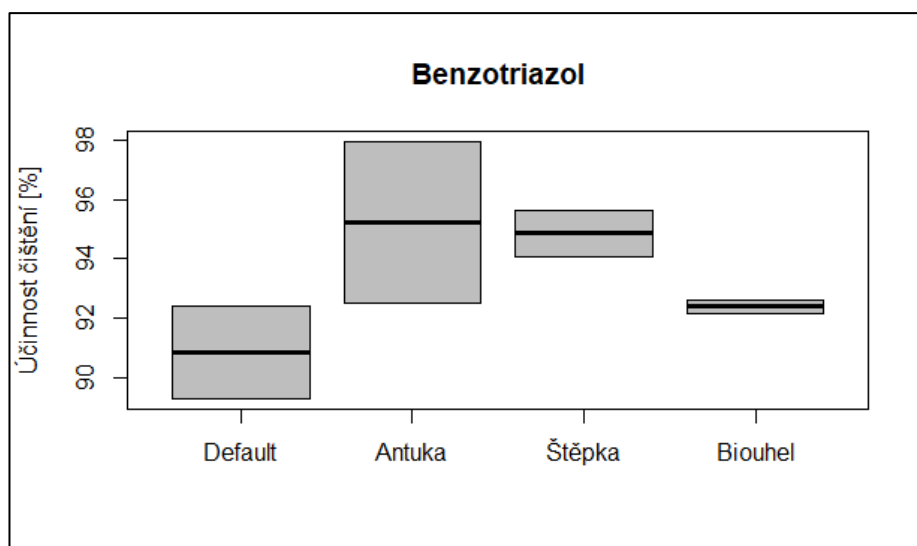
Graf 61: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci benzotriazolu – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 62: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci benzotriazolu – analýza vzorků odebraných po 22 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 63: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci benzotriazolu – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 70% saturaci filtračního materiálu vodou



Graf 64: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci benzotriazolu – analýza vzorků odebraných po 72 hodinách kontaktního času při 30% saturaci filtračního materiálu vodou

Účinnost čištění jednotlivých filtračních materiálů					
	filtrační materiál	průměr [%]	min. [%]	max. [%]	směr. odchylka [%]
A)	default	84.62	73.03	96.21	16.39
	antuka	83.29	73.42	93.15	13.95
	štěpka	84.31	75.64	92.97	12.25
	biouhel	91.39	91.39	91.39	0.00
B)	default	93.69	88.45	98.93	7.41
	antuka	95.46	93.48	97.44	2.80
	štěpka	95.26	92.45	98.07	3.98
	biouhel	91.87	86.72	97.02	7.28
C)	default	84.76	82.95	86.57	2.56
	antuka	82.44	80.29	84.59	3.04
	štěpka	82.65	79.22	86.08	4.85
	biouhel	90.27	85.60	94.94	6.60
D)	default	90.86	89.29	92.42	2.22
	antuka	95.22	92.50	97.95	3.86
	štěpka	94.86	94.08	95.64	1.11
	biouhel	92.39	92.16	92.63	0.33

A) odběry vzorků po 22 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 B) odběry vzorků po 22 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,
 C) odběry vzorků po 72 hodinách, 70% saturace filtračního materiálu vodou,
 D) odběry vzorků po 72 hodinách, 30% saturace filtračního materiálu vodou,

Tab. 19: Účinnost jednotlivých filtračních materiálů při eliminaci benzotriazolu

6. Diskuse

6.1 Celkový organický uhlík (TOC)

Nejúčinnějším materiálem při odstraňování celkového organického uhlíku (bez ohledu na dobu od aplikace šedé vody do zasakovacích pásů až po její vypuštění a bez ohledu na výši saturace filtru vodou) byl biouhel o průměrné účinnosti čištění 74,25 %, což je pouze o 3 % nižší hodnota, než které ve svém experimentu docílil Kaetzl et al. (2018). Ostatní filtrační materiály mezi sebou vykazovaly v průběhu celého experimentu srovnatelnou průměrnou účinnost čištění (antuka 56,26 %, defaultní skladba 54,16 % a štěpka 52,75 %). Při použití dřevní štěpky dosáhl Kaetzl et al. (2018) účinnosti 63,50 %, tedy přibližně o 10,75 % vyšší a Dalahmeh et al. (2012), který ve svém experimentu k filtraci šedé vody použil písek, vykázal téměř o 21% vyšší účinnost v porovnání se zasakovacími pásy s defaultní skladbou. Během téměř celého experimentu měla účinnost čištění všech filtračních materiálů rostoucí charakter, což lze přisuzovat s největší pravděpodobností vyplavení organických látek ze zasakovacích pásů na počátku experimentu.

Jelikož zasakovací pásy s 70% saturací vykazovaly v průměru minimální rozdíl v účinnosti čištění oproti filtrům s 30% saturací, lze usuzovat, že saturace filtrů vliv na účinnost při odstraňování TOC zde neměla.

6.2 Celkový uhlík (TC)

Při odstraňování celkového uhlíku (bez ohledu na dobu od aplikace šedé vody do zasakovacích pásů až po její vypuštění a bez ohledu na výši saturace filtru vodou) vykazovaly téměř všechny typy zasakovacích pásů v průměru záporné hodnoty účinnosti čištění, resp. míru znečištění (antuka 33,99 %, defaultní skladba 29,42 %, štěpka 14,52 %), pouze biouhel vykazoval účinnost v průměru 1,61 %. Takto nízké, respektive záporné účinnosti odstraňování TC lze přisuzovat opět vyplavování organických ale i anorganických sloučenin z filtračních materiálů.

S ohledem na dobu od aplikace šedé vody do zasakovacích pásů až po její vypuštění (odběry vzorků k analýze po 22 či 72 hodinách) a na výši saturace filtru

vodou (70% a 30% saturace) lze uvažovat, že na účinnost čištění zde měla vliv saturace filtrů, přičemž zasakovací pásy s 70% saturací vykazovaly v průměru vyšší účinnost oproti 30% saturaci (defaultní skladba o 35,61 %, antuka o 17,65 %, štěpka o 21,75 % a biouhel o 13,12%). I tak ale vykazovaly téměř všechny filtrační materiály míru znečištění, vyjma typu filtru s biouhlem se 70% saturací, který vykazoval účinnost při odstraňování TC v průměru 8,17 %.

6.3 Celkový dusík (TN)

Při snižování koncentrace celkového dusíku (bez ohledu na dobu od aplikace šedé vody do zasakovacích pásů až po její vypuštění a bez ohledu na výši saturace filtru vodou) se jako nejúčinnější jevil biouhel o průměrné účinnosti čištění 88,37 %, což je o 75,52 % vyšší hodnota, než které ve svém experimentu docílil Kaetzl et al. (2018). Ostatní filtrační materiály mezi sebou vykazovaly v průběhu celého experimentu srovnatelnou průměrnou účinností čištění (antuka 78,76 %, štěpka 78,30 % a defaultní skladba 75,64 %). Při použití filtru s dřevní štěpkou bylo dosaženo přibližně o 70 % vyšší účinnosti, než které dosáhl Kaetzl et al. (2018). Dalahmeh et al. (2012), který ve svém experimentu k filtraci šedé vody za použití písku, vykázal téměř o 70 % nižší účinnost při odstraňování TN v porovnání se zasakovacími pásy s defaultní skladbou. Během téměř celého experimentu měla účinnost čištění všech filtračních materiálů rostoucí charakter, za což s největší pravděpodobností může vyplavení kontaminantů ze zasakovacích pásů na počátku experimentu.

Jelikož zasakovací pásy s 70% saturací vykazovaly v průměru minimální rozdíl v účinnosti čištění oproti filtrům s 30% saturací, lze usuzovat, že saturace filtrů zásadní vliv na účinnost při odstraňování TN neměla.

6.4 Dusičnany (NO_3^-)

Velmi dobrých výsledků bylo také dosaženo při snižování koncentrace dusičnanů. Bez ohledu na dobu od aplikace šedé vody do zasakovacích pásů až po její vypuštění a bez ohledu na výši saturace filtru vodou byl nejúčinnější biouhel o

průměrné účinnosti čištění 98,38 %. Ostatní filtrační materiály mezi sebou vykazovaly téměř srovnatelnou průměrnou účinnost čištění (defaultní skladba 96,77 %, antuka 96,39 % a štěpka 96,08 %). Během téměř celého experimentu byla účinnost čištění u všech filtračních materiálů velmi vysoká. Lze také usuzovat, že na koncentrace dusičnanů mělo vliv vegetační období, jelikož byl experiment realizován převážně v letním období, kdy jsou dusičnany z vody odčerpávány vegetací (Pitter 2015).

Jelikož zasakovací pásy s 70% saturací vykazovaly v průměru minimální rozdíl (nižší účinnost) v účinnosti čištění oproti filtrům s 30% saturací (u defaultní skladby o 2,64 %, u antuky o 3,82 %, u štěpky o 4,85 % a u biouhlu o 1,25%), lze uvažovat, že na účinnost při odstraňování dusičnanů saturace filtrů zásadní vliv neměla.

6.5 Amoniakální dusík

Při snižování amoniakálního dusíku (bez ohledu na dobu od aplikace šedé vody do zasakovacích pásů až po její vypuštění a bez ohledu na výši saturace filtru vodou) vykazovaly všechny filtrační materiály v průměru záporné účinnosti, resp. míru znečištění. Nejmenší míru znečištění oproti aplikované šedé vodě vykazoval biouhel (22,97 %), následovala antuka (62,33 %), poté filtr se štěpkou (79,03 %) a v průměru největší míra znečištění byla zjištěna u defaultní skladby (133,28 %). Nejvyšší koncentrace amoniakálního dusíku byly během experimentu naměřeny v letních měsících, hlavně v srpnu. Nárůst koncentrací také lze odůvodnit větším výskytem srážek v tomto období, jelikož na amoniakální dusík jsou atmosférické vody poměrně bohaté z důvodu amonných sloučenin v ovzduší (Pitter 2015) a také rozkladem organické hmoty.

S ohledem na dobu od aplikace šedé vody do zasakovacích pásů až po její vypuštění a na výši saturace filtru vodou lze uvažovat o podstatném vlivu saturace filtrů na účinnost čištění. Zasakovací pásy s 30% saturací vykazovaly v průměru podstatně vyšší účinnost oproti 70% saturaci (defaultní skladba o 176,70 %, antuka o 130,08 %, štěpka o 182,91 % a biouhel o 160,99%). Toto lze přisuzovat častějšímu odumírání rostlin vlivem nadměrného množství závlahy a následnému rozkladu většího množství organických látek. Nejúčinněji se při odstraňování amoniakálního dusíku jevil filtr obsahující biouhel s průměrnou účinností 57,57 %, dále filtr se

štěpkou (12,42 %), poté antuka (2,71 %) a míru znečištění zde vykazovala defaultní skladba (- 44,93 %).

6.6 Tenzidy

V případě snižování koncentrace tenzidů (bez ohledu na dobu od aplikace šedé vody do zasakovacích pásů až po její vypuštění a bez ohledu na výši saturace filtru vodou) vykazovaly všechny filtrační materiály v průměru velmi vysoké účinnosti čištění. Nejúčinnějším materiálem se jevil biouhel s průměrnou účinností 99,47 %, následovaly zasakovací pásy se štěpkou (99,14 %), poté filtry s antukou (99,12 %) a na závěr defaultní skladba s průměrnou účinností 98,99 %. Vysokou účinnost čištění lze přisuzovat faktu, že v současné době jsou v pracích a čisticích prostředcích používány biologicky dobře rozložitelné tenzidy, které nejsou v přírodních, užitkových ani odpadních vodách považovány za významné kontaminanty (Pitter 2015).

Jelikož zasakovací pásy s 70% saturací vykazovaly v průměru minimální rozdíl v účinnosti čištění oproti filtrům s 30% saturací, lze usuzovat, že saturace filtrů zásadní vliv na účinnost při odstraňování tenzidů neměla.

6.7 Bór

Při snižování bóru (bez ohledu na dobu od aplikace šedé vody do zasakovacích pásů až po její vypuštění a bez ohledu na výši saturace filtru vodou) nebyl žádný z filtračních materiálů efektivní a v průměru všechny typy filtrů zvyšovaly koncentraci bóru v aplikované šedé vodě. Nejmenší míru znečištění vykazoval biouhel (3,22 %), následovala antuka (6,01 %), poté filtr se štěpkou (6,19 %) a nejvíce zvyšovala koncentrace bóru defaultní skladba (o 7,49 %). Ačkoliv všechny typy zasakovacích pásů zvyšovaly koncentraci bóru v aplikované šedé vodě, koncentrace bóru se i tak pohybovaly podstatně v nižších hodnotách, oproti koncentracím typickým pro splaškové odpadní vody z velkoměst (z důvodu vysoké spotřeby pracích prostředků), kde se koncentrace bóru pohybují až do 5 mg/l (Pitter 2015).

Saturace filtrů zásadní vliv na účinnost při odstraňování bóru pravděpodobně neměla, protože zasakovací pásy s 70% saturací vykazovaly v průměru minimální rozdíl v účinnosti čištění oproti filtrům s 30% saturací.

6.8 Měď

Velmi dobrých výsledků bylo dosaženo při snižování koncentrace mědi. Bez ohledu na dobu od aplikace šedé vody do zasakovacích pásů až po její vypuštění a bez ohledu na výši saturace filtru vodou mezi sebou všechny filtrační materiály vykazovaly téměř srovnatelnou průměrnou účinnost čištění (defaultní skladba 94,75 %, antuka 95,56 %, štěpka 94,03 % a biouhel 95,41 %). Během celého experimentu byla účinnost čištění u všech filtračních materiálů velmi vysoká.

Vzhledem k minimálním rozdílům v účinnosti čištění mezi zasakovacími pásy s 70% a 30% saturací, lze usuzovat, že saturace filtrů zásadní vliv na účinnost při odstraňování mědi neměla.

6.9 Nikl

Podobně jako u mědi vykazovaly všechny typy zasakovacích pásů velmi vysoké účinnosti při snižování koncentrace niklu. Bez ohledu na dobu od aplikace šedé vody do zasakovacích pásů až po její vypuštění a na výši saturace filtru vodou mezi sebou všechny filtrační materiály vykazovaly téměř srovnatelnou průměrnou účinnost čištění (defaultní skladba 95,00 %, antuka 95,10 %, štěpka 93,92 % a biouhel 96,14 %). Účinnost čištění byla velmi vysoká u všech filtračních materiálů během celého experimentu.

Vzhledem k minimálním rozdílům v účinnosti čištění mezi zasakovacími pásy s 70% a 30% saturací, lze usuzovat, že saturace filtrů zásadní vliv na účinnost při odstraňování niklu neměla.

6.10 Zinek

Všechny typy zasakovacích pásů, podobně jako u dvou předchozích kovů (měď a nikl), vykazovaly opět velmi vysoké účinnosti i při snižování koncentrace zinku. Bez ohledu na dobu od aplikace šedé vody do zasakovacích pásů až po její vypuštění a bez ohledu na výši saturace filtru vodou mezi sebou všechny filtrační materiály vykazovaly téměř srovnatelnou průměrnou účinnost čištění (defaultní skladba 94,02 %, antuka 92,30 %, štěpka 93,75 % a biouhel 91,86 %). Vysoké hodnoty účinnosti čištění vykazovaly všechny typy filtrů po celou dobu experimentu.

Jelikož v účinnostech čištění zasakovacích pásů s 70% a 30% saturací byly vykázány v průměru jen minimální rozdíly, saturace filtrů zásadní vliv na účinnost při odstraňování zinku pravděpodobně neměla.

6.11 Benzotriazol (BTR)

V případě snižování koncentrace benzotriazolu (bez ohledu na dobu od aplikace šedé vody do zasakovacích pásů až po její vypuštění a bez ohledu na výši saturace filtru vodou) vykazovaly všechny filtrační materiály v průměru velmi vysoké účinnosti čištění. Nejúčinnějším materiálem se jevil biouhel s průměrnou účinností 91,48 %, následovaly zasakovací pásy se štěpkou (89,27 %), poté filtry s antukou (89,10 %) a na závěr defaultní skladba s průměrnou účinností 88,48 %.

S ohledem na dobu od aplikace šedé vody do zasakovacích pásů až po její vypuštění a na výši saturace filtru vodou lze uvažovat, že na účinnost čištění vliv saturace filtrů pravděpodobně měla, jelikož zasakovací pásy s 30% saturací vykazovaly v průměru vyšší účinnost oproti filtrům s 70% saturací (defaultní skladba o 7,59 %, antuka o 12,48 %, štěpka o 11,58 % a biouhel o 1,30%). V případě použití zasakovacích pásů pouze s 30% saturací se jako nejúčinnější při odstraňování BTR jevil filtr obsahující antuku s průměrnou účinností 95,34 %, dále filtr se štěpkou (95,06 %), poté defaultní skladba (92,28 %) a nejnižší účinnost zde vykazoval biouhel (92,13 %).

7. Závěr

V experimentální bakalářské práci byl testován a porovnán vliv skladby filtračních materiálů na účinnost čištění šedých vod. Filtračními materiály, respektive přidanými aditivami ve fyzikálních modelech zasakovacích pásů byly antuka, štěpka a biouhel. Tyto tři skladby filtračního lože byly navíc porovnány s modelem zasakovacího pásu bez přidaných aditiv, tzn. s defaultní skladbou (viz Tab. 7 v kapitole 4). Sledovanými parametry byly v rámci bakalářské práce celkový organický uhlík (TOC), celkový uhlík (TC), celkový dusík (TN), dusičnany (NO_3^-), amoniakální dusík, tenzidy, polokovy a kovy (bór, měď, nikl a zinek) a benzotriazol (BTR). Dále bylo také sledováno, zda účinnost čištění u jednotlivých typů zasakovacích pásů ovlivňuje saturace filtru vodou.

Při odstraňování celkového organického uhlíku byl neúčinnější biouhel, oproti kterému zbylé filtrační materiály vykazovaly v průměru o 20 % nižší účinnost čištění. Celkový uhlík se podařilo eliminovat pouze jedné ze skupin zasakovacích pásů, a to skupině s biouhlem, ačkoliv účinnost čištění zde v průměru dosahovala pouze necelých 2 %. U všech zbylých typů filtrů docházelo naopak ke zvyšování koncentrací TC, tzn. ke znečištění. Velmi vysoké účinnosti vykazovaly všechny filtrační materiály při odstraňování celkového dusíku a dusičnanů, kde koncentrace TN a NO_3^- nejvíce eliminoval biouhel a nejnižší účinnost zde vykazovala defaultní skladba. U amoniakálního dusíku docházelo u všech typů filtrů ke zvyšování koncentrací tohoto parametru oproti koncentracím v aplikované šedé vodě, tzn. ke znečištění (bez ohledu na saturaci filtru vodou). Vzaly-li se ale v úvahu pouze zasakovací pásy s 30% saturací, míru znečištění vykazovala pak už jen defaultní skladba (ostatní typy filtrů účinně snižovaly koncentrace amoniakálního dusíku). Koncentrace tenzidů byly u všech typů zasakovacích pásů snižovány velmi efektivně, a to téměř se stejnou účinností čištění (v průměru 99 %). Při odstraňování bóru docházelo u všech typů filtrů ke zvyšování koncentrací tohoto polokovu oproti koncentracím v aplikované šedé vodě a největší míru znečištění zde vykazovala defaultní skladba. Velmi efektivní byly všechny typy filtrů při odstraňování mědi, niklu a zinku, kde byly vykazovány hodnoty účinnosti čištění v průměru nad 91 % a také benzotriazol odstraňovaly všechny typy zasakovacích pásů s vysokou účinností (v průměru od 88 % do 95 %).

Saturace filtrů vodou měla vliv pouze při odstraňování celkového uhlíku (účinnost čištění rostla s vyšší saturací), amoniakálního dusíku (míra znečištění klesala s nižší saturací) a benzotriazolu (účinnost čištění rostla s nižší saturací). Doba zdržení, resp. čas kontaktu aplikované šedé vody s filtračními materiály se projevil pouze u dvou zkoumaných parametrů, a to u amoniakálního dusíku a bóru, přičemž s delším kontaktním časem rostla míra znečištění.

Rozdíly mezi jednotlivými filtračními materiály při odstraňování mikropolutantů byly v určitých případech evidentní, avšak vliv skladby filtračních materiálů na účinnost čištění šedých vod byl v rámci experimentu vyhodnocen s poměrně uspokojivými výsledky, jelikož u většiny zkoumaných parametrů dokázaly téměř všechny typy zasakovacích pásů koncentrace daných kontaminantů efektivně snižovat. Vezmou-li se v potaz zkoumané parametry v této práci, využití biofiltrů při čištění šedé vody za účelem jejího znovuvyužití jako vody užitkové (např. pro zavlažování či mytí aut) opodstatněný význam pravděpodobně má.

8. Přehled literatury a použitých zdrojů

Abudi N.Z., 2017: The effect of sand filter characteristics on removal efficiency of organic matter from grey water. *Al-Qadisiyah Journal for Engineering Sciences*. 4 (2). s. 143–155.

Bartáček J., Dolejš P., Kabelková I., Matějů L., Stránský D., Šátková B., 2021: Studie problematiky recyklace šedých vod v sídlech ČR (online) [cit. 2021 09.15], dostupné z [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/prioritni_osa_6_seznam_projektu/\\$FILE/ofeu-studie_sede_vody-20210517.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/prioritni_osa_6_seznam_projektu/$FILE/ofeu-studie_sede_vody-20210517.pdf).

Bartoník A., Holba M., Vrána J., Ošlejšková M., Plotěný K., 2012: Šedé vody – možnosti využití jejich energetického potenciálu a způsoby jejich čištění a znovuvyužití. *Vodní hospodářství*. 62 (2). s. 60–65.

Biela R., 2011: Kvalita šedých vod a možnost jejich využití (online) [cit. 2021 01.11], dostupné z <https://voda.tzb-info.cz/8097-kvalita-sedych-vod-a-moznost-jejich-vyuziti>.

Dalahmeh S.S., Pell M., Vinnerås, B., Hylander, L.D., Öborn, I., Jönsson, H., 2012: Efficiency of bark, activated charcoal, foam and sand filters in reducing pollutants from greywater. *Water, Air, and Soil Pollution* 223. s. 3657–3671.

Dolejš P., Štrausová K., Dobiáš P., 2010: Modelové ověření nového filtračního materiálu filtralite ve dvouvrstvých filtrech (online) [cit. 2022 13.29], dostupné z <http://www.wet-team.cz/files/konference/2010/PV2010%20sbornik/15-Dolejs.pdf>.

Dolejš P., Dobiáš P., Štrausová K., 2012: Porovnání filtrů s pískovou náplní a s náplní Filtralite Mono-Multi na dvou úpravách pitné vody v ČR (online) [cit. 2022 03.29], dostupné z <<http://www.wet-team.cz/files/konference/2012/PV%20sbornik%202012/Pitna%20voda%202012-24-Dolej%C5%A1%2C%20Dobi%C3%A1%C5%A1%202.pdf>>.

El-Taweel G.E., Ali G.H., 2000: Evaluation of roughing and slow sand filters for water treatment. *Water, Air, and Soil Pollution* 120. s. 21–28.

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

Hnátková T., Šereš M., 2016: Kořenové čistírny odpadních vod a využití přečištěných odpadních vod – opatření pro snižování rizik sucha a eutrofizace povrchových zdrojů vody v návaznosti na zemědělskou výrobu. *Vodní hospodářství*. 66 (8)., s. 19-21.

Chábera S., Kössl R., 1999: *Základy fyzické geografie (přehled hydrogeografie)*. JČU, České Budějovice, 159 s.

Chudoba J., Dohányos M., Wanner J., 1991: *Biologické čištění odpadních vod*. SNTL, Praha, 465 s.

Jedličková, B., Hilscherová, K., Bláha, L., 2010: Látky narušující hormonální rovnováhu organismů a celková toxicita odpadní vody – Roční studie na ČOV v Brně Modřicích. *Vodní hospodářství* 1. s. 3-6.

Jenkins D., Russell L.L., 1994: Heavy metals contribution of household washing products to municipal wastewater. *Water Environment Research* 66. s. 805–813.

Kaetzl K., Lübken M., Gehring T., Wichern M., 2018: Efficient low-cost anaerobic treatment of wastewater using biochar and woodchip filters. *Water* 10 (7). s. 818.

Kettnerová M., 2018: Případová studie využití srážkových a šedých vod v budově základní školy. ČVUT, Katedra technických zařízení budov, Praha. 89 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. ČVUT DSpace.

Komínková D., Benešová L., Šťastná G., 2014: Úprava pitných a čištění odpadních vod. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. 238 s. (učební materiál). „nepublikováno“. Dep. Moodle ČZU v Praze.

Lhotáková Z., 2014: Zpětné využívání odpadních vod v domech pro bydlení (online) [cit. 2021.01.07], dostupné z <<https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/11202-zpetne-vyuzivani-odpadnich-vod-v-domech-pro-bydleni>>.

Mackulák T., Brandeburová P, Grenčíková A., Žemlička L., Tichý J., Bodík I., Grabic R., Kišš L., 2016: Možný prienik liečiv a drog zo stabilizovaného kalu priamo do rastlín. *SOVAK Časopis oboru vodovodů a kanalizací*. 25 (6). s. 4–5.

Martínez-Alcalá I., Pellicer-Martínez F., Fernández-López C., 2018: Pharmaceutical grey water footprint: Accounting, influence of wastewater treatment plants and implications of the reuse. *Water Research* 135. s. 278–287.

Moges, M.E., Eregno F.E., Heistad A., 2015: Performance of biochar and filterlite as polishing step for on-site greywater treatment plant. *Management of Environmental Quality: An International Journal* 26(4). s. 607–625.

Molaei R., 2014: Pathogen and Indicator Organisms Removal in Artificial Greywater Subjected to Aerobic Treatment (online) [cit. 2021.10.10], dostupné z <https://stud.epsilon.slu.se/6378/7/molaei_r_140130.pdf>.

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

Novotná A., 2013: Filtrační materiály pro vodárenskou filtraci. VUT, Fakulta stavební, Brno. 58 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. VUT v Brně DSpace.

Pavelková Chmelová R., 2013: Základy fyzické geografie 1: Hydrologie. UPOL, Olomouc, 141 s.

Pitter P., 2015: Hydrochemie 5. vydání. VŠCHT, Praha, 792 s.

Plotěný K., 2011: Dělení vod, bílé a šedé vody – nové poznatky a možnosti využití (online) [cit. 2021.09.29], dostupné z <<https://www.asio.cz/cz/55.deleni-vod-bile-a-sede-vody-nove-poznatky-a-moznosti-vyuziti>>.

Plotěný K., 2013: Využití šedých a dešťových vod v budovách (online) [cit. 2021 01.11], dostupné z <<https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/10121-vyuziti-sedych-a-destovych-vod-v-budovach>>.

Plotěný K., 2017: Decentrál, stále nechtěné dítě (online) [cit. 2021.01.07], dostupné z <<https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/16151-decentral-stale-nechtene-dite>>.

Plotěný K., 2019: Recyklace šedých vod a jejich využití (online) [cit. 2021.01.07], dostupné z <<https://www.asio.cz/cz/999.recyklace-sedych-vod-a-jejich-vyuziti>>.

Plotěný K., 2021: Technická opatření pro využití šedé vody (online) [cit. 2021.09.10], dostupné z <<https://www.asio.cz/cz/1167.technicka-opatreni-pro-vyuziti-sede-vody>>.

Plotěný K., Bartoník A., 2012: Čištění šedých vod a možnost využití energie z nich (online) [cit. 2021.09.15], dostupné z <<https://www.asio.cz/cz/153.cisteni-sedych-vod-a-moznost-vyuziti-energie-z-nich>>.

Šťastný V., 2019: Biouhel – nová perspektiva v technologii dočišťování odpadních vod, nebo slepá ulička? Vodohospodářské technicko-ekonomické informace. 61 (3) s. 40–43.

Švehla P., Tlustoš P., Balík J., 2004: Odpadní vody. ČZU, Praha, 107 s.

Thompson K.A., Valencia E.W., Scott Summers R., Cook, S.M., 2020: Sorption, coagulation, and biodegradation for greywater treatment. Water Science and Technology 81. s. 2152–2162.

ÚKZÚZ, 2001: zákon č. Zákon č. 254/2001 Sb. §38. Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) (online) [cit. 2021 01.11], dostupné z <<http://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/pripravky-na-or/legislativa/legislativa-cr/zakon-2001-254-viceoblasti.html>>.

Vrána J., 2018: Nová evropská norma pro využití srážkových vod (online) [cit. 2021.01.07], dostupné z <<https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/17616-nova-evropska-norma-pro-vyuziti-srazkovych-vod>>.

Wikipedia, 2021a: Chloróza (online) [cit. 2021.09.13], dostupné z <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Chlor%C3%B3za>>.

Wikipedia, 2021b: Dioxiny (online) [cit. 2021.10.18], dostupné z <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Dioxiny>>.