

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ



**Česká
zemědělská
univerzita
v Praze**

**EXPERIMENTÁLNÍ POROVNÁNÍ VHODNOSTI
FILTRAČNÍCH MATERIÁLŮ PRO ODSTRANĚNÍ
VYBRANÝCH MIKROPOLUTANTŮ PŘÍTOMNÝCH
V ŠEDÝCH VODÁCH**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: prof. RNDr. Dana Komínková, Ph.D.
Diplomant: Radim Hladký

2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Radim Hladký

Krajinné a pozemkové úpravy

Název práce

Experimentální porovnání vhodnosti filtračních materiálů pro odstranění vybraných mikropolutantů přítomných v šedých vodách

Název anglicky

Experimental verification of the suitability of selected filter materials for the removal of micropollutants present in gray waters

Cíle práce

Cílem práce je na základě experimentální práce ověřit a vyhodnotit vhodnost různých filtračních materiálů využitých ve filtračním loži zasakovacího pásu za účelem odstranění mikropolutantů přítomných v šedých vodách.

Metodika

S využitím fyzikálního modelu zasakovacího pásu bude ověřena vhodnost a účinnost různých aditiv do filtračních loží (netříděný biochar, antuka a mykorhíza) pro čištění šedých vod, resp. odstranění mikropolutantů z těchto vod.

Vyhodnocení proběhne na základě kvalitativních charakteristik šedé vody s přihlédnutím na stanovené koncentrační a jiné limity vybraných látek či charakteristik podmiňujících její znovuvyužití.

Doporučený rozsah práce

60 stran

Klíčová slova

šedé vody; čištění; mikropolutanty; filtrace

Doporučené zdroje informací

ČSN EN 16941-2: Zařízení pro využití nepitné vody na místě – Část 2: Zařízení pro využití čištěné šedé vody. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2021. 32 s.

Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., Ledin, A., 2002: Characteristics of grey wastewater. Urban Water 4, 85–104.

Morel, A., Diener, S., 2006: Greywater management in low and middle-income countries: review of different treatment systems for households or 89 neighbourhoods. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf, 107 s

Ramprasad, C., Philip, L., 2016: Surfactants and personal care products removal in pilot scale horizontal and vertical flow constructed wetlands while treating greywater. Chemical Engineering Journal 284, 458–468.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

prof. RNDr. Dana Komínková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Konzultant

Ing. Fatma Öykü Cömez

Elektronicky schváleno dne 28. 2. 2023

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „Experimentální porovnání vhodnosti filtračních materiálů pro odstranění vybraných mikropolutantů přítomných v šedých vodách“ vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

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

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

V Praze, dne 30. března 2023

Radim Hladký

Poděkování

Tímto bych chtěl upřímně poděkovat prof. RNDr. Daně Komínkové, Ph.D., Ing. Fatma Öykü Cömez a Ing. Jaroslavu Vaculovi, a to především za vynaložený čas, cenné odborné rady, věcné připomínky a ochotu pomoci, v průběhu experimentu i při tvorbě mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a nejbližším za podporu během mého dosavadního studia i za trpělivost, kterou se mnou během této doby měli.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá experimentálním ověřením a vyhodnocením vhodnosti vybraných aditiv ve filtračním loži zasakovacího pásu při čištění šedé vody pro účely jejího opětovného využití. Byla zhotovena desítka fyzikálních modelů zasakovacích pásů (resp. filtrů) pro každé aditivum (biouhel, mykorhizu a antuku) a desítka filtrů bez aditiva (kontrolní, tzv. default). Polovina filtrů byla provozována s konstantní saturací 30 % a druhá polovina s proměnlivou saturací od 30 do 70 %, celkem tedy 8 skupin, jež byly testovány ve 4 etapách. Měřenými parametry kvality vody bylo pH, konduktivita, zákal, celkové nerozpuštěné látky (TSS), formy uhlíku (TOC, IC a TC), celkový dusík (TN), amoniakální dusík (NH₄-N), základní anionty (F⁻, Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, Br⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻), aniontové tenzidy, koncentrace kovů (B, Cu, Ni a Zn) či koncentrace Flukonazolu a Ibuprofenu. Aditiva dokázala nepatrně zvýšit účinnost filtrů (tzn. filtry s obsahem aditiva vykazovaly vyšší účinnost o 5 % a více v porovnání s defaultem, avšak tento rozdíl nebyl vyhodnocen jako signifikantní, $p > 0,05$) při odstraňování následujících parametrů (účinnost uváděna postupně pro biouhel, mykorhizu a antuku): TOC (64 %; 54 %; 53 %), TN (80 %; 77 %; 76 %), TSS (31 %; 63 %; 13 %) a v závislosti na hydraulickém zatížení filtrů také chloridů (až 11 %; 11 %; 14 %), či bromidů (až 53 %; 52 %; 49 %). Při odstraňování dusitanů nepatrně zvýšil účinnost také biouhel či antuka (účinnost 88 %; respektive 91 %), nebo mykorhiza při odstraňování fosforečnanů (účinnost 44 %). Biouhel poté jako jediné aditivum dokázal zvýšit účinnost filtrů při odstraňování farmak, konkrétně při odstraňování Ibuprofenu nepatrně zvýšil účinnost na 85 % (o 18 % vyšší účinnost v porovnání s defaultem) a poté prokazatelně (tedy jeho přínos byl statisticky prokázán, $p < 0,05$) při odstraňování Flukonazolu, kde dosahoval účinnosti 89 % (o 58 % vyšší účinnost v porovnání s defaultem). Při odstraňování dusičnanů, chloridů či bromidů byl prokázán vliv hydraulického zatížení filtrů na jejich účinnost a při odstraňování zinku se projevilo stárnutí filtrů. V ostatních parametrech aditiva nevykazovala výrazné benefity, či dokonce vedla ke snížení účinnosti filtrů, přesto však aditiva dokázala přispět ke splnění některých přípustných limitů na recyklovanou šedou vodu stanovených českými technickými normami, případně ke splnění limitů doporučených Světovou zdravotnickou organizací. Při zhodnocení finančních nákladů na obohacení zasakovacího pásu vybraným aditivem a zvýšení účinnosti čištění šedých vod lze konstatovat, že zatímco biouhel a antuka jsou přijatelná řešení, tak přidání mykorhizy, vzhledem k její vysoké pořizovací ceně, nepřináší požadovaný efekt a nelze doporučit její široké využití.

Klíčová slova

Úprava šedé vody, filtrace, biouhel, mykorhiza, antuka

Abstract

The diploma thesis deals with the experimental verification and suitability evaluation of selected additives used in the infiltration trenches filter beds for the treatment of gray water and its reuse. Ten physical models of the infiltration trenches (respectively filters) were made for each additive (biochar, mycorrhiza and clay) and ten filters without additive (control, so-called default). Half of the filters were operated with a constant saturation of 30 % and the other half with a variable saturation of 30 % to 70 %, i.e. a total of 8 groups tested in 4 repetitions each. Measured water quality parameters were pH, conductivity, turbidity, total suspended solids (TSS), forms of carbon (TOC, IC and TC), nitrogen (TN), ammoniacal nitrogen (NH₄-N), non-metals (F⁻, Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, Br⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻), anionic tensides, concentrations of metals (B, Cu, Ni and Zn), or concentrations of Fluconazole and Ibuprofen. Additives were able to slightly increase the efficiency of the filters (the filters with additive showed > 5 % efficiency compared to filters without additive, so called default, however, this difference was not evaluated as significant, $p > 0.05$) in removing the following parameters (removal efficiencies are presented in order biochar, mycorrhiza and clay): TOC (64 %; 54 %; 53 %), TN (80 %; 77 %; 76 %), TSS (31 %; 63 %; 13 %) and depending on the hydraulic load chlorides (up to 11 %; 11 %; 14 %) or bromides (up to 53 %; 52 %; 49 %). Biochar or clay slightly increased the efficiency in removing nitrites (efficiency 88 %; respectively 91 %), as well as mycorrhiza slightly increased removal of phosphates (efficiency 44 %). Biochar was the only additive able to increase the efficiency of the infiltration systems for the removal of pharmaceuticals. Specifically in the removal of Ibuprofen up to 85 % (18 % higher than default) and significantly higher efficiency ($p < 0,05$) in the removal of Fluconazole where it achieved 89 % (58 % higher than default). During the removal of nitrates, chlorides or bromides, the influence of the hydraulic load of the filters on their efficiency was demonstrated, and the aging of the filters was evident during the removal of zinc. In the other parameters, the additives did not show significant benefits, or even led to a reduction in the efficiency of the filters, however, the additives was able to contribute to meeting some permissible limits for recycled gray water set by czech technical standards, or recommended limits by the World Health Organization. When evaluating the financial costs of additives and evaluating their efficiency of gray water treatment, it can be stated biochar and clay are acceptable solutions, but the addition of mycorrhiza does not bring the desired effect due to its high purchase price, and its wide use cannot be ecommended.

Key words

Grey water treatment, filtration, biochar, mycorrhiza, clay

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle práce	3
3. Šedé vody	4
3.1 Původ šedých vod	4
3.2 Složení a dělení šedých vod, jejich chemické charakteristiky.....	5
3.2.1 Tmavá šedá voda.....	5
3.2.2 Světlá šedá voda.....	6
3.2.3 Šedá voda (bez dalšího dělení)	6
3.2.4 Vliv složení splaškové odpadní vody na kvalitu šedé vody	12
3.3 Možnosti opětovného využívání šedých vod.....	13
3.4 Rizika spjatá s opětovným využíváním šedých vod	13
3.4.1 Rizika pro lidské a veřejné zdraví	13
3.4.2 Environmentální rizika	15
3.5 Produkované množství šedých vod	19
4. Recyklace šedých vod, resp. požadavky na kvalitu bílých vod.....	22
4.1 Legislativa upravující možnost znovuvyužití šedých vod.....	25
4.1.1 Legislativa České republiky	25
5. Přehled obdobných experimentů	30
5.1 Filtry obsahující biouhel.....	30
5.2 Filtry obsahující antuku.....	41
5.3 Filtry obsahující mykorhizu	44
5.4 Filtry obsahující písek.....	45
5.5 Filtry obsahující kompost.....	52
6. Metodika.....	58
6.1 Design fyzikálního modelu zasakovacího pásu.....	58
6.2 Testovaná filtrační aditiva	60
6.3 Syntetická šedá voda.....	61
6.4 Způsob aplikace šedé vody, vypuštění filtrů a odběru vzorků	64

6.5	Vlastní experiment.....	66
6.6	Chemická analýza šedé a bílé vody.....	69
6.7	Úhrny srážek a teplota ovzduší.....	71
6.8	Statistické vyhodnocení dat.....	72
7.	Výsledky.....	73
7.1	Flukonazol.....	79
7.2	Ibuprofen.....	85
7.3	Aniontové tenzidy.....	90
7.4	Bor (B).....	94
7.5	Měď (Cu).....	97
7.6	Nikl (Ni).....	101
7.7	Zinek (Zn).....	105
7.8	Celkový organický uhlík (TOC).....	109
7.9	Anorganický uhlík (IC).....	114
7.10	Celkový uhlík (TC).....	117
7.11	Celkový dusík (TN).....	120
7.12	Dusitany (NO_2^-).....	125
7.13	Dusičnany (NO_3^-).....	129
7.14	Amoniakální dusík ($\text{NH}_4\text{-N}$).....	133
7.15	Fosforečnany (PO_4^{3-}).....	136
7.16	Celkové nerozpuštěné látky (TSS).....	140
7.17	Zákal.....	145
7.18	pH.....	149
7.19	Konduktivita.....	151
7.20	Fluoridy (F^-).....	155
7.21	Chloridy (Cl^-).....	158
7.22	Bromidy (Br^-).....	163
7.23	Sírany (SO_4^{3-}).....	167
8.	Diskuse.....	170

8.1	Odstraňování farmak a aniontových tenzidů	170
8.2	Odstraňování kovů (B, Cu, Ni a Zn)	171
8.3	Odstraňování uhlíku (TOC, IC, TC).....	172
8.4	Odstraňování dusíku (TN, NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ a NH ₄ -N)	173
8.5	pH, konduktivita, zákal a odstraňování TSS.....	176
8.6	Další anionty (PO ₄ ³⁻ , Cl ⁻ , Br ⁻ , F ⁻ , SO ₄ ³⁻).....	177
8.7	Vliv srážek	179
8.8	Konfrontace dosažených výsledků s přípustnými koncentracemi.....	179
9.	Závěr	181
10.	Seznam literatury.....	183
10.1	Odborné publikace	183
10.2	Legislativní zdroje.....	189
10.3	Internetové zdroje.....	189
10.4	Ostatní zdroje	191
11.	Seznam grafů	194
12.	Seznam tabulek.....	196
13.	Seznam obrázků.....	200
14.	Seznam příloh	201
15.	Přílohy	206

1. Úvod

Nedostatek sladké vody je na celosvětové úrovni hojně diskutované téma, přičemž nedostatek vody nemusí být způsoben pouze jejím nadměrným využíváním či suchem, ale také může být důsledkem jejího znečištění (*Preciuk, 2018*). Celosvětově se poptávka po vodě zvyšuje přibližně o 1 % ročně v důsledku růstu populace, hospodářského rozvoje a dalších faktorů, přičemž predikce hovoří ještě o rychlejším nárůstu poptávky (*WWAP, 2018*). Nedostatek vody se však netýká pouze rozvojových zemí, neboť nedostatek vody už v roce 2019 zasáhl přibližně 29 % území Evropské unie (*EEA, ©2023*) a ze studií klimatické změny či predikcí jejího dalšího vývoje jsou vlny extrémních veder a nedostatek vody především v jižní Evropě pouze jedním z řady stěžejních dopadů klimatické změny (*Feyen & kol., 2020*). Rovněž současný stav vodních zdrojů klade důraz na potřebu důmyslnějšího hospodaření s vodními zdroji (*WWAP, 2021*) a uvedená fakta poté přímo vybízí k ochraně a šetrnému zacházení s vodou.

Jednou z možných cest, jak snížit celkovou spotřebu především pitné vody a podpoření udržitelnosti cenných vodních zdrojů, je recyklace vody šedé (*Edwin & kol., 2013; Nolde, 2000*). Jedná se o odpadní vodu pocházející z domácností, škol, kancelářských budov apod., avšak nezahrnující splaškovou odpadní vodu z toalet a pisoárů (*Eriksson, 2002; Eriksson & kol., 2002; Boyjoo & kol., 2013; Jefferson & kol., 2000*). Mezi možnostmi, jak šedou vodu znovu využívat, je nejčastěji skloňováno použití pro splachování toalet, případně pisoárů, nebo pro zavlažování zahrad (*Al-Jayyousi, 2003; Bartoník & kol., 2012; Christova-Boal & kol., 1996*), existuje však řada dalších možných využití. S opětovným využíváním šedé vody je ale spjata řada rizik, jak environmentálních, tak pro lidské či veřejné zdraví. Těmto rizikům lze předcházet dodržováním kvalitativních parametrů stanovených závaznou, případně doporučující formou, kterých je třeba v recyklované šedé vodě dosáhnout. Pro splnění těchto kvalitativních parametrů je ovšem třeba šedou vodu upravovat, neboť sama o sobě požadovaných kvalit zpravidla nedosahuje. Jako způsob její úpravy se nabízí filtrace, např. pomocí zasakovacích pásů, avšak úprava pouze pomocí filtrace pravděpodobně nedokáže splnit kvalitativní požadavky a je třeba ji podpořit dalšími způsoby úpravy (*Hladký, 2021; Thompson & kol., 2020*).

Potenciál úspory pitné vody v domácnostech díky recyklaci šedé vody může být zásadní, neboť odpadní voda z praček prádla, van, sprch a umyvadel tvoří přibližně 50 až 80 % veškeré odpadní vody z domácností (*Al-Jayyousi, 2003*) a právě tato odpadní voda může být opětovně využívána pro zmiňované účely. Spotřeba pitné

vody použité pouze pro splachování toalet v domácnostech činí přibližně 30 % a v komerčních budovách může dosahovat až 60 % z celkové spotřeby (*Bartoník & kol., 2012*), přičemž pro účely splachování toalet rozhodně není třeba využívat vodu dosahující kvalit vody pitné. Potenciální úspora pitné vody se poté může pohybovat v řádu desítek litrů na osobu a den, neboť její průměrná denní spotřeba v České republice za rok 2021 činila 93,2 litrů na osobu (*Bílý, 2022*).

2. Cíle práce

Cílem práce je na základě experimentální práce ověřit a vyhodnotit vhodnost různých filtračních materiálů využitých ve filtračním loži zasakovacího pásu za účelem odstranění mikropolutantů přítomných v šedých vodách.

3. Šedé vody

Šedé vody, pojmenované dle jejich nezaměnitelného zbarvení (*Bartoník & kol., 2012*), mohou pocházet z různých zdrojů a mít různé složení či množství, přičemž všechny tyto aspekty ovlivňuje široká škála faktorů, které do jejich produkce vstupují. Obecně však platí, že šedé vody jsou méně znečištěné než městské odpadní vody. Recyklace a opětovné využívání šedých vod se poté jeví jako vhodný způsob vedoucí ke snížení spotřeby pitné vody a s ním spjatými přínosy pro životní prostředí, případně i jako možnost pro finanční úspory v domácnostech. Avšak existují i environmentální rizika či rizika pro lidské a veřejné zdraví, spjatá právě s opětovným využíváním šedých vod, přičemž všechna uvedená hlediska týkající se šedých vod tato kapitola rozvádí a podrobně se jimi zabývá.

3.1 Původ šedých vod

Česká technická norma "ČSN EN 16941-2: Zařízení pro využití nepitné vody na místě - Část 2: Zařízení pro využití čištěné šedé vody" (nadále také "ČSN EN 16941-2") hovoří o šedé vodě jako o splaškové (domovní) odpadní vodě vyjma odpadních vod z WC a pisoárů, technická norma "ČSN EN 16323: Slovník technických termínů v oblasti odpadních vod" (nadále také "ČSN EN 16323") poté hovoří o splaškové (domovní) odpadní vodě bez fekálií a moči. Obsah fekálií a moči nelze však dle technické normy ČSN 75 6780: *Využití šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích* (nadále také "ČSN 75 6780") u šedé vody z koupelen plně vyloučit, k čemuž se přiklání i autoři *Seenirajan & kol., 2018; Ottoson & Stenström, 2003* či *Morel & Diener, 2006*, kteří připouští její fekální kontaminaci v důsledku mytí těla či péče o děti. Splaškovou (domovní) odpadní vodu obsahující pouze fekálie, moč a toaletní papír poté dle ČSN EN 16323 označujeme jako vodu černou.

Obecně je tedy šedá voda splaškovou (domovní) odpadní vodou pocházející z umyvadel, sprch, van, kuchyňských dřezů, myček nádobí a praček prádla, což je v plném souladu s tvrzeními autorů *Jefferson & kol. (2000)* či *Boyjoo & kol. (2013)*, přičemž někteří autoři přímo nevymezují pojem "domovní" (*Ottoson & Stenström, 2003; Otterpohl & kol., 1999*), či hovoří o šedé vodě pocházejících z domácností, kancelářských budov, škol či určitých průmyslových odvětví (*Eriksson, 2002; Eriksson & kol., 2002*).

ČSN EN 16941-2 také zavádí termín "lehká šedá voda", což je šedá voda s výjimkou odpadních vod z kuchyní a praček. Tato lehká šedá voda, jindy

označována jako světlá šedá voda, tedy pochází zejména z koupelen - umyvadel, sprch a van (Kettnerová, 2018; Friedler & Hadari 2006). K vyloučení vod z kuchyní (kuchyňských dřezů a myček nádobí), tedy k užívání pouze lehké šedé vody, se přiklání i autoři Al-Jayyousi (2003), Christova-Boal & kol. (1996) či Wilderer (2004). Také se nabízí zavedení pojmu “tmavá” šedá voda, který však ČSN EN 16941-2 nezahrnuje a jedná se o šedou vodu pocházející z kuchyní (kuchyňských dřezů a myček nádobí) a praček prádla (Kettnerová, 2018).

3.2 Složení a dělení šedých vod, jejich chemické charakteristiky

Úzce spjatým tématem souvisejícím s původem šedých vod je jejich složení. V obecné rovině je složení (a také množství) šedé vody velice proměnlivé a odvíjí se především od využívaných přípravků osobní hygieny, pracích prostředků, přípravků do myčky nádobí, běžných čisticích prostředků a dalších chemikálií běžně užívaných v domácnostech (např. čističe odpadů apod.), složení uvedených přípravků, či například způsobu vaření (obsah tuků a olejů). Užívání vyjmenovaných prostředků a chemikálií i způsob přípravy pokrmů poté vychází z počtu členů v domácnosti, pohlaví těchto členů a jejich věku, životním stylu, kvalitě života (míněny jeho indikátory) ve vazbě k ekonomické situaci domácnosti, dostupnosti vody, geografické poloze, ročním obdobím a dalších proměnlivých faktorech (Al-Jayyousi, 2003; Morel & Diener, 2006; Boyjoo & kol., 2013, Boano & kol., 2019, Diaper & kol., 2008; Hawaii State Department of Health, 2009). Zároveň se složení, resp. kvalita šedé vody, může odvíjet jak od typu rozvodné infrastruktury pitné vody a kvality pitné vody, tak od typu odpadní sítě v návaznosti na způsob a dobu skladování šedé vody (Eriksson & kol., 2002).

3.2.1 Tmavá šedá voda

Budeme-li vycházet z již zavedeného pojmu “tmavá šedá voda“, jeví se takováto odpadní voda z kuchyní a praček prádla jako nejméně vhodná pro recyklaci a následné znovuvyužití. V případě kuchyňských dřezů a myček nádobí není vhodná díky vysokému obsahu zbytků jídla, dalších odpadů doprovázených hnilobou a vysokému obsahu rostlinných olejů či potravinářských tuků, případně také díky užívání čističů odpadů a mycích prostředků na nádobí či tablet do myčky (Christova-Boal & kol, 1996; Seenirajan & kol., 2018; Wilderer, 2004; Morel & Diener, 2006; NWC, 2008). Allen & kol. (2010) hovoří i o zvýšené salinitě a pH, zatímco Seenirajan & kol. (2018), Eriksson & kol. (2002) a další uvádějí, že v důsledku mytí zeleniny či syrového masa se do šedé vody mohou také dostat některé patogeny. U praček prádla se zase setkáváme s problematickým složením pracích prostředků

(vysoký obsah sodíku, fosforu, povrchově aktivních látek či dusíku) a nadále s bělidly, nerozpuštěnými látkami, oleji, barvami (z oblečení), rozpouštědly či biologicky nerozložitelnými vlákny z textilií (Allen & kol., 2010; Morel & Diener, 2006; Christova-Boal & kol, 1996). Můžeme se také setkat s fekálním znečištěním s přidruženými patogeny a parazity v důsledku praní fekálně znečištěného oblečení či jiných textilií, např. dětských plen (Morel & Diener, 2006; Seenirajan & kol., 2018; Ottoson & Stenström, 2003). Případně se dle NWC (2008) mohou v odpadní vodě z praček objevit i tělesné tuky, moč, nebo krev. Aonghusa & Gray (2002) se zabývali obsahem těžkých kovů v pracích prostředcích a zjistili, že kadmium, měď a zinek byly obsaženy ve všech testovaných značkách pracích prostředků.

3.2.2 Světlá šedá voda

Pro recyklaci a následné znovuvyužití se tedy nabízí především tzv. lehká (světlá) šedá voda z koupelen, která je považována za nejméně znečištěný typ šedé vody (Morel & Diener, 2006). Charakteristické znečištění tmavé šedé vody je většinou potlačeno, ačkoliv není plně vyloučeno – například fekální znečištění s přidruženými patogeny se může objevit (zpravidla v omezené míře) v důsledku mytí těla, rukou či dětí (Seenirajan & kol., 2018; Ottoson & Stenström, 2003; Morel & Diener, 2006), případně se dle NWC (2008) může ve světlé šedé vodě objevit i moč a krev. Friedler (2004) poté identifikoval vany a sprchy dokonce jako hlavní zdroj fekálního znečištění šedé vody (v porovnání s umyvadly, kuchyňskými dřezy, myčkami nádobí, ale i pračkami prádla). Polutanty světlé šedé vody tvoří zejména mýdla, sprchové gely, šampóny, zubní pasty, deodoranty, barvy na vlasy a další produkty osobní péče a můžeme v nich nalézt také chlupy (jakožto zbytek po holení), vlasy, kůži, tělesné tuky, různé živiny a textilní vlákna (Allen & kol., 2010; Morel & Diener, 2006; Seenirajan & kol., 2018; NWC, 2008). NRMMC & kol. (2006) také hovoří o opalovacích krémech a různých chemikáliích, jež se do šedé vody dostanou díky nevhodnému způsobu likvidace – např. zahradní chemie, barvy, rozpouštědla a produkty petrochemie (benzín, nafta, ..).

3.2.3 Šedá voda (bez dalšího dělení)

Pro zjištění skutečného složení šedé vody, respektive zjištění jejích kontaminantů, je nutností na šedou vodu pohlížet i jako na celek, tedy bez dělení na světlou a tmavou šedou vodu, částečně také proto, že některé studie se zabývaly složením šedé vody jako celku. Příkladem může být studie provedená Turner & kol. (2016) ze které vyplývá, že se v šedé vodě nacházejí koncentrace řady rozpuštěných kovů, konkrétně Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Pb, Mn, Ni a Zn. Přičemž hliník dosahoval

60x vyšších koncentrací v šedé vodě v porovnání s vodou dešťovou a například koncentrace boru, mědi a železa překračovaly maximální přípustné koncentrace pro rozpuštěné těžké kovy v případě užívání vody jako závlahové pro dlouhodobé použití (až 100 let) dle *ANZECC/ARMCANZ (2000)*. Zároveň byly naměřeny zvýšené koncentrace Al, As, Mn a Sr ve srovnání se zdrojovou vodou. Výskyt rozpuštěného boru zachycují také další studie, např. *Gross & kol. (2008)* v izraelské šedé vodě naměřil koncentraci $1,3 \pm 0,4$ mg/l, respektive pro šedou vodu vyjma odpadní vody z kuchyní $0,6 \pm 0,2$ mg/l (*Gross & kol., 2005*). *Mandal & kol. (2011)* poté pro šedou vodu v Indii, vyjma odpadní vody z kuchyní, naměřil koncentraci 1,4 mg/l rozpuštěného boru.

Obsah těžkých kovů a dalších prvků v šedé vodě je uveden v Tab. 3.1 a Tab. 3.2, které jsou rešerší naměřených hodnot v šedé vodě dle země a původu (vany, sprchy, kuchyně, pračky, ..). Tab. 3.3 a Tab. 3.4 poté zachycují další vybrané charakteristiky šedé vody.

Země původu →	Nizozemsko ^{A)}		Švédsko ^{B)}	Omán ^{C)}	Austrálie ^{D)}	Velká Británie ^{E)}	Omán ^{C)}	Austrálie ^{D)}	Omán ^{C)}
Typ šedé vody →	Vany, sprchy, umyvadla, pračky prádla i kuchyně			Kuchyňské dřezy	Vany, sprchy a umyvadla		Sprchy	Pračky prádla	
Parametr ↓									
Hliník (Al) [mg/l]	0.49 ± 0.31	7.35 ± 6.07	2.44	0.0108	< 1.0	0.003	0.0135	< 1.0 - 21	0.0810
Arsen (As) [µg/l]					1			1 - 7	
Bor (B) [mg/l]	0.42 ± 0.15	0.87 ± 0.49							
Baryum (Ba) [µg/l]			18.2	ND			0.0		ND
Bismut (Bi) [µg/l]			0.33						
Vápník (Ca) [mg/l]	60.79 ± 8	65.53 ± 29.34	33.8	19.6953	3.5 - 7.9	47.9	15.7835	3.9 - 12	18.7334
Kadmium (Cd) [µg/l]			0.10		< 10			< 10	
Chlor (Cl) [mg/l]					9.0 - 18			9.0 - 88	
Kobalt (Co) [mg/l]			0.00136			0			
Chrom (Cr) [µg/l]			3.7						
Měď (Cu) [mg/l]	0.08 ± 0.04	0.12 ± 0.20	0.0618	0.0000	0.06 - 0.12	0.006	0.0127	< 0.05 - 0.27	0.0064
Železo (Fe) [mg/l]	0.11 ± 0.06	1.28 ± 0.36	0.36	ND	0.34 - 1.1	0.017	ND	0.29 - 1.0	ND
Draslík (K) [mg/l]	11.2 ± 2.3	23.28 ± 8.49	8.10	5.5405	1.5 - 5.2	5.79	43.1312	1.1 - 17	23.4326
Hořčík (Mg) [mg/l]	6.15 ± 0.71	30.55 ± 34.43	5.74	20.9806	1.4 - 2.3	5.29	56.0771	1.1 - 2.9	60.8399
Mangan (Mn) [mg/l]			0.0121			0.04			
Molybden (Mo) [mg/l]						0			
Dusík (N) [mg/l]						5.00			
Sodík (Na) [mg/l]	86.35 ± 18.9	159.75 ± 44.96	77.6	148.9361	7.4 - 18		184.4993	49 - 480	667.1468
Nikl (Ni) [µg/l]			11	35.2			35.2		35.2
Legenda: ND - Nedetekováno	Zdroje: A) Leal & kol. (2007) B) Palmquist & Hanæus (2005)			C) Prathapar & kol. (2005) D) Christova-Boal & kol. (1996)		E) Jefferson & kol. (2001)			

Tab. 3.1: Obsah těžkých kovů a dalších prvků v šedé vodě (1./2)

Země původu →	Nizozemsko ^{A)}		Švédsko ^{B)}	Omán ^{C)}	Austrálie ^{D)}	Velká Británie ^{E)}	Omán ^{C)}	Austrálie ^{D)}	Omán ^{C)}
Typ šedé vody →	Vany, sprchy, umyvadla, pračky prádla i kuchyně			Kuchyňské dřezy	Vany, sprchy a umyvadla		Sprchy	Pračky prádla	
Parametr ↓									
Fosfor (P) [mg/l]	4.17 ± 2.64	5.85 ± 0.86				1.37			
Olovo (Pb) [µg/l]			2.52	62.2			103.6		82.9
Platina (Pt) [µg/l]			0.03						
Síra (S) [mg/l]	19 ± 5.04	33.18 ± 21.38	23.7		1.2 - 3.3	16.3		9.5 - 40	
Antimon (Sb) [µg/l]			0.44						
Selen (Se) [µg/l]	11.97 ± 1.52	21.43 ± 6.67			< 1			< 1	
Křemík (Si) [mg/l]	11.97 ± 1.52	21.43 ± 6.67			3.2 - 4.1			3.8 - 49	
Cín (Sn) [µg/l]			2.40						
Zinek (Zn) [mg/l]	0 ± 0	0.13 ± 0.11	0.0644	0.0392	0.2 - 6.3	0.03	2.4256	0.09 - 0.32	0.1373
Legenda: ND - Nedetekováno	Zdroje: A) Leal & kol. (2007) B) Palmquist & Hanæus (2005)			C) Prathapar & kol. (2005) D) Christova-Boal & kol. (1996)		E) Jefferson & kol. (2001)			

Tab. 3.2: Obsah těžkých kovů a dalších prvků v šedé vodě (2./2)

Země původu →	Nizozemsko ^{A)}		Izrael ^{B)}	Brazílie ^{C)}	Omán ^{D)}	Izrael ^{E)}
Typ šedé vody →	Vany, sprchy, umyvadla, pračky prádla i kuchyně			Sprchy, kuchyně a pračky prádla	Kuchyňské dřezy	Vany, sprchy, umyvadla a pračky
Parametr ↓						
Aniontové povrchově aktivní látky [mg/l]			34 ± 8,2			40 ± 4
Biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní (BSK ₅) [mg/l]	215 ± 102		133 ± 36	435 ± 256	42,1	270 ± 60
Celkové nerozpuštěné pevné látky (TSS) [mg/l]				120 ± 83	505	138 ± 21
Celkové pevné látky (TS) [mg/l]				561 ± 2,646	817	
Celkové rozpuštěné pevné látky (TDS) [mg/l]					312	
Celkový dusík (N _{tot}) [mg/l]	17.2 ± 4.7	47.78 ± 27.06	19 ± 1,6	8.8 ± 4.1		14.0 ± 2.0
Celkový fosfor (P _{tot}) [mg/l]	5.7 ± 2.6	9.86 ± 8.48		5.6 ± 3.0		17.7 ± 5.1
Celkový organický uhlík (TOC) [mg/l]	114 ± 28	254,5			70,2	
Celkový počet koliformních bakterií [CFU/100 ml]				5.4x10 ⁸ ± 6.3x10 ⁸	>200.5	
Elektrická vodivost (EC) [μS/cm]			1700 ± 100		150	1400
<i>Escherichia coli</i> [CFU/100 ml]				5.4x10 ⁶ ± 4.5x10 ⁵	>200.5	
Fekální koliformní bakterie [CFU/100ml]			900 x 10 ³			1000x10 ³ ± 100x10 ³
Chemická spotřeba kyslíku (CHSK) [mg/l]	425 ± 107	1583 ± 382	400 ± 100	646 ± 278	58,0	686 ± 255
Potenciál vodíku (pH)			8,1 ± 0,1		7,1	6.7 ± 0.1
Rozpuštěný kyslík (DO) [mg/l]					3	
Tenzidy [mg/l]					41,9	
Zákal [NTU]				254 ± 204	133	
Zdroje: A) Leal & kol. (2007) C) Paulo & kol. (2009) E) Gross & kol. (2005) B) Gross & kol. (2008) D) Prathapar & kol. (2005)						

Tab. 3.3: Další vybrané charakteristiky šedé vody (1./2)

Země původu →	Pákistán ^{A)}	Kuvajt ^{B)}	Maroko ^{C)}	Omán ^{D)}	Omán ^{D)}	Itálie ^{E)}
Typ šedé vody →	Vany, sprchy a umyvadla	Umyvadla	Sprchy		Pračky	Prádelna
Parametr ↓						
Aniontové povrchově aktivní látky [mg/l]						1 - 15
Biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní (BSK5) [mg/l]	55.61 ± 17.28	15,8	59 ± 13	130,0	179,7	
Celkové nerozpuštěné pevné látky (TSS) [mg/l]	154.63 ± 45.25			353	315	90 - 200
Celkové pevné látky (TS) [mg/l]		165		683	2700	
Celkové rozpuštěné pevné látky (TDS) [mg/l]	101.50 ± 20.98	140		330	2385	
Celkový dusík (N _{tot}) [mg/l]						
Celkový fosfor (P _{tot}) [mg/l]			1.6 ± 0.5			
Celkový organický uhlík (TOC) [mg/l]				83,5	174,6	
Celkový počet koliformních bakterií [CFU/100 ml]		196		>200.5	>200.5	
Elektrická konduktivita (EC) [μS/cm]		443	645 ± 67	140	290	1300 - 3000
<i>Escherichia coli</i> [CFU/100 ml]				>200.5	>200.5	
Fekální koliformní bakterie [CFU/100ml]		0	140 x 10 ³ ± 110x10 ³			
Chemická spotřeba kyslíku (CHSK) [mg/l]	146.05 ± 49.08	50	109 ± 33	294,3	231,3	400 - 1000
Potenciál vodíku (pH)	6.23 ± 0.05	7,14	7.6 ± 0.4	7,4	8,3	7 - 9
Rozpuštěný kyslík (DO) [mg/l]		6,6	0.4 ± 0.2	2,6	2,9	
Tenzidy [mg/l]			299 ± 233	149	118,3	
Zákal [NTU]			29 ± 11	375	444	40 - 150
Zdroje: A) Ashfaq & kol. (2011) C) Merz & kol. (2007) E) Ciabattia & kol. (2009) B) Alsulaili & kol. (2015) D) Prathapar & kol. (2005)						

Tab. 3.4: Další vybrané charakteristiky šedé vody (2./2)

3.2.4 Vliv složení splaškové odpadní vody na kvalitu šedé vody

Dalším pohledem, jenž se nabízí pro zjištění potenciální kontaminantů šedé vody, je pohled na celkové složení všech odpadních vod z domácností (tedy včetně tzv. černé vody), neboť lze předpokládat, že ačkoliv některé kontaminanty se do odpadní vody mohou dostávat zpravidla přes toaletu, případně pomocí dešťové vody v případě jednotné kanalizace, nelze vyloučit jejich výskyt v šedé vodě. Příkladem může být studie zabývající se obsahem těžkých kovů v odpadní vodě v oblasti Sanfranciského zálivu v Kalifornii (*Jenkins & Russell, 1994*). Studie sledovala obsah As, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Hg, Ag či Zn (2,1; 3,0; 17; 70; 18; 17; 0,46; 4,7 a 190 mg/osoba/den), přičemž obsah některých zmiňovaných těžkých kovů v odpadních vodách ve své studii potvrzuje i *Stover & kol. (1976)*. *Muñoz & kol. (2009)* mimo jiné sledoval koncentrace kadmia, rtuti a olova v odpadní vodě ve Španělsku a naměřil relativně vysoké koncentrace (pro Cd 5,9 µg/l, pro Hg 0,65 µg/l a pro Pb 9,93 µg/l).

Studie provedená *Radjenovic & kol. (2006)* poté mimo jiné monitorovala 31 farmak v sedimentační nádrži na přítoku ČOV ve Španělsku, přičemž nejvíce čistírnu odpadních vod zatěžoval Ibuprofen (56,3 g/den), Gemfibrozil (54,3 g/den), Naproxen (37,0 g/den), Hydrochlorothiazid (33,7 g/den) či Diclofenac (27,3 g/den). Průměrný denní přítok na ČOV činil 22 000 m³ a koncentrace zmiňovaných farmak byla přibližně 2,56; 2,47; 1,68; 1,53 a 1,24 µg/l. Ze studie a experimentu v Madridu (*Muñoz & kol., 2009*) poté farmaka a farmaceutické metabolity vyplynuly jako největší zatěžovatelé čistírny odpadních vod. Mezi největší kontaminanty patřily Galaxolide s koncentrací 6,00 µg/l, 4-aminoantipirine s koncentrací 2,11 µg/l, Hydrochlorothiazid se svými 1,39 µg/l, N-formyl-4-aminoantipirine s koncentrací 1,06 µg/l, Gemfibrozil s koncentrací 0,61 µg/l či například i nikotin (0,076 µg/l).

Z Evropské studie zaměřené na analýzu odpadních vod a drog v nich obsažených (*EMCDDA, ©2021*) vyplývá nejen obsah drog, ale i jejich metabolitů v odpadních vodách. Studie se zabývala konopím (koncentrace metabolitu THC-COOH v karlovarské odpadní vodě činila 122,59 mg/1000 lidí/den), kokainem (metabolitem benzoylecgoninu), amfetaminu a MDMA (extází), kde koncentrace v pražské odpadní vodě byly 239,83; 40,07; respektive 26,6 mg/1000 lidí/den. Případně také koncentrace metamfetaminu v ostravské odpadní vodě činila 684,14 mg/1000 lidí/den (v brněnské 545,74 mg/1000 lidí/den).

3.3 Možnosti opětovného využívání šedých vod

Opětovné využívání šedé vody jako vody užitkové se jeví jako cesta ke snížení spotřeby pitné vody (*Edwin & kol., 2013; vodavdomo.cz, ©2016*) a udržitelnému využívání cenných vodních zdrojů (*Nolde, 2000*). Souvisejícím efektem poté je snížená zátěž čistíren odpadních vod, z čehož vychází i snížení celkových nákladů na nakládání s odpadními vodami (*Eriksson & kol., 2002*). Pro zajištění co největšího ekonomického efektu je však do systémů využívajících šedou vodu vhodné začlenit i srážkové vody, především s ohledem na místní podmínky a cenu vodného (*Bartoník & kol., 2012*). *Bartoník & kol. (2012)* dále uvádí, že dalším způsobem, jak podpořit ekonomickou výhodnost recyklace šedé vody, je také využívání systémů odběru zbytkového tepla z šedé vody (tzv. rekuperace tepla, resp. recyklace tepla), ať už pomocí lokálních systémů v případě rodinných domů, tak centrálních systémů pro větší objekty.

Mezi možnostmi, jak šedou vodu znovu využívat, je nejčastěji skloňováno použití pro splachování toalet, případně pisoárů, nebo zavlažování zahrad (*Al-Jayyousi, 2003; Bartoník & kol., 2012; Christova-Boal & kol., 1996; Gross & kol., 2015; Nolde, 2000; Okun, 1997; Thompson & kol., 2020*). Případně můžeme šedou vodu využívat i k zavlažování městské a rekreační zeleně, nebo k závlahám v zemědělství či zahradnictví (*NRMMC & kol., 2006*). Jako další využití se nabízí mytí ulic, mytí aut, praní prádla či využívání pro hašení požárů (*Gross & kol., 2015; Okun, 1997*). *Okun (1997)* dále uvádí jako možné využití recyklované šedé vody pro mytí oken, využití do klimatizací, užití při aplikaci biocidů, nebo dokonce při výrobě betonu či pro omezení prašnosti a při úklidu na staveništích. Nadále uvádí i možné využití ve fontánách, pro rozvoj a udržování mokřadů či navyšování průtoků vodních toků v zastavěných oblastech, které v letním období vysychají.

3.4 Rizika spjatá s opětovným využíváním šedých vod

Je však třeba brát na zřetel rizika související s opětovným využíváním šedé vody – zdravotní (především díky mikroorganismům) a environmentální aspekty, jakožto akumulace xenobiotických organických sloučenin (cizorodých umělých sloučenin, které nejsou vytvářeny přírodními procesy) a kovů v půdě či podzemní vodě (*Eriksson & kol., 2002*) a další možná rizika.

3.4.1 Rizika pro lidské a veřejné zdraví

Z hlediska lidského zdraví je nejčastěji uváděným rizikem především bakterie *Escherichia coli* a další mikroorganismy, které se do lidského těla mohou dostat

vdechnutím – např. ve formě aerosolů, které vznikají při splachování toalety, či rozstříku vody například při zavlažování zahrady (*Christova-Boal & kol., 1996; Shi & kol., 2018*). Zároveň se šedá voda při akumulaci stává velmi rychle anaerobní, neboť dochází k biodegradaci (biologickému rozkladu organických látek), a v konečném důsledku dochází ke zhoršení estetické stránky, nárůstu množství anaerobních bakterií, tvorbě zapáchajících sloučenin (čerstvá šedá voda většinou nezapáchá) a kalu, přičemž vhodným řešením je tedy okamžité ošetření a neprodlené opětovné použití (*March & kol., 2004; Seenirajan & kol., 2018*). V šedé vodě se mohou nacházet i zvýšené koncentrace těžkých kovů, farmaceutik, krve, moči či fekálního znečištění, viz kapitola 3.2, přičemž s fekálním znečištěním je spjaté riziko přítomnosti virů, bakterií, prvoků a střevních parazitů, které se do šedé vody mohou dostat i při mytí rukou infikovaných osob (*Seenirajan & kol., 2018*). Zároveň při nakládání s šedou vodou nelze vyloučit její kontakt s pokožkou, případně s ústy, resp. její požití (*Eriksson & kol., 2002; Christova-Boal & kol., 1996*). Vystavení člověka vodě obsahující syntetické organické látky či těžké kovy může působit na jeho fyzické i psychické zdraví (Molaei, R., 2014).

Pro potlačení rizik pro lidské zdraví, souvisejících především s výskytem mikroorganismů a bakterií, se nabízí dezinfekce (*Christova-Boal & kol., 1996; Shi & kol., 2018, Winward & kol., 2008*), případně bezroštrikové zavlažování (bez tvorby aerosolů). Jedná se například o mělké podpovrchové zavlažování (*Christova-Boal & kol., 1996*) či zavlažování pomocí příkopů (*Seenirajan & kol., 2018*). Ke snížení zdravotních rizik se nabízí také filtrace šedé vody (Shi & kol., 2018). Havajské pokyny pro opětovné používání šedé vody (*Hawaii State Department of Health, 2009*) se rovněž zabývají riziky využívání šedé vody pro závlahy a možnostmi jejich potlačení, přičemž (ve volném překladu) uvádí:

- K aplikaci šedé vody se nikdy nepoužívá rozstříkové závlahy, závlaha musí být provedena podpovrchovým způsobem
- Nezavlažují se ovocné a zeleninové zahrady, kde plody pěstované pro účely konzumace leží na zemi (resp. jsou ve styku se zemí)
- Šedá voda se nepoužívá pro mytí příjezdových cest, teras a ostatních nepropustných povrchu
- Je nutné odradit děti od hraní si v oblastech, kde je šedá voda aplikována (v oblastech zavlažovaných šedou vodou)
- Při manipulaci a údržbě systémů pro šedou vodu, rovněž tak při čištění filtrů, používejte latexové, či chirurgické rukavice

- Pokud je některý člen domácnosti nemocný nakažlivou nemocí, je vhodné odvádět šedou vodu do kanalizace, dokud se dotyčný člen nezotaví – jinak může být každá osoba, přicházející do styku s takovouto šedou vodou, vystavena choroboplodným organismům
- Voda, pocházející z praní oděvů znečištěných pesticidy, nebo jinými toxickými látkami, by neměla být využita v systému pro využívání šedé vody
- Pokud někdo onemocní po zavlažení oblasti šedou vodou, je nutné přestat používat systém šedé vody do doby, dokud se zdroj onemocnění neobjasní
- Oblast zavlažovanou šedou vodou je třeba pravidelně kontrolovat, aby nedošlo k zaplavení, ale voda se zasakovala – proto je třeba pravidelně upravovat dávkované množství

3.4.2 Environmentální rizika

Z environmentálního hlediska lze mezi rizika zařadit ucpávání půdního profilu při aplikaci šedé vody do půdy, neboť nerozložené organické látky (např. tuky, oleje, mýdla, detergenty apod.) se mohou hromadit a ucpat půdní profil či infiltrační vrstvy (*Del Porto & Steinfeld, 2000*). Zároveň půda zavlažovaná šedou vodou vykazuje rostoucí hodnoty elektrické konduktivity v čase, což naznačuje akumulaci solí, především sodíku (*Gross & kol., 2005; Lubbe & kol., 2016; Rodda & kol., 2011; Sharvelle & kol., 2012*), přičemž zavlažování vodou bohatou na sodík, nebo soli, navozuje sodicitu či salinitu půdy (*Rodda & kol., 2011*). Tyto efekty poté s sebou mohou nést negativní účinky, jako je snížení výnosu a kvality některých plodin, degradace půdy, konkrétně zhoršení propustnosti půdy (rychlosti infiltrace) či snížení hydraulické vodivosti, a to s dlouhodobými následky (*DWAF, 1996; Metternicht & Zinck, 2003; Younes & kol., 2010*). Závlaha šedou vodou vede i k nárůstu pH v půdě (*Lubbe & kol., 2016*), přičemž elektrická konduktivita, nebo pH půdy mohou ovlivňovat rozpustnost, respektive dostupnost mikroživin v půdách (*Hasanuzzaman & kol., 2012*).

Existuje také riziko akumulace povrchově aktivních látek v půdě, což může způsobovat její hydrofobicitu, nebo-li vodo-odpudivost (*Gross & kol., 2005; Lubbe & kol., 2016; Shafran & kol., 2005; Sharvelle & kol., 2012*), hydrofobicita půdy ovšem ovlivňuje kapilaritu či infiltraci (*Wiel-Shafran & kol., 2006*) a hydrofobicita půdní organické hmoty se promítá do odolnosti půdy vůči mikrobiální degradaci a do jejích adsorpčních schopností (*Capriel, 2008*).

V půdě, případně podzemní vodě, se také mohou hromadit xenobiotické organické sloučeniny (XOC) či kovy (*Eriksson & kol., 2002; Rodda & kol., 2011*), třeba bor (*Gross & kol., 2005*), který se ve vyšším než potřebném množství, stává pro rostliny toxickým – například pokud je pro rostlinu nezbytných 0,2 mg/l boru ve vodě, 1 až 2 mg/l už jsou pro ni toxické (*Ayers & Westcot, 1985*).

Také může docházet k akumulaci dalších chemických látek a potenciálních toxinů v půdě (*Sharvelle & kol., 2012*) a v případě úpravy šedé vody filtrací panuje také riziko vymývání, resp. vyplavování, některých kontaminantů z filtračního média (*Hladký, 2021*). Jak vyplývá z kapitoly 3.2, nelze vyloučit ani zvýšené množství těžkých kovů v šedé vodě, přičemž těžké kovy také mohou měnit fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy, následně být přijaty rostlinami a dostat se až do potravního řetězce člověka (*Singh & Kalamdhad, 2011*). Stručný popis toxicity vybraných prvků na zemědělské rostliny při závlaze odpadní vodou, zvolených na základě složení šedé vody, zachycuje Tab. 3.5.

Rovněž z kapitoly 3.2 vyplývají možné koncentrace farmak či drog v šedé vodě a například dle *Oppel & kol. (2004)* farmaka Karbamazepin, Diazepam, Ibuprofen či Ivermektin zůstávají ve svrchních vrstvách půdy a jsou tzv. imobilní, zatímco kyselina klofibrová či lopromid jsou v půdním profilu mobilní a představují potenciální riziko kontaminace podzemních vod, které díky nízké mikrobiální aktivitě v hlubších vrstvách půdy může přetrvávat po desetiletí.

Prvek	Popis toxicity pro zemědělské rostliny/plodiny
Hliník (Al)	Na kyselých půdách (pH < 5,5) může způsobit pokles výnosů, na zásaditějších půdách (pH > 7,0) dojde k vysrážení iontů a eliminuje se jakákoliv toxicita ¹⁾
Arsen (As)	Toxicita pro rostliny se velmi liší, od méně než 0,05 mg/l pro rýži až po 12 mg/l pro trávu v Súdánu ¹⁾
Kadmium (Cd)	Toxické pro fazole, řepu nebo vodnici v koncentracích od 0,1 mg/l v živinném roztoku. Doporučují se konzervativní limity, neboť vzhledem k potenciálu akumulace v rostlinách či půdě může být škodlivé pro člověka ¹⁾
Kobalt (Co)	Toxický pro rostliny rajčat v koncentracích od 0,1 mg/l v živinném roztoku, k neutralizaci toxických účinků dochází na neutrálních a zásaditých půdách ¹⁾
Chrom (Cr)	Obecně není uznáván jako esenciální růstový prvek, doporučují se konzervativní limity pro nedostatek znalostí ohledně jeho toxicity pro rostliny ¹⁾
Měď (Cu) ^{A)}	Toxická pro řadu rostlin při koncentracích od 0,1 až 1,0 mg/l v živinném roztoku ¹⁾
Železo (Fe) ^{A)}	V provzdušněných půdách není pro rostliny toxické, ale může přispívat k jejich okyselení a velké dostupnosti esenciálního fosforu a molybdenu. Zavlažování rozstříkem může mít za následek usazeniny na rostlinách, zařízeních a budovách ¹⁾
Mangan (Mn) ^{A)}	Zpravidla toxicky pro rostliny pouze na kyselých půdách, od několika desetin až po jednotky mg/l ¹⁾
Molybden (Mo)	Při běžných koncentracích ve vodě či půdě není pro rostliny toxický, ale může být toxický pro hospodářská zvířata díky píci pěstované na půdách s vysokými koncentracemi dostupného molybdenu ¹⁾
Sodík (Na)	Toxicita sodíku je obtížně diagnostikovatelná a liší se dle citlivosti, resp. odolnosti rostlin. Ke snížení toxicity sodíku přispívá dostatek vápníku v půdě ²⁾
Nikl (Ni)	Toxický pro řadu rostlin při koncentracích 0,5 - 1 mg/l, přičemž toxicita je snížena při neutrálním či zásaditém pH ¹⁾
Selen (Se)	Toxický pro rostliny v koncentracích od 0,025 mg/l a toxický pro hospodářská zvířata díky píci pěstované na půdách s relativně vysokým obsahem selenu. Pro zvířata je esenciálním prvkem ve velmi nízkých koncentracích ¹⁾
Zinek (Zn) ^{A)}	Toxický pro řadu rostlin s širokým rozsahem koncentrací, toxicita je snížena na jemně strukturovaných nebo organických půdách či při pH > 6,0 ¹⁾
Poznámka: A) Cu a Zn působí synergicky; Fe a Mn působí u některých rostlin antagonisticky; při závlaze vodou s vysokým obsahem Cu a Zn se koncentrace Cu v rostlinné tkáni může výrazně zvýšit; pokud jsou rostliny zavlažovány vodou s vysokým obsahem Mn, jeho absorpce rostlinami se může zvýšit a následně se může výrazně snížit koncentrace Fe v rostlinné tkáni ²⁾	
Zdroje:	1) WHO, 2013 2) Ayers & Westcot, 1985

Tab. 3.5: Toxicita vybraných elementů pro zemědělské plodiny

Základním řešením, které se nabízí pro zmírnění některých negativních účinků zavlažování šedou vodou na půdu, je její pravidelné střídání se sladkovodní závlahou, neboť dochází ke hromadění solí, organických látek či povrchově aktivních látek a závlaha sladkou vodou omezuje právě jejich akumulace (“vymývá je“), a v případě povrchově aktivních látek podporuje jejich biodegradaci (*Al-Hamaiedeh & Bino, 2010; Lubbe & kol., 2016*). Zároveň lze vzhledem k veřejnému zdraví a životnímu prostředí doporučit ošetření, respektive čištění šedé vody i v případech, kdy tak není přímo legislativně vyžadováno (*Gross & kol., 2005*).

Stručným shrnutím výše uvedených environmentálních rizik, která mohou mít negativní dopad na životní prostředí, případně veřejné zdraví, poté je:

- Ucpávání půdního profilu a infiltračních vrstev půdy (*Del Porto & Steinfeld, 2000*)
- Sodicitu a salinitu půdy (*Gross & kol., 2005; Lubbe & kol., 2016; Rodda & kol., 2011; Sharvelle & kol., 2012*) a dopady těchto jevů
- Zhoršená dostupnost mikroživin v půdě (*Hasanuzzaman & kol., 2012*)
- Akumulace povrchově aktivních látek v půdě a její následná hydrofobicita (*Gross & kol., 2005; Lubbe & kol., 2016; Shafran & kol., 2005; Sharvelle & kol., 2012*)
- Akumulace xenobiotických organických sloučenin (XOC), kovů (*Eriksson & kol., 2002*), dalších chemických látek a potenciálních toxinů (*Sharvelle & kol., 2012*) v půdě či podzemní vodě
- Možné toxické účinky některých prvků na rostliny (*Ayers & Westcot, 1985; WHO, 2013*)
- Možnost ovlivnění kvality půdy a podzemní vody v důsledku závlahy šedou vodou obsahující těžké kovy, farmaka, a drogy (*Oppel & kol., 2004*)

Vyjma environmentálních rizik při zavlažování šedou vodou existuje také přínos pro půdu, který představuje především aplikace organické hmoty a živin do půdy (*Sharvelle & kol., 2012*) a v důsledku toho podpora růstu a výnosu plodin, nebo zvýšený obsah živin v rostlinách (*Rodda & kol., 2011*).

V konečném důsledku lze konstatovat nedostatek informací o dlouhodobých či krátkodobých účincích zavlažování šedou vodou na půdu a půdní mikroorganismy, přičemž tyto účinky je složité předpovídat i díky variabilitě složení šedé vody (*Sharvelle & kol., 2012*).

3.5 Produkované množství šedých vod

Dle ČSN 75 6780 denní produkce šedé vody ze sprch, van a umyvadel činí 40 l/osoba/den (jakožto nejvhodnější šedá voda pro znovuvyužití). Zároveň dle ČSN 75 6780 je denní potřeba nepitné vody (vody, jenž je k dispozici pro používání s výjimkou pití, přípravy potravin a používání pro osobní hygienu) celkem 40 až 45 litrů na osobu za den (30 l/osoba/den pro splachování toalety, 10-15 l/osoba/den na praní prádla). Tudíž už pouze díky využití šedé vody pro splachování toalety lze snížit spotřebu pitné vody o 32 %, která dle Informace o stavu zásobování pitnou vodou a o jakosti dodávané vody za rok 2021 (Bílý, 2022) činila v České republice 93,2 l/osoba/den. Uvedené procento potenciální úspory pitné vody vychází z výpočtu:

$$\frac{\text{"potřeba vody pro splachování toalety"}}{\text{"celková spotřeba pitné vody"}} \times 100 = \text{"% úspory ze spotřeby pitné vody"}$$

$$\frac{30 \text{ l/osoba/den}}{93,2 \text{ l/osoba/den}} \times 100 = 32,19 \%$$

Zároveň z uvedených hodnot v ČSN 75 6780 vyplývá pokrytí potřeby pro splachování toalety produkcí šedé vody pouze z koupelen jako dostatečné, což s myšlenkou využívání šedé vody pro splachování toalet plně koresponduje. Navíc teoreticky zbývá dalších 10 litrů denně vyprodukovaných jednou osobou, jenž je disponibilních pro další užití (např. praní prádla, zalévání zahrady či jiné), a tím navýšení hypotetické úspory pitné vody až o 10,73 %. Uvedené hodnoty produkce šedé vody, potřeby užitkové vody a spotřeba pitné vody jsou průměrné pro Českou republiku v roce 2021, technickou normu ČSN 75 6780 a pouze na umyvadla, vany a sprchy. V obecné rovině však všechny tyto hodnoty kolísají (v návaznosti na roční období či vytíženost objektu), jsou vzájemně provázané a šedá voda vhodná pro znovuvyužití nepochází pouze z koupelen, jak již bylo nadefinováno v kapitole 3.2.

Vypočtená teoretická úspora pitné vody při splachování toalet (32 %) na základě uvedených hodnot v ČSN 75 6780 je však v souladu i s tvrzením Bartoník & kol. (2012), neboť uvádí, že spotřeba vody v domácnostech pro splachování toalet činí přibližně 30 % a v komerčních budovách až 60 %.

Také "ČSN EN 16941-2: Zařízení pro využití nepitné vody na místě - Část 2: Zařízení pro využití čištěné šedé vody" v Příloze A.1 uvádí informativní typickou denní produkci a potřebu šedé vody. Hovoří o produkci 60 l/osoba/den a potřebě rovněž

60 l/osoba/den (35 l/osoba/den pro splachování toalet, 15 l/osoba/den pro praní a 10 l/osoba/den pro jiné použití nepitné vody, např. závlahu).

I další autoři se zabývali otázkou spotřeby pitné vody, například *Christova-Boal & kol. (1996)* uvádí, že:

- 34 % z celkové spotřeby pitné vody v Austrálii je užito pro závlahy zahrad,
- 20 % pro splachování toalet,
- 26 % pro využití v koupelnách,
- 15 % pro praní prádla
- 5 % pro využití v kuchyních

Z uvedených hodnot vyplývá, že šedá voda vzniká přibližně ze 46 % spotřebované pitné vody (výpočet jako suma využití v koupelnách, pro praní prádla a využití v kuchyních), světlá šedá voda poté vzniká přibližně z 26 % spotřebované pitné vody (jakožto voda z koupelen).

Hrubý odhad využívání pitné vody v domácnostech ČR v roce 2019 provedly také Severočeské vodovody a kanalizace (SČVK, ©2020), přičemž hovoří o využívání:

- 6 % pro závlahy zahrad a ostatní využití (8 l/osoba/den)
- 26 % pro splachování toalet (22 l/osoba/den)
- 34,8 % pro osobní hygienu a mytí (30 l/osoba/den)
- 5,2 % pro mytí rukou (4 l/osoba/den)
- 14,8 % pro praní a úklid (13 l/osoba/den)
- 8,7 % pro využití v kuchyních (8 l/soba/den)
- < 5 % pro pití (4 l/soba/den)

Z uvedených hodnot pro ČR v roce 2019 vyplývá, že šedá voda vzniká přibližně ze 63,5 % spotřebované pitné vody v domácnostech (výpočet jako suma využití pro osobní hygienu a mytí, pro mytí rukou, pro praní a úklid a pro využití v kuchyních), světlá šedá voda poté vzniká přibližně ze 40 % spotřebované pitné vody (výpočet jako suma využití pro osobní hygienu a mytí a pro mytí rukou).

Vuppaladadiyam & kol. (2019), *Al-Jayyousi (2003)* a *Ramprasad & Philip (2016)* uvádí, že odpadní vody z domácností pocházející z koupelen, praček prádla a kuchyní (tedy šedé vody) tvoří přibližně 65 %, respektive 50 až 80 % odpadních vod

z domácností a současně z celkového objemu šedé vody mohou být až tři pětiny (60 %) tvořeny světlou šedou vodou (*Morel & Diener, 2006*).

V obecné rovině je tedy množství produkované šedé vody velmi variabilní a vychází, obdobně jako její složení, zejména z počtu členů v domácnosti, věkového rozložení těchto členů, životního stylu, charakteristických návyků při nakládání s vodou (pitnou i užitkovou), z obecných zvyků, zeměpisné poloze, infrastruktury, životní úrovně apod. (*Lazarova & kol., 2003; Morel & Diener, 2006; Boyjoo & kol., 2013; Boano & kol., 2019*). Rovněž se produkované množství šedé vody odvíjí i od dostupnosti a způsobu distribuce pitné vody v dané lokalitě (*Morel & Diener, 2006*).

Budeme-li vycházet z myšlenky, že variabilita produkce šedé vody je vázána, mimo jiného, na dostupnost a spotřebu pitné vody, zjistíme, že pouze v rámci Evropy se průměrná spotřeba pitné vody v roce 2019 pohybovala mezi 243 l/osoba/den v Itálii až po 50 l/osoba/den na Maltě, přičemž například v Německu, nebo ve Francii činila 128, respektive 130 l/osoba/den (*McCarthy, 2019*) a tudíž lze předpokládat obdobnou variabilitu i v množství produkované šedé vody, avšak výrazným vstupem do spotřeby pitné vody nejen v Evropě bude i její využívání pro závlahy (*Rock, 2009; Small lake Praha s.r.o., ©2020; Úsporné Závlahy s.r.o., ©2020*). Jako další příklad může posloužit Mali, kde průměrná denní spotřeba pitné vody činí přibližně 30 litrů/osoba/den (*Alderlieste & Langeveld, 2005*) a protiklad USA, kde spotřeba činí přibližně 382 l/osoba/den (*Lazarova & kol., 2003*).

4. Recyklace šedých vod, resp. požadavky na kvalitu bílých vod

S opětovným využíváním šedé vody je spjata řada rizik, jak environmentálních, tak pro lidské a veřejné zdraví, jak nastiňuje kapitola 3.4. Těmto rizikům lze předcházet dodržováním kvalitativních parametrů stanovených s ohledem na způsob opětovného využívání šedé vody, které musí recyklovaná šedá voda splňovat – může se jednat o pouhá doporučení, které vydává například Světová zdravotnická organizace (WHO), či závazné parametry stanovené legislativou konkrétních států. Pro recyklovanou šedou vodu, kterou je možno využívat jako vodu provozní, se poté používá označení “bílá voda“ (Bartoník & Plotěný, 2012).

Při stanovování obecných požadavků na kvalitu recyklované šedé vody lze tedy vycházet z již zmiňovaných doporučení vydaných Světovou zdravotnickou organizací, konkrétně z příručky “Přehled zdravotních aspektů hospodaření se šedými vodami - WHO-EM/CEH/125/E“ (WHO, 2006). Tato příručka nastiňuje sledované parametry, včetně jejich limitů s ohledem na způsob využití (splachování toalet, zavlažování, zavlažování zeleniny u níž je předpokládána konzumace bez tepelné úpravy), viz Tab. 4.1.

Parametr [Jednotka]	Zavlažování okrasných rostlin, ovocných stromů a pícein	Zavlažování zeleniny u níž je předpokládána konzumace bez tepelné úpravy	Splachování toalety
BSK ₅ ^{A)} [mg/l]	≤ 240	≤ 20	≤ 10
Frekvence odběru vzorků	1 vzorek / měsíc	2 vzorky / měsíc	1 vzorek / týden
TSS ^{B)} [mg/l]	≤ 140	≤ 20	≤ 10
Frekvence odběru vzorků	1 vzorek / měsíc	2 vzorky / měsíc	1 vzorek / týden
Koliformní fekální bakterie [CFU/100ml]	≤ 1000	≤ 200	≤ 10
Frekvence odběru vzorků	2 vzorky / měsíc	1 vzorek / 2 týdny	1 vzorek / týden
Vysvětlivka: A) Biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní B) Celkové nerozpuštěné látky			

Tab. 4.1: Přípustné limity pro opětovné použití šedé vody dle WHO-EM/CEH/125/E (WHO, 2006)

Mimo dodržení uvedených přípustných limitů pro dané parametry příručka WHO-EM/CEH/125/E (WHO, 2006) uvádí, že systém pro znovu využívání šedé vody musí zahrnovat i vodotěsnou usazovací nádrž sloužící k sedimentaci/odstranění písku, systém může být schválen maximálně pro 4 osoby, průtok šedé vody nepřesahuje 500 l/den či systém musí být navržen tak, aby ošetřená voda dosahovala požadované kvality odpadních vod a nadále uvádí i další formální požadavky. Ve výsledku tedy lze přihlídnout i k Pokynům pro bezpečné používání odpadních vod, exkrementů a šedých vod – svazek 2 (WHO, 2013), jenž se zabývá využitím odpadních vod v zemědělství, viz Tab. 4.2 a Tab. 4.3.

Element	Maximální doporučená koncentrace [mg/l]	Element	Maximální doporučená koncentrace [mg/l]
Hliník (Al)	5,0	Železo (Fe)	5,0
Arsen (As)	0,10	Mangan (Mn)	0,20
Kadmium (Cd)	0,01	Molybden (Mo)	0,01
Kobalt (Co)	0,05	Nikl (Ni)	0,20
Chrom (Cr)	0,10	Selen (Se)	0,02
Měď (Cu)	0,20	Zinek (Zn)	2,0

Tab. 4.2: Maximální doporučené koncentrace vybraných elementů v odpadní vodě pro závlahy zemědělských plodin s ohledem na toxicitu dle WHO (2013)

Parametr	Upřesnění parametru	Jednotky	Míra omezení použití ^{C)}		
			Žádná	Mírná až střední	Vysoká
Salinita půdy	na základě EC _w ^{A)}	dS/m	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
TDS	-	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
TSS	-	mg/l	< 50	50 - 100	> 100
SAR ^{B)}	0 až 3	mEq/l	> 0,7 EC _w	0,7 - 0,2 EC _w	< 0,2 EC _w
	3 až 6	mEq/l	> 1,2 EC _w	1,2 - 0,3 EC _w	< 0,3 EC _w
	6 až 12	mEq/l	> 1,9 EC _w	1,9 - 0,5 EC _w	< 0,5 EC _w
	12 až 20	mEq/l	> 2,9 EC _w	2,9 - 1,3 EC _w	< 1,3 EC _w
	20 až 40	mEq/l	> 5,0 EC _w	5,0 - 2,9 EC _w	< 2,9 EC _w
Sodík (Na ⁺)	Postřiková závlaha	mEq/l	< 3	> 3	-
	Povrchová závlaha	mEq/l	< 3	3 - 9	> 9
Chlorid (Cl ⁻)	-	mEq/l	< 3	> 3	-
	-	mEq/l	< 4	4 - 10	> 10
Chlor (Cl ₂)	Celkový zbytek	mg/l	< 1	1 - 5	> 5
Bikarbonát (HCO ₃ ⁻)	-	mg/l	< 90	90 - 500	> 500
Bor (B)	-	mg/l	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
Sirovodík (H ₂ S)	-	mg/l	< 0,5	0,5 - 2,0	> 2,0
Železo (Fe)	-	mg/l	< 0,1	0,1 - 1,5	> 1,5
Mangan (Mn)	-	mg/l	< 0,1	0,1 - 1,5	> 1,5
Celkový dusík (TN)	-	mg/l	< 5	5 - 30	> 30
pH	-	-	Rozsah 6,5 až 8		

Vysvětlivka: A) EC_w je elektrická vodivost [mS/cm] při 25°C
B) SAR je adsorpční poměr sodíku [mEq/l]^{1/2}
C) "Žádné" omezení = nejsou obvykle zaznamenány žádné problémy s půdou či plodinami; "Mírné až střední" omezení = pro dosažení plného potenciálu výnosu je třeba opatrnosti při výběru plodin a alternativních způsobů hospodaření; "Přísné" omezení = problémy s půdou, plodinami a zhoršené výnosy, doporučují se zemědělské studie pro určení způsobu hospodaření (Ayers & Westcot, 1985)

Tab. 4.3: Přípustné limity pro opětovné použití odpadní vody v zemědělství pro závlahu dle WHO (2013)

4.1 Legislativa upravující možnost znovuvyužití šedých vod

V rámci světa se legislativa upravující recyklaci, respektive možnost znovu využívání šedé vody různí. Situace v Austrálii, ve Spojených státech amerických a v Evropské unii je dle *Bartáček & kol. (2021)* následující:

- Austrálie má nejpropracovanější pokyny a legislativu týkající se recyklace vod. Australské pokyny poskytují směrodatný odkaz použitelný k podpoře prospěšné a udržitelné recyklace odpadních vod a šedých či dešťových vod. Pokyny zahrnují řízení zdravotních i environmentálních rizik spjatých s recyklovanou vodou a vytyčují její využívání pro specifické účely.
- Ve Spojených státech amerických (USA) se aplikují předpisy pro instalaci a zapojení systémů rozvodu a úpravy šedých vod a také statní předpisy, přičemž konkrétní požadavky se u jednotlivých států liší rozsahem a přípustným způsobem znovu využívání. Také Agentura pro životní prostředí (US EPA) zveřejnila nevymahatelné pokyny pro opětovné využívání odpadních vod pro podpovrchové zavlažování, povrchové zavlažování, splachování toalet/pisoárů a mytí aut.
- V Evropské unii (EU) je problematika nakládání se šedými vodami řešena individuálně na úrovni států, ovšem na základě doporučených ISO norem, s využíváním "Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2020/741 o minimálních požadavcích na opětovné využívání vody" a nadále státy zapracovávají do svých právních předpisů směrnice EU. Přihlíží se také k doporučením vydaných Světovou zdravotnickou organizací (WHO) a využívají se normy, příkladem je "EN 16941-2 On-site non-potable water systems - Part 2: Systems for the use of treated greywater". V konečném důsledku je i mezi jednotlivými státy EU rozdíl v přístupu k parametrům kontroly kvality upravené šedé vody, povoleným technologiím pro čištění šedé vody apod., což vychází zejména z potřeby a způsobu využívání šedých vod, klimatických podmínek a dostupných technologií pro její čištění.

4.1.1 Legislativa České republiky

Legislativa ČR se opírá o legislativní rámec vymezený Evropskou unií, což platí i v případě recyklace a opětovného využívání šedých vod, avšak pro účely této práce je stěžejním dokumentem česká technická norma "ČSN EN 16941-2: Zařízení pro využití nepitné vody na místě - Část 2: Zařízení pro využití čištěné šedé vody" (nadále také "ČSN EN 16941-2"), přičemž se jedná o překlad evropské normy a nabývá stejného statusu, jako její originální evropská verze "EN 16941-2 On-site

non-potable water systems - Part 2: Systems for the use of treated greywater“, (nadále také "EN 16941-2"). Originální evropská verze poté vychází z britské technické normy BS 8525 (všech částí).

Právě ČSN EN 16941-2, jež se zabývá využitím šedé vody pro splachování WC, zalévání zahrad, praní a úklid, předkládá v příloze D příklad požadavků na kvalitu vody, konkrétně v Tabulce D.1 – Příklad doporučených hodnot pro mikrobiologický monitoring podle BS 8525 (soubor) a v Tabulce D.2 – Příklad hodnot pro celkový monitoring podle BS 8525 (soubor). Shrnutím vybraných částí Tabulek D.1 a D.2 přílohy D. ČSN EN 16941-2 je Tab. 4.4 této práce a zbylé uvedené informace, jako je zkušební metoda či druh vnitřního vodovodu, reflektuje Tab. 4.5.

Typ monitoringu	Ukazatel [jednotka]	Postřik	Využití bez postřiku		
		Vysokotlaké mytí, postřik zahrad a mytí automobilů	Splachování WC	Zalévání zahrad	Praní, tedy využití v pračkách
Celkový monitoring dle BS 8525 (soubor)	Zákal [NTU]	< 10	< 10	Není k dispozici	< 10
	pH	5 až 9,5	5 až 9,5	5 až 9,5	5 až 9,5
	Zbytkový chlor [mg/l]	< 2,0	< 2,0	< 0,5	< 2,0
	Zbytkový brom [mg/l]	0	< 5,0	0	< 5,0
	Nerozpuštěné látky	Vizuálně čistá, bez plovoucích nečistot a s přijatelnou barvou pro všechna použití. Barva je významná zejména pro využití v pračkách.			
	Barva				
Mikrobiologický monitoring dle BS 8525 (soubor)	<i>Escherichia coli</i> [CFU/100ml]	Nedetekováno	250	250	Nedetekováno
	Intestinální enterokoky [CFU/100ml]	Nedetekováno	100	100	Nedetekováno
	<i>Legionella pneumophila</i> [CFU/100ml]	10	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici
	Koliformní bakterie ^{A)} [CFU/100ml]	10	1000	1000	10
Vysvětlivka: A) Indikátor pro hodnocení provozu, jedná se tedy o doporučené mikrobiologické hodnoty pro šedou vodu vyžadující kontrolu kvality čištěné vody pro zásobování a využití.					

Tab. 4.4: Celkový a mikrobiologický monitoring dle ČSN EN 16941-2

Typ monitoringu	Ukazatel	Zkušební metoda		Druh vnitřního vodovodu
		Postřik	Využití bez postřiku	
Celkový monitoring dle BS 8525 (soubor)	Zákal	EN ISO 7027-1		Všechny vnitřní vodovody
	pH	EN ISO 10523		Všechny vnitřní vodovody
	Zbytkový chlor	EN ISO 7393-2		Všechny vnitřní vodovody, kde je použit
	Zbytkový brom	EN ISO 10304-1		Všechny vnitřní vodovody, kde je použit
Mikrobiologický monitoring dle BS 8525 (soubor)	<i>Escherichia coli</i>	EN ISO 9308-1	EN ISO 9308-3	Individuální a společné vnitřní vodovody
	Intestinální enterokoky	EN ISO 7899-2 nebo EN ISO 7899-1	EN ISO 7899-1	Individuální a společné vnitřní vodovody
	<i>Legionella pneumophila</i>	EN ISO 11731	Není k dispozici	Kde je analýza nutná, viz Kapitola 10 ČSN EN 16941-2
	Koliformní bakterie	EN ISO 9308-1	EN ISO 9308-3	Individuální a společné vnitřní vodovody

Tab. 4.5: Zkušební metody a druhy vnitřního vodovodu dle ČSN EN 16941-2 pro jednotlivé ukazatele celkového a mikrobiologického monitoringu

Při pohledu na složení šedé vody (Tab. 3.1 a Tab. 3.2) je zřejmé, že v obecné rovině šedá voda při absenci ošetření nespĺňuje některé požadavky stanovené celkovým a mikrobiologickým monitoringem dle ČSN EN 16941-2. Výčtem se jedná (pro všechny kategorie – využití postřikové i bez postřiku) o zákal, koncentraci *Escherichia coli*, koncentraci chloru a pravděpodobně i celkový počet koliformních bakterií. Naopak neošetřená šedá voda splňuje požadavek na pH (pro všechny kategorie), přičemž koncentrace bromu, *Legionella pneumophila*, Intestinálních enterokoků, nerozpuštěných látek a barvy nelze hodnotit pro nedostatek dat. Zmiňovaný fakt vede k nutnosti šedou vodu upravovat, respektive čistit, pokud ji chceme opětovně využívat. Samotná technologie úpravy šedé vody poté musí být schopna vypořádat se s výkyvy průtoků či koncentrací znečišťujících látek, způsobených vlivem denního či dlouhodobějšího cyklu chodu domácnosti, aby ošetřená (bílá voda) dosahovala požadované kvality (Hladký, 2021), a právě malé čistírny šedých vod jsou na výrazné krátkodobé výkyvy koncentrací znečišťujících látek a průtoků náchylné (Eriksson & kol., 2009).

V návaznosti na výše uvedený požadavek, resp. doporučení, jež stanovuje příručka WHO-EM/CEH/125/E (WHO, 2006), že ošetřená voda má dosahovat požadované kvality odpadních vod, které WHO (2013) stanovuje v *Pokynech pro bezpečné používání odpadních vod, exkrementů a šedých vod – svazek 2* (výtažek uveden v Tab. 4.2 a Tab. 4.3 této práce), ve stručnosti lze uvést i českou alternativu, jež se zabývá využitím čištěných odpadních vod pro závlahy. Konkrétně se jedná o “ČSN ISO 16075-1: Směrnice pro využití čištěných odpadních vod pro projekty závlah - Část 1: Základ projektu opětovného využití pro závlahy”, nadále pouze “ČSN ISO 16075-1”, která se nepřímo týká nakládání s šedými vodami (ve smyslu odpadních vod). Norma uvádí maximální koncentrace některých parametrů kvality vody, přičemž výběr z uvedených požadavků zachycují Tab. 4.6 a Tab. 4.7.

Parametr	Měsíční aritmetický průměr [mg/l]	Maximální hodnota jednotlivého měření [mg/l]
Amoniakální dusík (NH ₄ -N)	20	30
Celkový dusík	25	35
Celkový fosfor	5	7
Hliník (Al)	5	12,5
Beryllium (Be)	0,1	0,25
Kadmium (Cd)	0,01	0,03
Chrom (Cr)	0,1	0,25
Kobalt (Co)	0,05	0,13
Měď (Cu)	0,2	0,5
Kyanidy (CN ⁻)	0,1	0,2
Fluoridy (F ⁻)	2,0	3,0
Železo (Fe)	2	5
Olovo (Pb)	0,1	0,25
Lithium (Li)	2,5	6,25
Mangan (Mn)	0,2	0,5
Rtuť (Hg)	0,002	0,01
Molybden (Mo)	0,01	0,03
Nikl (Ni)	0,2	0,5
Selen (Se)	0,02	0,05
Vanad (V)	0,1	0,25
Zinek (Zn)	2	5

Tab. 4.6: Příklad maximálních koncentrací vybraných parametrů v čištěné odpadní vodě využitě pro závlahy dle ČSN ISO 16075-1

Ukazatel →			Elektrická konduktivita	Chloridy	Bor	Sodík
Jednotky →			dS/cm	mg/l	mg/l	mg/l
Citlivost plodin	Citlivá	Měsíční aritmetický průměr	1,4	250	0,4	150
		Maximální hodnota jednotlivého měření	1,8	280	0,5	200
	Středně citlivá	Měsíční aritmetický průměr	2,0	400	1,0	-
		Maximální hodnota jednotlivého měření	2,6	440	1,3	-
	Středně tolerantní	Měsíční aritmetický průměr	4,0	1000	2,0	-
		Maximální hodnota jednotlivého měření	5,2	1100	2,6	-
	Tolerantní	Měsíční aritmetický průměr	6,0	1400	4,0	-
		Maximální hodnota jednotlivého měření	7,8	1500	5,2	-

Tab. 4.7: Příklad maximálních úrovní faktorů solnosti v čištěné odpadní vodě využité pro závlahy dle ČSN ISO 16075-1

5. Přehled obdobných experimentů

V rámci světa byla provedena celá řada experimentů, jež se zabývala využitím filtračních materiálů shodných s experimentální částí této práce. V rámci této kapitoly byla snaha takovéto experimenty nalézt, výstižně popsat a případně je uvést do souvislostí. Průzkum byl zaměřen především na biouhel, antuku a mykorhizu, rovněž se však zabýval pískem a kompostem, neboť jsou také součástí filtrů použitých v experimentální části této práce, jak je uvedeno v kapitole 6.1.

5.1 Filtry obsahující biouhel

Účinností biouhlu frakce 2-5 mm při čištění šedé vody se (mimo jiné) ve svém experimentu zabýval *Moges & kol. (2015)*. Autor pro testování biouhlu sestavil 2 shodné filtry, které se skládaly z válcových akrylových kolon o průměru 0,14 m a výšce 1 m, které naplnil (od spodu) štěrkem o mocnosti 2,5 cm, následně testovaným biouhlem o mocnosti vrstvy 60 cm a svrchní vrstvu opět tvořil štěrk, aby se zabránilo nadnášení biouhlu. Biouhel byl před zahájením experimentu několikrát vymyt kohoutkovou vodou za účelem odstranění jemných částic, aby bylo zabráněno jejich následnému vymývání v průběhu experimentu. Pro experiment byla využívána šedá voda s předúpravou v podobě sedimentace a biofiltrace pomocí Ecomotive A02-GWTP pocházející ze studentských kolejí. Testované kolony byly napájeny kontinuálně průtokem 280 l/m²/den a vzorky odebírány 1x za 14 dní, přičemž průtok filtrem byl vertikálně vzestupný (tedy od spodu směrem vzhůru). Výsledky experimentu zachycuje Tab. 5.1, přičemž dle autora se biouhel jevil jako velmi účinný při snižování koncentrací organických látek, dusíku a zákalu. Biouhel dokázal účinně snižovat zákal, CHSK, celkový fosfor, dusičnany i celkový dusík (s účinnostmi 84,37; 80,01; 58,3; 77,47; respektive 66,07 %) a při odstraňování fosforečnanů vykazoval účinnost pouze 19,72 %, případně pro amoniakální dusík 43,07 %.

Parametr	Jednotky	Koncentrace v šedé vodě ^{A)}	Koncentrace na odtoku filtrů	Účinnost filtrů ^{B)} [%]
pH	-	6,95 ± 0,158	7,66 ± 0,127	-
Elektrická konduktivita	μS/cm	276 ± 32,09	311 ± 43,76	-
Zákal	NTU	102,61 ± 55,43	0,87 ± 0,23	84,37
CHSK	mg/l	309,91 ± 38,88	10,99 ± 5,51	80,01
Fosforečnany (PO ₄ ³⁻)	mg/l	0,55 ± 0,11	0,18 ± 0,03	19,72
Celkový fosfor	mg/l	1,50 ± 0,14	0,22 ± 0,03	58,3
Amoniakální dusík (NH ₄ -N)	mg/l	7,61 ± 1,59	2,17 ± 0,72	43,07
Dusičnanový dusík (NO ₃ -N)	mg/l	0,16 ± 0,02	0,32 ± 0,19	77,47
Celkový dusík	mg/l	17,76 ± 2,18	3,41 ± 0,92	66,07
Celkový počet bakterií (TBC)	MPN/100 ml	2,97 * 10 ⁶	6,40 * 10 ²	-
<i>Escherichia coli</i>	MPN/100 ml	8,51 * 10 ⁵	1,46 * 10 ²	-
Poznámka: A) Před předúpravou sedimentací a biofiltrací B) Účinnost filtrů vyhodnocena k parametrům šedé vody po předúpravě				

Tab. 5.1: Účinnost biouhlu při odstraňování vybraných polutantů z šedé vody (*Moges & kol., 2015*)

Na účinnost biouhlu (či aktivního uhlí) při snižování koncentrací organických látek a živin v syntetické šedé vodě se ve svém experimentu zaměřil také *Berger (2012)*. Pro testování biouhlu byly připraveny 3 shodné filtry, které se skládaly z průhledných skleněných kolon o průměru 4,3 cm a výšce 65 cm, naplněné (od spodu) štěrskem o mocnosti vrstvy 2,5 cm (diameter 0,5 cm), biouhlem o mocnosti 50 cm a opět vrstvou štěrku mocnosti 2,5 cm (diameter 0,5 cm). Biouhel byl vyroben z vrbového dřeva při teplotě 450 °C a jeho frakce 1-1,4 mm a 2,8-5 mm byly smíchány v hmotnostním poměru 2:3. Na závěr byly filtry obaleny hliníkovou fólií a rovněž uzavřeny víkem z hliníkové fólie s malými otvory, aby se omezil průnik světla do filtrů. Posléze byly filtry 15 dní proplachovány destilovanou vodou s roztokem NaCl, kdy probíhalo měření doby zdržení vody ve filtru. Samotná syntetická šedá voda byla připravována 1x týdně z prostředků osobní péče apod., aby její vlastnosti byly srovnatelné s vlastnostmi šedé vody z domácností v oblastech s nedostatkem vody. Následně byla uchovávána v lednici, resp. její koncentrát, přičemž před aplikací byl naředěn kohoutkovou vodou na požadovanou koncentraci a cílená teplota šedé vody při aplikaci činila 25 °C, prakticky její teplota však činila 23 až 28°C. Experiment poté probíhal po dobu 10 týdnů, kdy byla šedá voda 5 dní v týdnu dávkována 2x denně (42 ml v 9:00 ráno a 21 ml v 16:00 odpoledne). Dle autora byl pozorovatelný klesající trend hodnoty pH na odtoku z filtrů, od počátečních 8,7 na 7,9 v poslední den

experimentu, zatímco EC měla v prvních dvou týdnech vzrůstající hodnotu (od 0,61 mS/cm po 1,8 mS/cm) a následně se ustálila na 2,1 mS/cm, což bylo nad hodnotou šedé vody (1,8 mS/m). Rovněž bylo dosaženo relativně konstantních účinností při odstraňování CHSK a MBAS (aktivních látek reagujících s methylenovou modří), konkrétně 99,1 % a 99,3 %, přičemž koncentrace na odtoku z filtrů se pohybovala v blízkosti detekčních limitů přístrojů. Účinnost odstraňování celkového dusíku byla 90,94 %, avšak mezi 19. a 50. dnem experimentu klesla účinnost k 70 % a zároveň v tomto období koncentrace amoniakálního dusíku na odtoku z filtrů výrazně převyšovaly koncentrace v šedé vodě. Další výsledky experimentu poté zachycuje Tab. 5.2, biouhel byl označen za vysoce účinný při odstraňování sledovaných parametrů (MBAS, CHSK, fosforečnanů, celkového dusíku a dusičnanů), vyjma odstraňování amoniakálního dusíku (účinnost 2,7 %).

Parametr	Jednotky	Koncentrace v šedé vodě	Koncentrace na odtoku filtrů	Účinnost filtrů [%]
pH	-	8,5 ± 0,1	8,1 ± 0,3	-
EC	mS/cm	1,8 ± 0,04	1,84 ± 0,58	-
MBAS ^{A)}	mg/l	82 ± 15	0,57 ^{B)}	99,3 ± 1,4
CHSK	mg/l	1389 ± 100	12,50 ^{B)}	99,1 ± 0,3
Celkový fosfor	mg/l	3,6 ± 0,1	0,39 ^{B)}	89,3 ± 6,5
Fosforečnany (P-PO ₄ ³⁻)	mg/l	2,6 ± 0,1	0,37 ^{B)}	85,87 ± 9,07
Celkový dusík	mg/l	95 ± 6	8,61 ^{B)}	90,94 ± 8,81
Amoniakální dusík (NH ₄ -N)	mg/l	3,7 ± 0,5	3,60 ^{B)}	2,7 ± 163,2
Dusičnanový dusík (NO ₃ -N)	mg/l	1,3 ± 0,2	1,04 ^{B)}	19,8 ± 26
Poznámka: A) Účinné látky methylenové modři B) Dopočtená koncentrace není uvedena v původní práci				

Tab. 5.2: Přehled vybraných parametrů kvality šedé vody a účinnost čištění pomocí biouhlu (Berger, 2012)

Experiment zaměřený na odstraňování patogenů a indikátorových organismů ze syntetické šedé vody pomocí biouhlu (či dalších materiálů) provedl Molaei (2014). Pro testování biouhlu byly připraveny 3 shodné filtry, které byly totožné (vyjma použité frakce štěrku – nyní využita frakce 10-25 mm) jako v experimentu Berger (2012) viz výše, a rovněž byl využit biouhel shodných parametrů. Na závěr byly filtry obaleny hliníkovou fólií a rovněž uzavřeny víkem z perforované hliníkové fólie, aby se zabránilo růstu řas. Po dokončení byly filtry po dobu jednoho týdne vymývány šedou vodou bez patogenních a indikátorových organismů. Samotná syntetická šedá

voda byla připravována 1x týdně z prostředků osobní péče apod., uchováována při teplotě 4°C, přičemž patogenní a indikátorové organismy (*Salmonella enterica*, *Enterococcus faecalis*, bakteriofág PhiX-174 a MS2) byly přimíchávány zpravidla denně přímo do aplikované dávky v různých koncentracích (teplota šedé vody při aplikaci byla 25°C) a aplikace šedé vody do filtrů poté probíhala 2x denně – 30 ml ráno a 15 ml odpoledne. Experiment probíhal po dobu 78 dní (63 dní aplikace šedé vody) a dle autora průměrná doba zdržení šedé vody ve filtru obsahujícím biouhel činila 90 hodin, maximálně však 170 hodin. Filtr obsahující biouhel dokázal snížit koncentrace *Salmonella spp.* více jak o 2 log₁₀, během prvního týdne měl i vysokou účinnost při snižování *Enterococcus faecalis* (4 log₁₀), avšak účinnost měla klesající tendenci (2 log₁₀ během druhého týdne a méně jak 1 log₁₀ během třetího až osmého týdne). Rovněž účinnost biouhlu při snižování koncentrací bakteriofágu ϕ X174 měla znatelně klesající tendenci, od redukce 4 log₁₀ v prvním týdnu, přes 2 log₁₀ v druhém týdnu až po konstantní necelý 1 log₁₀ během následujících sedmi týdnů. Také účinnost odstranění bakteriofágu MS2 měla klesající tendenci, resp. účinnost v prvním týdnu činila přibližně 3 log₁₀, zatímco v následujících devíti týdnech byla méně jak 1 log₁₀. Redukce *Salmonella spp.* a bakteriofágu ϕ X174 silně korelovala s aplikovanou koncentrací (čím vyšší koncentrace, tím vyšší účinnost), což se pro *Enterococcus faecalis* a bakteriofág MS2 neprokázalo.

Biouhlem a jeho účinnosti při odstraňování polutantů ze syntetické šedé vody se také ve své studii zabýval Sidibe (2014), který navazoval na experiment Molaei (2014). Byly tedy využívány již výše popsané filtry obsahující biouhel (či jiné materiály), již popsaná syntetická šedá voda, včetně patogenů a indikátorových organismů, a i aplikace šedé vody do filtrů probíhala shodně. Jedinou odlišností bylo přimíchávání skutečné odpadní vody do šedé vody, a to v zastoupení 4 % z celkového objemu. Předmětná studie Sidibe (2014) se tedy po dobu 10 týdnů zabývala jak sledováním patogenů a indikátorových organismů, tak vlivem filtrace na fyzické či chemické parametry kvality vody. Dosažené výsledky poté zachycuje Tab. 5.3.

Parametr	Jednotky	Šedá voda	Vyčištěná šedá voda na odtoku z filtrů	Účinnost [%]
pH	-	8,04 ± 0,23	8,13 ± 0,15	-
EC	mS/cm	5,82 ± 0,36	4,10 ± 1,20	-
CHSK	mg/l	4630,5 ± 232,8	463,05 ^{A)}	90
Celkový dusík	mg/l	9,4 ± 1,04	53 ± 16 až 235 ± 15 ^{B)}	-
Amonium (NH ₄₊)	mg/l	23,9 ± 15,6	<0,5 ^{C)}	>98 ^{A)}
Dusičnany (NO ₃₋)	mg/l	1,2 ± 0,6	116 ± 22 až 204 ± 1 ^{5B)}	-
<i>Salmonella spp.</i>	CFU/ml	1.59*10 ⁵ až 1.01*10 ⁷	Snížení log ₁₀ ^{D)} 2,72 ± 0,74	99,81 ^{A)}
<i>Enterococcus faecalis</i>	CFU/ml	4.68*10 ⁴ až 9.44*10 ⁶	Snížení log ₁₀ ^{D)} 1,51 ± 0,73	96,91 ^{A)}
<i>Bakteriofág φX174</i>	CFU/ml	3,79*10 ⁵ až 1,57*10 ⁷	Snížení log ₁₀ ^{D,E)} 1,1	92,06 ^{A)}
<i>Bakteriofág MS2</i>	PFU/ml	3,07*10 ⁶ až 3,68*10 ⁷	Snížení log ₁₀ ^{D)} 1,47	96,61 ^{A)}
Poznámka: A) Dopočtená účinnost/koncentrace, není uvedena v původní práci B) Koncentrace na odtoku z filtrů měla zvyšující se tendenci v čase (snižující se účinnost) C) První týden činila koncentrace 1 ± 0 mg/l, čtvrtý týden 0,6 ± 0 mg/l a od pátého týdne byla pod detekčním limitem (0,5 mg/l) D) Redukce Log10 = Log ₁₀ (koncentrace umělé šedé vody) - Log ₁₀ (koncentrace na odtoku filtru) E) Není uvedeno v původní práci, jedná se o odhad z grafu				

Tab. 5.3: Účinnost biouhlu při odstraňování koncentrací vybraných parametrů z šedé vody (Sidibe, 2014)

Filtrací odpadní vody z prádelny, tedy šedé vody, se také zabýval Yaseen & kol. (2019), který vyjma jiných filtračních médií testoval také biouhel. Šedá voda byla sbírána při praní ženského oblečení a obuvi pomocí různých druhů aniontových detergentů v prášku a následně přefiltrována 5 µm filtrem a skladována v objemu 100 l při 4°C. Filtr o půdorysných rozměrech 250x250 mm se skládal z drceného kameniva mocnosti 25 cm (frakce 5-10 mm) a drceného biouhlu o mocnosti vrstvy rovněž 25 cm (biouhel byl frakce 1-5 mm, vyroben pyrolýzou při 550–850 °C ze dřeva Blahovičnicku pobřežního a Blahovičnicku kulatoplodého). Experiment probíhal 7 dní a dle autora lze konstatovat, že testované filtrační materiály, tedy i biouhel, dokáží účinně odstraňovat znečišťující látky z odpadních vod vznikajících při praní prádla a obuvi. Nadále lze z níže uvedené Tab. 5.4, jež zachycuje vybrané výsledky experimentu konstatovat, že účinnost biouhlu při odstraňování CHSK, BSK₅, celkové alkality, TSS i TDS činila 72,6; 79,8; 71,2; 92,9; respektive 74,2 %.

Den	Označení	Parametr						
		pH	EC [μ S/cm]	CHSK [mg/l]	BSK ₅ [mg/l]	Alkalita ^{D)} [mg/l]	TSS [mg/l]	TDS [mg/l]
1	ŠV ^{A)}	8,32	648,8	4832	2222,72	579,6	2666,4	528
	BV ^{B)}	7,02	315,2	1360	625,6	168	186,4	184
2	ŠV ^{A)}	7,8	540,4	3624	1674	720,4	2011,6	384,2
	BV ^{B)}	7,4	284,2	1020	370	210	178,6	171,8
3	ŠV ^{A)}	8	570,6	4010	1954	700,4	2404,2	646,4
	BV ^{B)}	7	325,1	1250	405	195,6	192,3	211,9
4	ŠV ^{A)}	8,4	548,4	4950	2245	490,5	2301,1	1149,1
	BV ^{B)}	6,9	365,5	1395	492	135,5	210,2	175,3
5	ŠV ^{A)}	8,5	740,4	6040	2770	495,6	2841,2	752,8
	BV ^{B)}	7,1	340,5	1300	445	165,1	210,5	180,3
6	ŠV ^{A)}	8,8	701,5	5150	2512	567,2	2945,5	1008,9
	BV ^{B)}	6,9	295,5	1125	365	142,5	140,8	259,6
7	ŠV ^{A)}	8,5	645,5	4010	2135	550,2	2793,4	863,1
	BV ^{B)}	7,1	308,7	1485	425	165,5	158,7	191,4
Prům. ^{C)}	ŠV ^{A)}	8,3	627,9	4659	2216	586,3	2566,2	761,8
	BV ^{B)}	7,1	319,2	1276	447	168,9	182,5	196,3
Účinnost filtrů ^{C)} [%]		-	-	72,6	79,8	71,2	92,9	74,2
Poznámka: A) Šedá voda na vstupu do filtrů B) Ošetřená voda na odtoku filtru obsahujícího biouhel C) Dopočtená průměrná koncentrace a průměrná účinnost filtru vzhledem ke koncentraci v šedé vodě, není uvedena v původní práci D) Celková alkalita jako CaCO ₃								

Tab. 5.4: Vybrané parametry šedé vody na vtoku a odtoku filtrů obsahujících biouhel (Yaseen & kol., 2019)

Thompson & kol. (2020) se ve svém experimentu zaměřil, mimo jiné, na sorpci polutantů obsažených v šedé vodě pomocí různých typů biouhlu (z různých surovin a rozdílného způsobu výroby, viz Tab. 5.5). Experiment probíhal v nádobě s míchadlem (120 otáček/min) o objemu 0,5 l, která byla naplněna šedou vodou a testovaným sorbentem v dávce 2 g/l. Šedá voda pocházela ze sprch a umyvadel univerzitní koleje v USA, byla před aplikací přefiltrována pomocí 1,2 μ m filtrů a byly testovány různé doby kontaktu sorbentu s šedou vodou, konkrétně 2, 4 a 8 hodin. Před analýzou byly vzorky pro DOC (rozpuštěný organický uhlík) a UVA₂₅₄ (absorpce ultrafialového záření při 254 nm) filtrovány přes membránový filtr (0,45 μ m). Dle autora se při odstraňování DOC (koncentrace v šedé vodě byla 29 mg/l) nejúčinněji jevil FD-TLUD Wood, který dosahoval účinnosti přibližně 50 % (ostatní typy cca 25 %), přičemž doba kontaktu neměla významným vliv na odstranění DOC,

z čehož vyplývá, že první 2 hodiny expozice jsou stěžejní. Obdobně tomu bylo i při odstraňování UVA₂₅₄, kdy biouhel FD-TLUD Wood dosáhl účinnosti 80 %.

Typ biouhlu	Surovina	Pyrolýza ^{A)}
FD-TLUD Wood	Směs pelet tvrdého a měkkého dřeva	metodou FD-TLUD při 850 °C
Full-Scale Wood	Dřevní štěrky	při 400 až 1200 °C
800 C Furnance Wood	Borovicové pelety	po dobu 2 h při 800 °C
900 C Furnance Wood	Borovicové pelety	po dobu 2 h při 900 °C
Bone	Hovězí kosti	po dobu 8 h při 700 °C
Poznámka: A) Vypalování suroviny bez přístupu vzduchu při dané teplotě po určitou dobu		

Tab. 5.5: Suroviny pro výrobu biouhlu a způsob pyrolýzy (*Thompson & kol., 2020*)

Na odstraňování polutantů z odpadní vody pomocí filtrace, což také může napovědět o účinnosti při čištění šedé vody, se ve své práci zaměřoval také *Kaetzl & kol. (2018)* přičemž jedním z testovaných materiálů byl právě biouhel vyráběný komerčním způsobem při teplotě 700 °C z blíže nespecifikovaných dřevin a velikost jeho specifického povrchu činila 485 m²/g, respektive 1,11 * 10⁸ m²/m³. Pro biouhel byly sestaveny 3 shodné filtry, které se skládaly ze skleněných kolon o průměru 5 cm a výšce 180 cm, naplněných (od spodu) štěrkem o mocnosti 10 cm (frakce 11-16 mm), třemi vrstvami promytého biouhlu, každá o mocnosti 50 cm (různé frakce v tomto pořadí: 11-16 mm, 8-11 mm a 5-8 mm), opět vrstvou štěrku o mocnosti 10 cm (frakce 5-8 mm), přičemž 10 cm nad její úroveň byl umístěn odtok z filtrů (tzn. filtrační materiály byly stále pod hladinou ošetřované odpadní vody). Kolony poté byly přikryty hliníkovou fólií pro zabránění růstu řas a jejich napájení probíhalo čerpadlem (konstantní hydraulické zatížení 0,05 m/h na jeden filtr) a průtok ošetřované skutečné odpadní vody filtrem byl vertikálně vzestupný (tedy směrem od spodu vzhůru). Aplikace odpadní vody do filtrů probíhala po předúpravě sedimentací, odběr vzorků probíhal 1x týdně a průměrná doba zdržení ve filtru činila 34,5 hodiny. Vybrané parametry zachycuje Tab. 5.6, kde biouhel dosahoval vysoké účinnosti při snižování CHSK, TOC či zákalu (87; 77, respektive 93 %) a dle autora experimentu se jeví jako vysoce vhodným a udržitelným filtračním médiem pro anaerobní úpravu odpadní vody.

Parametr	Jednotky	Koncentrace v odpadní vodě ^{A)}	Koncentrace po ošetření	Účinnost filtru [%]
pH	-	7,8 ± 0,2	7,8 ± 0,3	-
EC	μS/cm	1178 ± 166	1148 ± 154	-
CHSK	mg/l	372 ± 120	48 ± 19	87 ± 2,6
TOC	mg/l	137 ± 45	31 ± 9,1	77 ± 3,6
Celkový dusík	mg/l	70 ± 12,4	61 ± 10	14 ± 8,1
Celkový fosfor	mg/l	2,6 ± 0,5	2,3 ± 0,3	13 ± 9,0
<i>Escherichia coli</i>	log ₁₀ MPN/ml	4,93 ± 0,39	3,96 ± 0,43	0,99 ± 0,31
Enterokoky ^{B)}	log ₁₀ MPN/ml	4,29 ± 0,28	3,28 ± 0,34	1,02 ± 0,3
Zákal	FNU	260 ± 92	14 ± 8,2	93
Poznámka: A) Koncentrace na vstupu do filtrů po předúpravě odpadní vody sedimentací B) Bakterie žijící ve střevním traktu živočichů, tudíž poukazují Na fekální znečištění vody. Způsobují onemocnění kůže, očí, uší a dýchacích cest (US EPA, ©2021)				

Tab. 5.6: Přehled vybraných parametrů kvality odpadní vody před a po filtraci pomocí biouhlu (Kaetzl & kol., 2018)

Také Dalahmeh (2016) se v rámci svého experimentu zabýval biouhlem z vrbového, nebo blíže nespecifikovaného tvrdého dřeva (mimo dalšího) a jeho účinnostmi při čištění skutečné a syntetické odpadní vody, a ačkoliv se nejednalo o šedou vodu, výsledky toho experimentu mohou také napovědět o účinku při čištění šedé vody. Pro testování každého biouhlu byly připraveny 3 shodné filtry s kontinuálním provozem o průměru 50, 75, nebo 200 mm (dle testovaného parametru) a byly naplněny (od spodu) štěrkem o mocnosti vrstvy 2,5 cm, biouhlem o mocnosti 50 cm a opět vrstvou štěrku mocnosti 2,5 cm. Biouhel z vrbového dřeva byl složen z frakcí 1-1,4 a 2,8-5 a druhý biouhel z tvrdého dřeva byl frakce 1,4-5 mm. Výsledky zachycuje Tab. 5.7 a dle autora experimentu se prokázalo, že biouhlové filtry jsou účinné a konstantní při odstraňování organických látek z odpadních vod i při proměnlivém zatížení.

Parametr	Jednotky	Koncentrace v odpadní vodě	Účinnost filtru [%]	
			Tvrdé dřevo ^{A)}	Vrbové dřevo ^{B)}
CHSK	mg/l	496 ± 87	95 ± 3	99 ± 0,3
BSK ₇	mg/l	131 ± 50	98 ± 2	-
Dusičnanový dusík (NO ₃ -N)	mg/l	6 ± 6	-	-
Celkový dusík	mg/l	30 ± 4	52 ± 29	91 ± 9
Fosforečnany (P-PO ₄ ³⁻)	mg/l	1,87 ± 0,94	62 ± 18	86 ± 9
MBAS	mg/l	82 ± 15	-	99 ± 1,4
Celkový fosfor	mg/l	3.6±0.1 až 3.8±0.7	-	89 ± 7
Poznámka: A) Hydraulické zatížení 37 ± 7 l/m ² /den B) Hydraulické zatížení 34 l/m ² /den				

Tab. 5.7: Přehled vybraných parametrů kvality odpadní vody před a po filtraci pomocí biouhlu z tvrdého či vrbového dřeva (*Dalahmeh, 2016*)

Dalahmeh & kol. (2018) provedl i další experiment týkající se opět čištění odpadní vody, a to pomocí biouhlu frakce 1-5 mm (a dalších materiálů) se zaměřením na farmaceuticky aktivní sloučeniny. Experiment probíhal po dobu 22 týdnů v kolonách průměru 5 cm a výšky 55 cm, přičemž byly testovány biouhlové filtry s aktivním i neaktivním biofilmem (společenstvem organismů vázaným k povrchu) a filtry byly provozovány kontinuálně s hydraulickým zatížením 50 l/m²/den. Dle autora biouhel ve filtru bez biofilmu dokázal nejúčinněji odstraňovat Karbamazepin s účinností 99 ± 4 % (ostatní nad 90 ± 11 %), pro Metopropol vykazovaly shodnou účinnost filtry s aktivovaným biofilmem a bez biofilmu 99 ± 1 % (s neaktivním biofilmem bylo dosaženo účinnosti 98 ± 3 % s propadem na 80 ± 35 % v 8. týdnu experimentu). Ranitidin byl všemi filtry odstraňován s účinností od 98 do 99 % a i kofein byl odstraňován s účinností 96 až 99 % všemi filtry, přičemž účinnost filtru s neaktivovaným biofilmem během 13. až 17. týdne poklesla a posléze se opět navrátila k 99 %. Průměrná účinnost při odstraňování CHSK po 22 týdnech činila 95 ± 3 % a účinnost odstraňování celkového dusíku, dusičnanů a fosforečnanů se pro jednotlivé filtry lišila, přičemž výsledky zachycuje Tab. 5.8 a Tab. 5.9.

Parametr	Jednotky	Koncentrace v odpadní vodě	Biouhel s aktivovaným biofilmem	Biouhel s neaktivním biofilmem
CHSK	mg/l	496 ± 106	24 ± 14	173 ± 106
Dusičnanový dusík (NO ₃ -N)	mg/l	50,7 ± 50,8	130,1 ± 90,5	60,8 ± 30,0
Celkový dusík	mg/l	30 ± 4	15 ± 10	46 ± 19
Fosforečnany (P-PO ₄ ³⁻)	mg/l	10,87 ± 0,94	0,80 ± 0,37	10,48 ± 10,01

Tab. 5.8: Přehled koncentrací vybraných parametrů před a po filtraci pomocí biouhlu (Dalahmeh & kol., 2018)

Parametr →		Karbamazepin [ng/l]	Metoprolol [ng/l]	Ranitidin [ng/l]	Kofein [ng/l]
Koncentrace v odpadní vodě	Aktivovaný biofilm	12300 ± 6400	5700 ± 11500	7100 ± 2400	4600 ± 3200
	Neaktivní biofilm	8900 ± 2800	1900 ± 990	7200 ± 1500	3900 ± 1500
	Bez biofilmu	6900 ± 1500	3100 ± 520	3200 ± 860	3800 ± 720
Koncentrace po ošetření	Aktivovaný biofilm	38 ± 74	2 ± 3	10 ± 9	11 ± 4
	Neaktivní biofilm	920 ± 1000	7 ± 14	29 ± 30	130 ± 230
	Bez biofilmu	31 ± 83	2 ± 2	10 ± 10	11 ± 4

Tab. 5.9: Koncentrace farmaceuticky aktivní sloučeniny v odpadní vodě a na odtoku filtrů (Dalahmeh & kol., 2018)

A v neposlední řadě se také Reddy & kol. (2014) ve svém experimentu zabýval účinností biouhlu při čištění syntetické dešťové vody (což rovněž může napovědět o účinnosti při čištění šedé vody). V rámci experimentu se autor rovněž zabýval odlišnostmi při využití promytého, nebo nepromytého filtračního média. Filtry byly sestaveny z akrylových kolon o průměru 7 cm a výšce 61 cm, které byly naplněny (od spodu) štěrkem o mocnosti vrstvy 7,6 cm, biouhlem o mocnosti vrstvy 23 cm (frakce 2-4,75 mm, vyrobený z odpadních pelet zplyňováním při 520 °C) a opět vrstvou štěrku o mocnosti 7,6 cm, přičemž mezi vrstvy bylo vloženo pletivo z nerezové oceli. Syntetická dešťová voda byla připravena tak, aby simulovala skutečné zatížení povrchového odtoku ve městech (obsahovala kontaminanty, jako jsou živiny, těžké kovy či polycyklické aromatické uhlovodíky) a filtry byly zatíženy syntetickou dešťovou vodou o trojnásobném objemu pórů filtračního média. Dle závěrů autora experimentu biouhel dokázal snižovat koncentrace TSS, dusičnanů a fosforečnanů ze syntetické dešťové vody s průměrnou účinností 86; 86, respektive 47 %. Pro těžké kovy Cd, Cr, Cu, Pb, Ni a Zn průměrné účinnosti odstraňování činily 18; 19; 65; 75; 17;

respektive 24 %. Polycyklické aromatické uhlovodíky, konkrétně fenanthren ($C_{14}H_{10}$) byl odstraňován s účinností téměř 100 %, pro naftalen ($C_{10}H_8$) účinnosti činila 76 %, zatímco pro benzo(a)pyren (BaP, $C_{20}H_{12}$) byla účinnost 0 % (nebyl odstraněn vůbec). Rovněž biouhel nevyňikal ani při odstraňování *Escherichia coli*, kde bylo dosaženo průměrné účinnosti 27 %.

Účinnost biouhlu již byla také vyhodnocována v rámci experimentu provedeného pro účely bakalářské práce “Ověření vhodnosti různých filtračních materiálů pro čištění šedých vod zasakovacím pásem” (Hladký, 2021). V rámci experimentu byly využity shodné filtry a shodný způsob provádění s experimentem této diplomové práce, viz kapitola 6, přičemž odlišnosti týkající se zjišťování účinnosti biouhlu, spočívaly především v počtu sledovaných parametrů a hydraulickém zatížení (testováno pouze 70 a 30 % saturace filtrů). Biouhel dokázal účinně odstraňovat celkový organický uhlík, celkový dusík, dusitany, dusičnany, bromidy i fosforečnany (s účinností 60, 59; 90; 87; 46, respektive 76 %), viz Tab. 5.10. Přesto však v případě odstraňování dusičnanů dosáhl horší účinnosti než tzv. kontrolní skupina (o 1 %), rovněž i v případě bromidů (nižší účinnost o 38 %). Biouhel vykazoval vysokou účinnost i při odstraňování aniontových i neiontových tenzidů ($95,33 \pm 0,99$; respektive $44,29 \pm 4,82$ %).

Parametr	Koncentrace v šedé vodě [mg/l]	Koncentrace na odtoku filtrů [mg/l]	Účinnost filtrů [%]
Celkový organický uhlík	$47,37 \pm 10,49$	$18,89 \pm 7,35$	$60,11 \pm 15,52$
Anorganický uhlík	$19,20 \pm 3,23$	$69,92 \pm 13,70$	$-264,16 \pm 71,35$
Celkový uhlík	$66,56 \pm 12,71$	$88,81 \pm 19,92$	$-33,43 \pm 29,92$
Celkový dusík	$4,46 \pm 0,67$	$1,83 \pm 0,43$	$59,04 \pm 9,55$
Fluoridy (F^-)	$0,14 \pm 0,06$	$0,41 \pm 0,28$	$-173,85 \pm 200,21$
Chloridy (Cl^-)	$31,63 \pm 0,88$	$29,40 \pm 4,69$	$10,75 \pm 23,31$
Dusitany (NO_2^-)	$0,15 \begin{matrix} + 0,22 \\ - 0,15 \end{matrix}$	$0,01 \begin{matrix} + 0,02 \\ - 0,01 \end{matrix}$	$90,43 \begin{matrix} + 9,57 \\ - 14,78 \end{matrix}$
Dusičnany (NO_3^-)	$13,26 \pm 5,09$	$1,74 \begin{matrix} + 1,75 \\ - 1,74 \end{matrix}$	$87,37 \begin{matrix} + 12,63 \\ - 13,17 \end{matrix}$
Bromidy (Br^-)	$0,13 \pm 0,03$	$0,07 \pm 0,07$	$46,60 \pm 52,51$
Fosforečnany (PO_4^{3-})	$1,85 \pm 0,12$	$0,46 \begin{matrix} + 0,69 \\ - 0,46 \end{matrix}$	$76,05 \begin{matrix} + 23,95 \\ - 36,54 \end{matrix}$
Sírany (SO_4^{2-})	$45,37 \pm 6,51$	$50,81 \pm 17,57$	$-7,52 \pm 43,84$

Tab. 5.10: Účinnost biouhlu při odstraňování vybraných parametrů (Hladký, 2021)

Tab. 5.11 je výběrem dosažených účinností odstraňování některých parametrů z šedé vody za využití biouhlu, jako filtračního média, v rámci experimentů uvedených v této kapitole. V rámci odstraňování CHSK či zákalu autoři dosahovali srovnatelných výsledků, avšak u ostatních parametrů se jejich výsledky rozcházely. V konečném důsledku lze konstatovat, že i přes uspokojivé snížení koncentrací některých polutantů z šedé vody pomocí filtrů s obsahem biouhlu, ošetřená šedá voda nedokáže splnit kvalitativní požadavky kladené na vodu užitkovou (Hladký, 2021; Thompson & kol., 2020).

Parametr	Účinnost odstranění [%]					
	<i>Moges & kol., 2015</i>	<i>Berger, 2012</i>	<i>Sidibe, 2014</i>	<i>Kaetzl & kol., 2018</i>	<i>Dalahmeh, 2016</i>	<i>Hladký, 2021</i>
CHSK	80,01	99,1	90	87	95 až 99	-
Zákal	84,37	-	-	93	-	-
Celkový fosfor	58,3	89,3	-	13	89	-
NH ₄ -N	43,07	2,7	-	-	-	-
NO ₃ -N	77,47	19,8	0	-	-	-
Celkový dusík	66,07	90,94	0	14	52 až 91	59,04
P-PO ₄ ³⁻	19,72	85,87	-	-	62 až 86	-
TOC	-	-	-	77	-	60,11

Tab. 5.11: Vybrané parametry a účinnost jejich odstraňování z vody pomocí biouhlu

5.2 Filtry obsahující antuku

Účinnosti antuky, respektive drcených cihel, při čištění šedé vody zahrnoval experiment *Ushijima & kol. (2013)* a probíhal přibližně 10 měsíců. V rámci experimentu byly sestaveny 4 půdní komory o rozměrech 0,145 x 0,94 x 0,10 m (šířka x délka x hloubka) a sklonu dna 1:20, umístěné vertikálně nad sebou. Byly testovány 2 frakce drcených cihel (1-4 mm, nebo 4-11 mm), případně jejich kombinace. Šedá voda byla připravována synteticky a dávkována byla vždy 3x denně ve shodném objemu – ráno, v poledne a večer (časový rozestup 5 hodin) a to v různém množství, protože byly testovány i různé průtoky (od 15 l/den po 60 l/den). Vybrané výsledky experimentu zachycuje Tab. 5.12 této práce a nadále autor experimentu uvádí, že bylo při využití jemné frakce (1-4 mm) dosaženo redukce 5 log₁₀ a 3 log₁₀ pro *Escherichia coli* a *Bakteriofágu MS2*. Rovněž však pro tuto jemnou frakci bylo po 3 až 5 týdnech provozu pozorováno zanášení, ale kombinace jemné a hrubé frakce tento jev odsunula až na 8. týden. Při snižování CHSK a suspendovaných

pevných látek si nejlépe vedl kombinovaný filtr (frakce drcených cihel 1-4 mm v první komoře a 4-11 mm ve zbylých komorách) při zatížení 30 l/den, neboť dosahoval účinnosti 82, resp. 95 % a filtr s jemnou frakcí drcených cihel (1-4 mm) při nejnižším testovaném zatížení 15 l/den, s účinností 83, respektive 96 %.

Parametr	Koncentrace v šedé vodě [mg/l]	Účinnost filtrů ^{A)} [%]				
		Frakce drcených cihel, zatížení filtru, doba výzkumu				
		4-11 mm, 60 l/den, 6 týdnů	1-4 mm, 60 l/den, 5 týdnů	1-4 mm, 30 l/den, 8 týdnů	Komb. ^{B)} , 30 l/den, 8 týdnů	1-4 mm, 15 l/den, 8 týdnů
CHSK	200 až 1000	56	75	78	82	83
SS ^{C)}	40 až 250	59	82	89	95	96
Poznámka: A) Jedná se o odhad na základě grafů uvedených v původní práci, jedná se o účinnost filtrů vzhledem ke koncentracím v šedé vodě B) Kombinace frakcí, první komora naplněna frakcí 1-4 mm, zbylé (3) komory frakcí 4-11 mm C) Suspendované pevné látky						

Tab. 5.12: Koncentrace vybraných parametrů v šedé vodě a účinnost jejich odstraňování při použití drcených cihel (*Ushijima & kol., 2013*)

Na odstraňování fluoridů, arsenu a koliformních bakterií z vody, a to pomocí drcených cihel jakožto filtračního média, se ve svém experimentu zaměřil *Devi & kol. (2008)*. Ačkoliv jeho experiment byl zaměřen na čištění vody pitné, jeho výsledky mohou napovědět účinkům využití drcených cihel i při filtraci vody šedé. Autor pro experiment využil dvě válcové nádrže o průměru 30 cm a výšce 100 cm, přičemž první (HMF₁) byla naplněna (ode dna) následujícími vrstvami: 10 cm kamenných oblázků, 8 cm filtračního štěrku (frakce 0,8 – 1,5 mm) a vrstvou 40 cm filtračního písku (frakce 0,2-0,8 mm). Tato první nádrž sloužila jako kontrola a druhá (MHMF₂) byla vyhotovena stejným způsobem, avšak mezi vrstvu filtračního štěrku a písku byla vložena vrstva z drcených cihel frakce 0,25-0,5 mm a mocnosti 10 cm. Následně byla testována doba ošetření 2, 4, 6, 8, 10 a 12 hodin, přičemž aplikace vody probíhala vždy několik hodin, a to takovým způsobem, že pro zmiňované doby zadržení bylo dosaženo rychlosti filtrace 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; respektive 1,2 l/h. Porovnání účinnosti filtrů MHMF₂ a HMF₁ zachycuje Tab. 5.13 a je zřejmé, že maximální účinnosti filtru MHMF₂ při odstraňování fluoridů bylo dosaženo při 10 hodinovém zadržení (45,5 %), rovněž je zřejmý potenciál pro odstraňování arsenu, kde opět během doby zadržení 10 a 12 hodin bylo dosaženo nejlepšího účinku (46,92 %). Rovněž při odstraňování koliformních bakterií bylo dosaženo vysokých účinností

a s rostoucí dobou zadržení rostla i účinnost (až po 100 % při zadržení 12 h). Dle závěrů autora bylo využití drcených cihel jako filtračního média velmi účinné při odstraňování fluoridů, arsenu i koliformních bakterií z pitné vody (20,4 až 44,8 %, 7,69 až 46,92 %, respektive 39,95 až 100 %).

Doba zadržení [h]	Účinnost odstranění ^{A)} [%]		
	Fluoridy	Arsen	Koliformní bakterie
	5 mg/l ^{B)}	0,13 mg/l ^{B)}	2 x 10 ⁹ koliformních buněk/100 ml ^{B)}
2	20,4	7,69	39,95
4	38	15,38	42,05
6	39,4	38,46	67,89
8	44,4	46,15	86,75
10	45,5	46,92	99,99
12	44,8	46,92	100

Poznámka: A) Jako příspěvek odstranění filtrem MHMF₂ vůči filtru HMF₁, výpočetem na základě koncentrací:

$$[(HMF_1 - MHMF_2) / (\text{viz bod B})] \cdot 100$$

 B) Koncentrace v neošetřené vodě - vstup do filtrů

Tab. 5.13: Příspěvek odstranění vybraných parametrů při využití drcených cihel (Deví & kol., 2008)

Účinnost antuky již byla také vyhodnocována v rámci experimentu provedeného pro účely bakalářské práce (Hladký, 2021). V rámci experimentu byly využity shodné filtry a shodný způsob provádění s experimentem této diplomové práce, viz kapitola 6, přičemž odlišnosti týkající se zjišťování účinnosti antuky spočívaly především v počtu sledovaných parametrů a hydraulickém zatížení (testováno pouze 70 a 30 % saturace filtrů). Antuka dokázala relativně účinně odstraňovat celkový organický uhlík, celkový dusík, dusitany, dusičnany, bromidy i fosforečnany (s účinnostmi 34, 48; 91; 93; 52, respektive 86 %), viz Tab. 5.14. Přesto však v případě odstraňování bromidů dosáhla horší účinnosti, nežli tzv. kontrolní skupina (o 30 %). Antuka poté vykazovala i relativně vysokou účinnost při odstraňování aniontových i neiontových tenzidů (84,65 ± 4,79; respektive 42,61 ± 13,89 %).

Parametr	Koncentrace v šedé vodě [mg/l]	Koncentrace na odtoku filtrů [mg/l]	Účinnost filtrů [%]
Celkový organický uhlík	47,37 ± 10,49	30,99 ± 13,64	34,57 ± 28,79
Anorganický uhlík	19,20 ± 3,23	83,79 ± 16,30	-336,43 ± 84,91
Celkový uhlík	66,56 ± 12,71	114,79 ± 26,85	-72,46 ± 40,34
Celkový dusík	4,46 ± 0,67	2,32 ± 0,62	48,07 ± 13,94
Fluoridy (F ⁻)	0,14 ± 0,06	0,66 ± 0,32	-361,26 ± 226,37
Chloridy (Cl ⁻)	31,63 ± 0,88	29,88 ± 3,52	5,53 ± 11,14
Dusitany (NO ₂ ⁻)	0,15 ^{+ 0,22} - 0,15	0,01 ^{+ 0,03} - 0,01	91,36 ^{+8,64} -22,73
Dusičnany (NO ₃ ⁻)	13,26 ± 5,09	0,90 ± 0,85	93,20 ± 6,41
Bromidy (Br ⁻)	0,13 ± 0,03	0,06 ± 0,06	52,14 ± 46,93
Fosforečnany (PO ₄ ³⁻)	1,85 ± 0,12	0,25 ^{+ 0,37} - 0,25	86,36 ^{+ 13,64} - 20,08
Sírany (SO ₄ ²⁻)	45,37 ± 6,51	46,52 ± 20,34	-2,54 ± 44,84

Tab. 5.14: Účinnost antuky při odstraňování vybraných parametrů (Hladký, 2021)

Z uvedených experimentů a jejich výsledků v této kapitole vyplývá, že účinnost antuky při čištění šedé vody není příliš probádána a autoři rovněž sledovali rozdílné parametry. Jediným shodným parametrem, který sledovali *Devi & kol. (2008)* a *Hladký (2021)* byly koncentrace fluoridů, přičemž jejich výsledky se zásadně liší, konkrétně 20,4 až 45,5 % dle doby expozice v experimentu *Devi & kol. (2008)*, versus záporná, tedy nulová účinnost v případě práce *Hladký (2021)*.

5.3 Filtry obsahující mykorhizu

Účinnost mykorhizy byla vyhodnocována v rámci experimentu provedeného pro účely bakalářské práce (*Hladký, 2021*). V rámci experimentu byly využity shodné filtry a shodný způsob provádění s experimentem této diplomové práce, viz kapitola 6, přičemž odlišnosti týkající se zjišťování účinnosti mykorhizy, spočívaly především v počtu sledovaných parametrů a hydraulickém zatížení (testováno pouze 70 a 30 % saturace filtrů). Mykorhiza dokázala relativně účinně odstraňovat celkový organický uhlík, celkový dusík, dusitany, dusičnany, bromidy i fosforečnany (s účinností 40, 34; 76; 69; 59, respektive 74 %), viz Tab. 5.15. Přesto však v případě odstraňování dusitanů, dusičnanů a bromidů mykorhiza dosáhla horší účinnosti, nežli tzv. kontrolní skupina (o 9; 19, respektive 23 %). Mykorhiza však vykazovala vysokou účinnost při odstraňování aniontových i neiontových tenzidů (95,55 ± 1,37; respektive 54,93 ± 11,9 %).

Parametr	Koncentrace v šedé vodě [mg/l]	Koncentrace na odtoku filtrů [mg/l]	Účinnost filtrů [%]
Celkový organický uhlík	47,37 ± 10,49	28,09 ± 15,65	40,70 ± 33,04
Anorganický uhlík	19,20 ± 3,23	64,99 ± 21,47	-238,49 ± 111,84
Celkový uhlík	66,56 ± 12,71	93,08 ± 34,40	-39,85 ± 51,68
Celkový dusík	4,46 ± 0,67	2,94 ± 1,17	34,10 ± 26,27
Fluoridy (F ⁻)	0,14 ± 0,06	0,42 ± 0,31	-190,61 ± 214,53
Chloridy (Cl ⁻)	31,63 ± 0,88	29,05 ± 2,69	8,14 ± 8,49
Dusitany (NO ₂ ⁻)	0,15 + 0,22 - 0,15	0,03 + 0,07 - 0,03	76,45 + 23,55 - 50,20
Dusičnany (NO ₃ ⁻)	13,26 ± 5,09	3,99 + 6,17 - 3,99	69,94 + 30,06 - 46,55
Bromidy (Br ⁻)	0,13 ± 0,03	0,05 + 0,10 - 0,05	59,45 + 40,55 - 71,92
Fosforečnany (PO ₄ ³⁻)	1,85 ± 0,12	0,48 + 0,52 - 0,48	74,17 + 25,83 - 28,25
Sírany (SO ₄ ²⁻)	45,37 ± 6,51	50,70 ± 18,00	-11,75 ± 39,68

Tab. 5.15: Účinnost mykorrhizy při odstraňování vybraných parametrů (Hladký, 2021)

Palacios & Winfrey, (2020) uvádějí, že mykorrhiza využitá v bio-filtrech může přinést 3 základní přínosy a tím podpořit proces čištění dešťové vody, což může napovídat i účinkům při čištění vody šedé. Za prvé se jedná o pozitivní vliv na délku kořenů rostlin a distribuci vody či živin těmto rostlinám z níže položených, pro rostliny nedosažitelných, půdních vrstev. Druhým přínosem při interakci s rhizosférou (oblast povrchu půdy a nejbližšího okolí kořenů rostlin, včetně půdy jimi prostoupené) ovlivnění hustoty bakteriální komunity a struktury v bio-filtrech, případně i přispívat ke zvýšení půdního organického uhlíku (SOC), přičemž tyto zmiňované faktory mají důležitou roli v cyklu dusíku. Třetím možným přínosem poté je role mykorrhizy ve fotosyntetické aktivitě bio-filtračních rostlin, podpora růstu rostlin a jejich odolnosti vůči stresu způsobeného především výkyvy dostupnosti, slanosti či teploty vody.

Rovněž mykorrhiza se na základě literární rešerše ukázala v oblasti čištění šedé vody jako neprobádané filtrační médium, neboť jediný experiment, přímo se zabývající účinky na čištění šedé vody provedl Hladký (2021).

5.4 Filtry obsahující písek

Experiment, který zahrnoval ověření účinnosti pískového filtru či dalších materiálů při odstraňování polutantů z šedé vody provedl Dalahmeh & kol. (2012). Účinnost ověřoval po dobu 113 dní v plastových kolonách o průměru 20 cm a výšce

100 cm naplněných pískem o velikosti zrn 0,8 až 6,3 mm, respektive na dně kolony byla vrstva štěrku frakce 10-25 mm o mocnosti 10 cm, mocnost pískové filtrační vrstvy činila 60 cm a svrchní vrstvu opět tvořil štěrk. Před zahájením experimentu byly filtry po dobu 75 dní denně proplachovány kohoutkovou vodou o objemu 0,33 l. Následně v průběhu experimentu byla šedá voda dávkována 3x denně, po dávkách 0,7; 0,1 a 0,2 litru, celkové hydraulické zatížení filtrů šedou vodou tedy činilo 0,032 m³/m²/den. Výsledkem experimentu bylo, že se šedá voda ve filtru obsahujícím písek zdrží přibližně 4h (průměrná doba pobytu stopovače NaCl) a z uvedené tabulky (Tab. 5.16) lze vyčíst poměrně vysokou účinnost při odstraňování BSK₅, CHSK, TOC, MBAS, celkového fosforu či fosforečnanů a termotolerantních fekálních koliformních bakterií (75; 72; 75; 96; 78; 83, respektive 91 %). Odstraňování celkového dusíku či dusičnanů lze považovat za neprůkazné a koncentrace amoniakálního dusíku se po ošetření zvýšily (z 0,5 na 3,76 mg/l).

Parametr	Jednotky	Koncentrace v šedé vodě	Koncentrace po ošetření	Účinnost filtrů [%]
pH	-	7.8 ± 0.3	7.7 ± 0.3	-
EC	μS/cm ²	1,960 ± 140	2,200 ± 140	-
BSK ₅	mg/l	425 ± 56	106,3 ^{B)}	75 ± 6
CHSK	mg/l	890 ± 130	249,2 ^{B)}	72 ± 2
TOC	mg/l	304	76,0 ^{B)}	75 ± 2
MBAS	mg/l	30 ± 10	1,2 ^{B)}	96 ± 1
Celkový fosfor	mg/l	4.2 ± 0.2	0,9 ^{B)}	78 ± 7
Fosforečnany (P-PO ₄ ³⁻)	mg/l	2.1 ± 0.4	0,4 ^{B)}	83 ± 3
Celkový dusík	mg/l	75 ± 10	72 ± 10	5 ± 7
Amoniakální dusík (NH ₄ -N)	mg/l	0.5 ± 0.2	3.76 ± 0.06	-
Dusičnanový dusík (NO ₃ -N)	mg/l	75 ± 10	72 ± 10	-
Termotolerantní fekální koliformní bakterie	CFU/ml	1.73 ± 3.3×10 ⁵	1,56×10 ⁴ B)	91 ± 11
Poznámka: A) Jedná se o dopočítané koncentrace, nejsou uvedené v původní práci				

Tab. 5.16: Účinnost pískového filtru při odstraňování vybraných parametrů a jejich koncentrace v šedé vodě (Dalahmeh & kol., 2012)

Dalším experimentem zaměřeným na čištění šedé vody, jenž zahrnoval i písek jakožto filtrační médium, provedl *Abdel-Shafy & kol. (2014)*. V rámci experimentu byla ověřována účinnost odstraňování vybraných parametrů pomocí pískových filtrů (písek frakce 0-2 mm) s různými směry průtoků ošetřované vody: SFDF, jakožto pískový filtr s průtokem směrem dolů; HFSF, jakožto pískový filtr s horizontálním průtokem

a GFSF, jakožto štěrkový filtr (frakce štěrku 2-4 mm) následovaný pískovým filtrem. Filtr SFDF o rozloze 1 m² měl mocnost pískového lože 1 m, zatímco filtry HFSF a GFSF měli rozlohu 2 m² a mocnost štěrkového či pískového lože činila 0,3 m. Vstupu šedé vody do filtrů ještě předcházelo předčištění v sedimentační nádrži, kde doba zadržení činila 1 hodinu. Filtr SFDF byl provozován s průtokem 173 m³/m²/den, zatímco HFSF a GFSF s průtokem 86,53 m³/m²/den. Samotný experiment probíhal po dobu tří měsíců a z výsledků vyplývají poměrně vysoké účinnosti při odstraňování vybraných parametrů, jak zachycuje Tab. 5.17. Při odstraňování CHSK lze pozorovat nejvyšší účinnost u filtru SFDF, který dosahoval účinnost 74 % a filtry HSFS a GFSF účinnosti 54,5, resp. 48,2 %, v případě odstraňování olejů a tuků naopak filtr SFD zaostával (účinnost 51 %), zatímco HSFS či GFSF vykazovaly účinnost 78,3, resp. 82 %. U ostatních sledovaných parametrů lze účinnost filtrů považovat za srovnatelnou, pro BSK₅, TSS, TKN, amoniak, fosforečnany a detergenty účinnosti činily 76 až 78; 81,2 až 82; 41 až 60,8; 52,1 až 58,1; 52 až 66,4, respektive 49 až 55,6 %. Závěrem lze dle autora experimentu konstatovat, že použití HFSF či GFSF pro úpravu šedé vody se jeví jako slibné, jednoduché a levné řešení, s rozsáhlou možností aplikace této technologie.

Parametr	Jednotky	Koncentrace v šedé vodě	Koncentrace na vstupu ^{B)}	Účinnost filtrů [%]		
				SFDF	HSFS	GFSF
CHSK	mg O ₂ /l	481 ± 57	190,8 ± 57	74	54,5	48,2
BSK ₅	mg O ₂ /l	260 ± 42	90,5 ± 44	76	79,0	78
TSS	mg/l	124 ± 30	41,4 ± 18	82	81,2	82
TKN ^{A)}	mg/l	19,8 ± 6	16,7 ± 6	41	60,8	52,9
Amoniak	mg/l	14,5 ± 6	14,9 ± 6	55	52,1	58,1
Fosforečnany	mg/l	12 ± 4	9 ± 3	52	66,4	61,1
Detergenty	mg/l	25 ± 7	11 ± 3	49	55,6	50
Poznámka: A) Celkový dusík podle Kjeldahla (celková koncentrace organického dusíku a amoniaku) B) Koncentrace na odtoku sedimentační nádrže (na vstupu do filtrů)						

Tab. 5.17: Účinnost pískových filtrů při odstraňování vybraných parametrů (*Abdel-Shafy & kol., 2014*)

Shaikh & Ahammed (2021) se ve své laboratorní studii po dobu více jak 6 měsíců zabývali provozním režimem pískových filtrů s ohledem na účinnost při čištění šedé vody. Filtry byly zhotoveny z PVC válců (průměru 0,2 m a výšce 1,2 m) a následně plněny vrstvou (10 cm) hrubého písku (frakce 2,36-4,75 mm), vrstvou (5 cm) středně

hrubého písku (frakce 1,18-2,36 mm) a svrchní vrstvou jemného písku o mocnosti 70 cm (frakce 0,30 až 1,00 mm, efektivní velikost zrn 0,24 mm, koeficient uniformity 2,8). Výpust' filtrů byla umístěna 5 mm nade dnem, přičemž byly testovány 4 různé typy provozu – v nepřetržitém provozu kontinuální filtr (UC) či nasycený kontinuální filtr (SC), nebo v přerušovaném provozu nenasycený přerušovaný filtr (UI) a nasycený přerušovaný filtr (SI). Systém měl předúpravu v podobě sedimentační nádrže o objemu 60 l, kde doba zdržení činila 1h. Experiment probíhal ve třech etapách, kdy během první etapy byly filtry 155 dní provozovány při průtoku 10 l/den (hydraulické zatížení 320 l/m²/den) a poté byly filtry na 32 dní odstaveny. Druhá etapa (doba trvání 7 dní) probíhala stejným způsobem jako etapa první, a během poslední (třetí) etapy byly filtry provozovány po dobu 8 dní při zvýšeném průtoku na 20 l/den (hydraulické zatížení 640 l/m²/den). Do filtrů s nepřetržitým provozem (UC a SC) byla šedá voda přiváděna nepřetržitě, zatímco do filtrů s přerušovaným provozem (UI a SI) byl celkový objem dávkován 1x denně. Autor v konečném důsledku uvádí, že nasycené filtry provozované kontinuálně či přerušovaně fungovaly výrazně lépe než filtry nenasycené. Během první etapy si při odstraňování zákalu, BSK₅, CHSK, fosforečnanů či fekálních koliformních bakterií nejlépe vedl nasycený kontinuální filtr (SC), jak zachycuje Tab. 5.18, se svou průměrnou účinností 98; 76; 88; 95, respektive 96 %, nejhůře se naopak jevil nenasycený přerušovaný filtr (UI) s průměrnou účinností 95; 59; 79; 59, respektive 88 %. Pouze při odstraňování NH₄-N se jevil nasycený kontinuální filtr s průměrnou účinností 84 % horší než nenasycený přerušovaný filtr (>99,9 %), který dosahoval shodné účinnosti s kontinuální filtrem (rovněž >99,9 %). Filtr SC také vykazoval vysokou stabilitu kvality na odtoku z filtrů. Pauza mezi 1. a 2. etapou experimentu výrazně ovlivnila odstraňování některých parametrů, a to zpravidla v negativním smyslu. Zdvojnásobení hydraulického zatížení v průběhu 3. etapy poté výrazně ovlivnilo především kontinuálně provozované filtry.

Parametr	Jednotky	Koncentrace v šedé vodě ^{A)}	Účinnost filtrů [%]			
			UC	UI	SC	SI
Zákal	NTU	41.6 ± 10.4	96.8	94.8	97.6	96.3
BSK ₅	mg/l	63.5 ± 19.5	70.8	58.7	76.3	65.2
CHSK	mg/l	128.1 ± 40.2	86.7	79.4	87.7	84.3
NH ₄ -N	mg/l	8.10 ± 1.86	>99.9	>99.9	84.2	79.3
P-PO ₄ ³⁻	mg/l	0.91 ± 0.28	70.0	58.6	94.8	71.2
FC ^{B)}	mg/l	4.3 × 10 ⁴ ± ± 3.8 × 10 ⁴	91.91	87.68	95.88	94.98
TDS	mg/l	258 ± 81 ^{C)}	238 ± ± 60 ^{C)}	266 ± ± 77 ^{C)}	227 ± ± 62 ^{C)}	225 ± ± 55 ^{C)}
pH	-	7.35 ± 0.16 ^{C)}	7.22 ± ± 0.12 ^{C)}	7.25 ± ± 0.12 ^{C)}	7.38 ± ± 0.15 ^{C)}	7.33 ± ± 0.13 ^{C)}
EC	μS/cm	455 ± 114 ^{C)}	515 ± ± 98 ^{C)}	489 ± ± 110 ^{C)}	443 ± ± 101 ^{C)}	416 ± ± 94 ^{C)}
Poznámka: A) Po předúpravě v sedimentační nádrži B) Fekální koliformní bakterie C) Uvedeno jako koncentrace na odtoku z filtrů, nejedná se o účinnost filtrů						

Tab. 5.18: Charakteristiky šedé vody po sedimentaci a na odtoku z filtrů během 1. etapy, případně účinnosti filtrů (*Shaikh & Ahammed, 2021*)

Nalezením optimální hydraulického zatížení pískových filtrů, nalezením efektivní velikosti zrn a jejich distribuce ve filtračním médiu, vše s ohledem na účinnost pro odstraňování organického znečištění šedé vody, se svým experimentu zabýval také *Abudi (2011)*. Šedá voda byla rozstříkována do filtru vyrobeného z materiálu PVR o výšce 1800 mm a průměru 300 mm, opatřeného přepadem pro udržování konstantní výšky vody nad filtračním médiem. Experiment probíhal po dobu 9 měsíců a byl rozdělen do 3 etap – první etapa používala písek o efektivním průměru zrn 0,35 mm, porézności 39 %, UC jakožto koeficientu uniformity (d_{60}/d_{10}) 2,2 a mocnosti vrstvy 1 m, druhá etapa o efektivním průměru zrn 0,75 mm, porézności 43 %, UC 2,9 a mocnosti vrstvy opět 1 m a poslední, třetí etapa využívala písek shodný s etapou první, avšak mocnost vrstvy byla 0,7 m. Písek byl vždy uložen na blíže nespecifikované vrstvě štěrku. Autor experimentu dospěl k závěru, že se zvyšujícím se hydraulickým zatížením klesá účinnost odstraňování BSK₅ (při zatížení 680 l/h/m² činila 51 %, zatímco při zatížení 212 l/h/m² se zvýšila na 83 %), což autor vysvětluje faktem, že biologický rozklad kontaminantů vyžaduje čas. Při odstraňování zákalu se ukázal písek o efektivním průměru zrn 0,35 mm a porézności 39 % účinnější, nežli písek s efektivním průměrem zrn 0,75 mm a porézności 43 % (účinnosti 89 vs. 81 %). Pro účinnost odstraňování CHSK se ukázala stěžejní doba, po kterou je čištěná voda v kontaktu s filtračním médiem

(EBCT), neboť pro 48 minut byla účinnost 41 %, zatímco pro 90 minut činila 76 %. Rovněž se ukázala závislost účinnosti odstraňování CHSK či BSK₅ na teplotě vody, neboť se pohybovala od 64 % při 18°C až po 78 % při 32°C.

Mocností pískového filtračního lože na účinnost čištění povrchové vody se zabýval *El-Taweel & Ali (2000)*, což může napovědět i o účinnosti při čištění vody šedé. V rámci experimentu byly v ocelových nádržích o výšce 2,0 m a průměru 0,3 m na šterkové vrstvě o mocnosti 35 cm testovány 3 různé mocnosti pískového filtračního lože (frakce písku 0,6–2 mm) – 50; 60 a 75 cm. Dle autorů lze poté konstatovat, že mocnost filtračního lože 60 cm je účinnější než 50 cm, přičemž navýšení mocnosti na 75 cm nepřináší významný vliv na účinnost čištění. Rovněž dle autorů všechny pomalé pískové filtry vykazovaly výrazné snížení organického znečištění a zákalu, jak zachycuje Tab. 5.19 a jeví se účinné i při odstraňování dalších biologických charakteristik (viz Tab. 5.20), vyjma účinnosti při odstraňování zelených řas (účinnost činila 57 až 74 %), což mohlo být způsobeno faktem, že většina druhů patřících do této skupiny se vyznačuje kokoidním tvarem a mohly tedy snadno procházet skrze pískové filtrační lože. Za zdůraznění stojí vysoká účinnost při odstraňování fekálních koliformních bakterií (pro 50 a 60 cm činila 92 %, pro 75 cm byla 96 %), případně při odstraňování celkových fekálních bakterií (pro všechny mocnosti činila shodných 93 %).

Parametr	Jednotky	Koncentrace		Účinnost pískového filtru ^{A,B)}
		Surová voda	Ošetřená voda ^{A)}	
pH	-	7,5	7,2	-
Zákal	NTU	6,5	0,5	92,3
Elektrická konduktivita	μS	370	370	-
Celkové rozpuštěné pevné látky	mg/l	225	225	0,0
Chloridy (Cl ⁻)	mg/l	18	18	0,0
Sírany (SO ₄ ²⁻)	mg/l	25	25	0,0
Dusitan (N)	mg/l	0,0	0,0	-
Dusičnan (N)	mg/l	0,13	0,05	61,5
Celkový organický dusík (N)	mg/l	1,12	0,0	100,0
Celkový fosfor (P)	mg/l	0,16	0,05	68,8
Poznámka: A) Průměr z odtoku všech tří filtrů (mocnosti pískového lože 50; 60 a 75 cm) B) Dopočtená účinnost vzhledem ke vstupním koncentracím v šedé vodě, není uvedena v původní práci				

Tab. 5.19: Účinnost pískového filtru při odstraňování vybraných parametrů a výčet jejich koncentrací v surové vodě (*El-Taweel & Ali, 2000*)

Parametr	Účinnost filtru dle mocnosti pískového lože [%]		
	50 cm	60 cm	75 cm
Chlorofyl 'a'	98	92	80
Zelené řasy	68	74	57
Rozsivky	93	90	98
Celkový počet řas	92	89	96
Celkový počet bakterií při 22 °C	71	99	96
Celkový počet bakterií při 37 °C	91	98	95
Celkové koliformní bakterie	93	93	93
Fekální koliformní bakterie	92	92	96
Fekální streptokoky	93	85	93
Kvasinky	98	99	97
Kandida bělostná	100	100	100

Tab. 5.20: Účinnost pískových filtrů v oblasti biologických charakteristik (*El-Taweel & Ali, 2000*)

V Tab. 5.21 je shrnuta účinnost odstraňování některých parametrů z šedé vody za využití písku, jako filtračního média v rámci experimentů uvedených v této kapitole. Z tabulky je zřejmé, že jednotlivé studie dosahovaly podobné účinnosti zejména pro CHSK, zákal, celkový fosfor, P-PO₄³⁻ a BSK₅. Amoniakálním dusíkem se zabývali pouze dva autoři, přičemž *El-Taweel & Ali (2000)* odstranění nedosáhl, zatímco *Shaikh & Ahammed (2021)* uvádí účinnost odstranění mezi 79,3 až 99,9 %.

Parametr	Účinnost odstranění [%]				
	<i>Dalahmeh & kol., 2012</i>	<i>Abdel-Shafy & kol., 2014</i>	<i>Shaikh & Ahammed, 2021</i>	<i>El-Taweel & Ali, 2000</i>	<i>Abudi, 2011</i>
CHSK	72	48,2 až 74	79,4 až 87,7		41 až 78
Zákal			94,8 až 97,6	92,3	
Celkový fosfor	78			68,8	
NH ₄ -N			79,3 až >99,9	0	
P-PO ₄ ³⁻	83		58,6 až 94,8		
BSK ₅	75	76 až 79	58,7 až 76,3		51 až 83

Tab. 5.21: Vybrané parametry a účinnost jejich odstraňování z vody pomocí písku

5.5 Filtry obsahující kompost

Experiment zaměřený na čištění odpadní vody z ropných rafinérií pomocí umělých mokřadů provedl *Aslam & kol. (2007)*. Pro účely experimentu byly vybudovány 2 mokřady o rozměrech 2,16 x 1 x 1 m (šířka x délka x hloubka) ze sklolaminátu, které byly naplněny do výšky 15 cm pískem frakce 0-3 mm, přičemž další vrstva byla tvořena testovaným materiálem – jeden mokřad byl naplněn organickým kompostem o mocnosti vrstvy 30 cm (frakce 20-30 mm) a druhý mokřad štěrkem s mocností vrstvy 15 cm (frakce 15-30 mm). Mokřady byly také osázeny rákosou obecnou v hustotě 7 až 9 sazenic na m² a jejich průměrná výška na začátku ročního experimentu činila 25 ± 10 cm, přičemž na konci experimentu pro mokřad obsahující kompost rákos dosahoval výšky 145 ± 24 cm a pro mokřad obsahující štěrk 120 ± 18 cm. Mokřady měly 1 % podélný sklon a systém byl opatřen i sedimentačními nádržemi umístěnými před samotnými mokřady, aby nedošlo k jejich ucpání. Odpadní voda byla ze sedimentační nádrže přiváděna pomocí PVC potrubí do mokřadu, jehož hydraulické zatížení bylo udržováno na 0,100 m/den, přičemž systém byl vystaven povětrnostním podmínkám. Jak zachycuje Tab. 5.22 průměrná účinnost mokřadu obsahujícího kompost při odstraňování CHSK, BSK₅ a TSS činila 52,5; 56, respektive 60,5 %, přičemž účinnosti odstraňování BSK₅ a TSS měla v čase zvyšující se tendenci. Tuto tendenci lze u BSK₅ vysvětlit zakořeněním rostlin a následnému nárůstu provzdušňování, ovlivnění tvorby biofilmu a v konečném důsledku rychlejší aerobní i anaerobní degradaci organických sloučenin heterotrofními organismy, zatímco u TSS zvyšující se účinnost korelovala se zvyšujícími se koncentracemi TSS v odpadní vodě. Rovněž došlo k odstranění, resp. adsorpci těžkých kovů (účinnost odstraňování pomocí kompostu pro Fe²⁺, Cu²⁺ a Zn²⁺ činila 48; 56, respektive 61 %), a to pravděpodobně díky vysázenému rákosu obecnému.

Parametr	Koncentrace v odpadní vodě na vstupu do mokřadu [mg/l]	Účinnost odstraňování [%]	
		Kompost	Štěrk
CHSK	256	52,5	47,5
BSK ₅	135	56	45
TSS	215	60,5	48,5
Železo (Fe ²⁺)	8	48	37
Měď (Cu ²⁺)	4,5	56	41
Zinek (Zn ²⁺)	4	61	45

Tab. 5.22: Složení odpadní vody a průměrná účinnost mokřadů při odstraňování vybraných parametrů (Aslam & kol., 2007)

Faucette & kol. (2009) se mimo jiné zabýval odstraňováním polutantů z dešťové vody pomocí tzv. filtrační ponožky (filter sock, resp. compost filter sock) naplněné kompostem, tudíž i jeho experiment může napovídat potenciální účinnosti využití kompostu při odstraňování polutantů z šedé vody. Jednalo se o prázdný válec, nebo jakousi ponožku, která byla zhotovena z polypropylenových vláken průměru 5 mm s průměrem diamantových ok 3,2 mm, jež byla následně naplněna blíže nespecifikovaným kompostovým materiálem a na konci uzavřena kovovými sponami. Tyto filtrační ponožky o průměru 10 mm byly rozřezány na válečky délky rovné šířce komory, přičemž vnitřní rozměr překližkové komory činil 35,56 x 100 x 25 cm (šířka x délka x výška) a příčně naskládány na dolním konci komory v počtu 20 kusů/komora. Komory poté byly na 10 % svahu vystavovány na 30 minut dešťům a v následujících etapách (celkově 5 etap) byly uměle přidávány kontaminanty. Účinnost odstraňování pomocí filtrační ponožky naplněné kompostem vztažené k účinnosti odstraňování holou půdou (0 %) činila pro NH₄-N, NO₃-N, celkové koliformní bakterie a *Escherichia coli* 17; 11; 74, respektive 75 %. Pro kovy, konkrétně Cd, Cr, Cu, Ni, Pb a Zn byla účinnost odstraňování 64; 37; 67; 61; 71, respektive 54 %, pro rozpustnou formu těchto kovů 64; 17; 68; 61; 72, resp. 53 % a pro kovy vázané na pevné částice 73; 75; 42; 60; 70, resp. 64 %, přičemž přehledně jsou všechny zjišťované účinnosti shrnuty v Tab. 5.23. Závěrem experimentu lze konstatovat, že využití tzv. filtračních ponožek naplněných kompostem může být účinným prostředkem k filtraci znečišťujících látek běžně se nacházejících v městském povrchovém odtoku, zejména koliformních bakterií, ropných uhlovodíků a kovů s výjimkou chromu, zatímco odstraňování dusíku se ukázalo jako neprůkazné.

Etapa experimentu	Polutant	Účinnost ^{A)} (%)	Intenzita deště (cm/h)	Aplikovaný polutant (množství)	
I	Jíl	65	11.03 ± 0.29	-	
	Hlína	66			
II	Amoniakální dusík (NH ₄ -N)	17	11.19 ± 0.14	Dusík (202 kg/ha)	
	Dusičnanový dusík (NO ₃ -N)	11			
III	Celkové koliformní bakterie	74	9.57 ± 0.20	Hnůj (10 kg/m ²)	
	<i>Escherichia coli</i>	75			
IV	Kadmium (Cd)	- rozpustná forma	64	10.12 ± 0.11	Cd, Cr, Cu, Ni, Pb a Zn (15 mg/l od každého)
		- vázaný na pevné částice	73		
		- celkově	64		
	Chrom (Cr)	- rozpustná forma	17		
		- vázaný na pevné částice	75		
		- celkově	37		
	Měď (Cu)	- rozpustná forma	68		
		- vázaný na pevné částice	42		
		- celkově	67		
	Nikl (Ni)	- rozpustná forma	61		
		- vázaný na pevné částice	60		
		- celkově	61		
Olovo (Pb)	- rozpustná forma	72			
	- vázaný na pevné částice	70			
	- celkově	71			
Zinek (Zn)	- rozpustná forma	53			
	- vázaný na pevné částice	64			
	- celkově	54			
V	Motorový olej	84	11.17 ± 0.10	Motorový olej, nafta a benzín (100 ml od každého)	
	Nafta	99			
	Benzín	43			
Poznámka: A) Účinnost odstraňování byla vyhodnocována ve vztahu k účinnosti holé půdy (etapa I až IV), nebo k holému betonovému povrchu (etapa V). Tato holá půda či holý betonový povrch tedy měly uvažovanou účinnost odstraňování polutantů z dešťové vody 0 % (výchozí hodnota byla pro každou etapu stanovena samostatně).					

Tab. 5.23: Účinnosti odstraňování polutantů z dešťové vody pomocí filtračních ponožek naplněných kompostem (Faucette & kol., 2009)

Účinnost filtrační ponožky naplněné kompostem s různým zastoupením frakcí v porovnání s naplaveným bahnem (účinnost 0 %) při odstraňování vybraných polutantů (např. celkové nerozpuštěné pevné látky, zákal, celkový a rozpustný fosfor) se *Faucette & kol. (2008)* zabýval už dříve, tudíž tento experiment rovněž může napovídat o možnosti využití kompostu při čištění šedé vody. Půdní komory

o vnitřních rozměrech 35 x 100 x 25 cm (šířka x délka x výška) byly zaplněny do výšky 7,62 cm zhutněnou hlínou a na spodní straně osazeny filtrační ponožkou naplněnou kompostem blíže nespecifikovaného původu, vyjma zastoupení frakcí, viz Tab. 5.24, přičemž se jednalo o filtrační ponožky nespecifikovaných parametrů od dodavatelů protierozních opatření. Půdní komory poté byly umístěny na 10 % svahu a vystavovány simulovanému dešti o intenzitě 7,45 cm/h po dobu 30 minut. Simulovaný déšť na holé půdě generoval odtokové zatížení TSS mezi 17 300 až 23 517 kg/ha, což odpovídalo koncentraci 48,8 až 70,4 g/l, produkovaný zákal se pohyboval mezi 19 343 až 36 688 NTU, zatížení celkovým fosforem na holé půdě bylo 31,18 mg/l a rozpustným fosforem 0,438 mg/l. V porovnání s holou půdou dokázala filtrační ponožka s označením FS1 během prvního experimentu odstraňovat TSS, zákal, celkový a rozpustný fosfor s účinností 87; 78; 65, respektive 28 %. Přičemž složení kompostu FS1 se ukázalo jako nejúčinnější během první etapy experimentu. I FS2 a FS3 si udržely účinnost minimálně 80; 70; 59 a 14 % při odstraňování zmiňovaných kontaminantů, respektive parametrů v průběhu první etapy. V průběhu druhé etapy, která probíhala shodně jako etapa první, účinnosti odstraňování TSS a zákalu poklesly (projevuje se na FS 2), avšak účinnost všech testovaných filtračních ponožek dosahovala alespoň 62, resp. 53 %, viz Tab. 5.25. Závěrem lze konstatovat, že využívání filtračních ponožek naplněných kompostem vede k významnému snížení koncentrací TSS (účinnost 62 až 87 %) i uspokojivé účinnost při odstraňování zákalu či celkového fosforu (53 až 78 %, respektive 59 až 65 %). Účinnost při odstraňování rozpuštěného fosforu poté lze označit za neprůkaznou (14 až 28 %).

Označení	Velikost frakcí [mm] a jejich zastoupení frakcí [%] v kompostovém filtračním médiu						
	> 25	16 až 25	9.5 až 16.0	6.3 až 9.5	4 až 6.3	2 až 4	< 2
FS1	2.7 %	12.3 %	13.7 %	14.9 %	11.2 %	11.2 %	34 %
FS2	0	16.1	39.6	13	6.3	7.2	17.8
FS3	12.4	14.1	28.2	21.8	9.8	4.7	9
FS4	0	0	22.1	28.2	22.3	12.4	15
FS5	0	14.9	44.8	13.4	7	6.9	13.1

Tab. 5.24: Procentuální zastoupení frakcí v kompostových filtračních médiích (Faucette & kol., 2008)

Označení	Etapu experimentu	Účinnost odstraňování ^{A)} [%]				Průtok [l/min]
		TSS	Zákal	Celkový fosfor	Rozpustný fosfor	
Holá půda ^{B)}	1	-	-	-	-	0,2752
FS1	1	87	78	65	28	0,2396
FS2	1	80	70	59	14	0,2707
FS3	1	81	72	59	18	0,2688
Holá půda ^{B)}	2	-	-	-	-	0,3698
FS2	2	62	53	-	-	0,3240
FS4	2	67	55	-	-	0,2972
FS5	2	78	61	-	-	0,2888

Poznámka: A) Účinnost odstraňování byla vyhodnocována k holé půdě (výchozí hodnota byla pro každý experiment stanovena samostatně)
B) Kontrola – uvedeno z důvodu průtoků

Tab. 5.25: Průměrné účinnosti odstraňování vybraných polutantů z dešťové vody pomocí filtračních ponožek naplněných kompostem (*Faucette & kol., 2008*)

Dalším experimentem, který se, mimo jiné, zabýval vlivem kompostu (z různých materiálů) na odstraňování dusičnanů z vody provedl *Alcala Jr. & kol. (2009)*. Pro experiment posloužily 4 kolony z čirého PVC plastu o průměru 5,1 cm, z čehož 2 měly délku 25,4 cm a zbylé dvě 50,8 cm. Kolony byly naplněné testovaným kompostovaným materiálem a navrženy tak, aby fungovaly jako Plug Flow Reactors (PFR), přičemž volný objem pro kolony o výšce 25,4 cm činil $4,71 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3$ a pro 50,8 cm byl $1,88 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^3$. Během experimentu byl dodržován konstantní průtok 0,014 l/min a koncentrace dusičnanu sodného (NaNO_3) činila 60 mg/l. Byla testována 4 různá složení kompostu, vždy vyrobená z dřevěné štěpky a posečené trávy v různém objemovém zastoupení (20 a 80 %; 50 a 50 %; 90 a 10 %; či 70 a 30 %). Před kompostací byla dřevní štěpka nadrcena na velikost částic menších než 0,4750 mm a proseta. Během experimentu bylo testováno 6; 72; 168; 312; 384 a 504 hodin provozu. Výsledkem studie bylo, že všechny kombinace při 6 hodinovém provozu dokázaly spolehlivě odstraňovat 70 % aplikovaných dusičnanů, přičemž při dlouhodobějším provozu účinnost klesala. Pro dlouhodobé experimenty nejlepších výsledků dosahovala kompostovaná směs z 50 % dřevěné štěpky a 50 % posečené trávy, jejíž účinnost byla $53,1 \pm 7,7 \%$, zatímco směs 90 a 10 % vykazovala účinnost pouhých $11,8 \pm 8,2 \%$ a zároveň byla jedinou směsí, která během experimentů vykazovala statistický rozdíl účinností v závislosti na délce kolon.

Z uvedených experimentů a jejich výsledků v této kapitole vyplývá, že ani účinnost kompostu, jako filtračního média, při čištění šedé vody není příliš probádána a autoři sledovali rozdílné parametry, z čehož pouze *Aslam & kol. (2007)*

se zaměřili na filtraci odpadní vody, případně experiment *Alcala Jr. & kol. (2009)* se zaměřoval na odstraňování dusičnanů z vody. Ve zbylých experimentech se *Faucette & kol. (2008)* a *Faucette & kol. (2009)* zabývali účinností filtrační ponožky, která běžně slouží jako protierozní opatření. Vzhledem k faktu, že účinnost těchto ponožek při odstraňování polutantů byla vyhodnocována vzhledem k holé půdě, nelze dosažené účinnosti porovnat s účinnostmi dosaženými *Aslam & kol. (2007)*.

6. Metodika

Metodika práce spočívala především ve využití stávajících fyzikálních modelů zasakovacích pásů pocházejících z předchozího experimentu, který je detailně popsán v bakalářské práci “Ověření vhodnosti různých filtračních materiálů pro čištění šedých vod zasakovacím pásem“ (Hladký, 2021), v přípravě, resp. míchání syntetické šedé vody, následné aplikaci šedé vody a odběru vzorků, včetně následné chemické analýzy a také ve statistickém vyhodnocení dat.

6.1 Design fyzikálního modelu zasakovacího pásu

Účinnost zvolených filtračních materiálů byla ověřována pomocí fyzikálních modelů zasakovacích pásů. Tyto fyzikální modely byly umístěny na venkovní experimentální ploše ČZU v Praze Suchdole a byly tedy vystaveny povětrnostním vlivům (vítr, déšť, krupobití, mráz, ..) tak, jak je tomu u zasakovacích pásů běžné.

Tyto fyzikální modely zasakovacích pásů byly vytvořeny z kónických průsvitných plastových barelů, přičemž výška jednoho barelu činila 620 mm, průměr při horním okraji 420 mm a při okraji spodním 320 mm. Vnitřní obvodové stěny barelů byly obloženy geotextilií (300 g/m²) za účelem omezení, v ideálním případě plnému zamezení, vzniku preferenčních cest proudění šedé vody při vnitřních obvodových stěnách barelů během samotného experimentu. Vnější obvodové stěny byly obaleny černou neprůsvitnou fólií, která měla za cíl zamezit nadměrnému průniku světla do barelů, neboť by díky dennímu světlu mohlo docházet k přílišnému růstu řas produkujících kyslík, a tím v konečném důsledku i ke zkreslení výsledků chemické analýzy. Na dně každého barelu byla poté uložena plastová mříž o výšce 62 mm, vyrobená ze zatravnovacích dlaždic a v její úrovni, respektive v nejnižší možné poloze v barelu, byl umístěn plastový kohout s těsněním, který sloužil k vypouštění a případnému odběru vzorků ošetřené vody na odtoku tohoto barelu, respektive filtru. Přes tuto plastovou mříž byla následně uložena plastová síťka o tloušťce 1 mm s rozměry ok přibližně 4x4 mm a následně i geotextilie (300 g/m²). Toto opatření mělo za cíl zamezit vymývání pevných částic filtračních materiálů a jejich akumulaci v prostoru plastové mříže, tedy v prostoru kohoutu, kde by poté došlo k výtoku tohoto naakumulovaného filtračního materiálu společně s ošetřenou vodou při vypouštění filtrů a eventuelně i ke zkreslení výsledků, např. při analýze TSS.

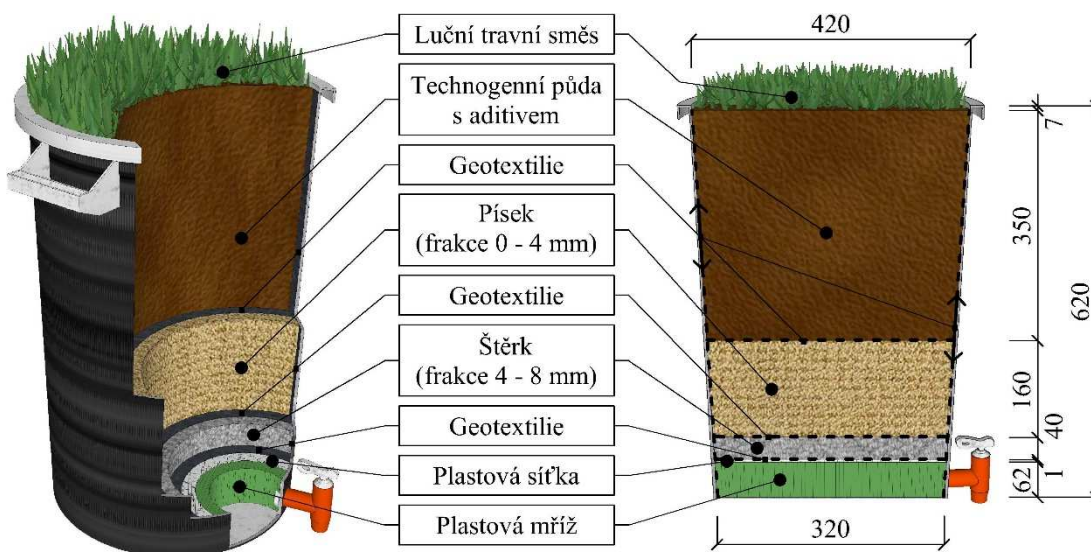
Posléze byly barely plněny filtračními materiály po jednotlivých vrstvách, přičemž první vrstvu tvořil štěrk frakce 4-8 mm o mocnosti 40 mm, druhou vrstvu tvořil písek frakce 0-4 mm o mocnosti 160 mm a třetí, nejsvrchnější vrstvu tvořila

technogenní půda s příměsí aditiva o celkové mocnosti 350 mm. Tato nejsvrchnější vrstva se tedy skládala z písku (frakce 0-4 mm), kompostu (rozmělněného), ornice (rozmělněné) a aditiva, přičemž poměr jednotlivých složek se lišil vzhledem ke konkrétnímu aditivu, neboli testovanému filtračnímu materiálu, více viz následující kapitola 6.2. Složky technogenní



Obr. 6.1: Barely, resp. filtry na experimentální ploše ČZU (Radim Hladký, 2022)

půdy a aditivum byly řádně promíšeny a samotné základní složení technogenní půdy (písek, kompost, ornice) bylo inspirováno diplomovou prací "Fyzikální a hydraulické vlastnosti technogenní půdy pro dešťové zahrady" (Hečková, P., 2018). K využití geotextilie (300 g/m²) bylo přikročeno také i mezi výše zmiňovanými vrstvami filtračních materiálů, kde měla geotextilie zamezit transportu filtračních materiálů z výše položených vrstev do vrstev nižších, resp. zanášení filtračního média nižší vrstvy materiálem filtračního média z vrstev vyšších. V poslední řadě byly barely osety luční travní směsí tak, jak je předpokládáno u skutečných zasakovacích pásů a zároveň, díky zakořeněné travní směsi bylo možno předpovídat snížené riziko rozrušování svrchní vrstvy zeminy ve filtru při aplikaci šedé vody v průběhu samotného experimentu. Barely na experimentální ploše zachycuje Obr. 6.1 a Obr. 6.2 poté zachycuje skladbu a rozměry barelu, včetně mocností jednotlivých vrstev.



Obr. 6.2: Řez fyzikálním modelem zasakovacího pásu – kótováno v mm (Radim Hladký, 2022)

Pro každé testované filtrační aditivum bylo vyrobeno deset shodných fyzikálních modelů (barelů) a rovněž byla vyhotovena jedna desítka barelů bez příměsi aditiva (tzv. defaultní nebo kontrolní) za účelem posouzení skutečné účinnosti testovaných filtračních aditiv při čištění šedé vody, tedy pro porovnání výsledků chemické analýzy (s aditivem vs. bez aditiva). Za účelem získání většího množství dat v průběhu experimentu byla testována zpravidla dvě různá hydraulická zatížení souběžně (více o hydraulickém zatížení filtrů viz kapitola 6.5). Každá desítka barelů byla tedy rozdělena do dvou pětic, přičemž pro jednu pětici barelů, dále také pouze “skupinu“, je předpokládána dostatečná statistická relevance.

Takto sestavené a naplněné barely, respektive filtry, byly po svém dokončení vystaveny působení povětrnostních vlivů v řádu měsíců a v rámci předešlého experimentu již užívány rovněž v řádu měsíců při aplikaci šedé vody. Lze tudíž předpokládat řádný proplach filtračních materiálů, avšak vzhledem ke konstrukci filtrů není předpokládáno jejich vymytí.

6.2 Testovaná filtrační aditiva

Mezi testovaná filtrační aditiva byl zvolen biouhel (frakce 2-10 mm, vyroben pyrolýzou při 600 °C ze smrkového dřeva), antuka (respektive namletá drť z pálených cihel, frakce výsledného produktu 0-2 mm) a mykorhiza. Dané aditivum bylo přimíšeno do technogenní půdy, přičemž poměr jednotlivých složek zachycuje Tab. 6.1.

Testovaný filtrační materiál, resp. aditivum	Objemový poměr
	Písek : Kompost : Ornice : Aditivum
Biouhel	10 : 5 : 4 : 1
Antuka	4 : 3 : 2 : 1
Mykorhiza	4 : 3 : 2 : 1
Default	5 : 3 : 2 : 0

Tab. 6.1: Objemové složení technogenní půdy s příměsí aditiva

Materiály, jež byly zvoleny jako aditiva, jsou běžně dostupné a byly zakoupeny v obchodě, přičemž jejich orientační pořizovací cenu zjištěnou internetovým průzkumem, a také jejich objemové zastoupení v barelech zachycuje Tab. 6.2.

Aditivum	Zastoupení aditiva [dm ³ /barel]	Přibližná cena včetně DPH		Typ produktu ^A
		[Kč/m ³]	[Kč/barel]	
Antuka	4,20	4761,02 ^B	20,01	Volně ložený
Mykorhiza	4,20	281466,67 ^C	1182,77	Balení 3 kg
Biouhel	2,10	9568,00	20,10	Big Bag 1000 l
Poznámka: Hrubě orientační cena byla zjištěna zprůměrováním cen pětice náhodně nalezených produktů, případně cen dodavatelů u volně ložených produktů				
Vysvětlivka: A) Typ produktu byl zvolen na základě běžně dostupné varianty B) Výpočet vychází z objemové hmotnosti antuky 1 700 kg/m ³ C) Výpočet vychází z objemu polévkové lžičce 15 ml				

Tab. 6.2: Orientační cena aditiv a objemové zastoupení aditiv

6.3 Syntetická šedá voda

Šedá voda byla připravována uměle, nejednalo se tedy o skutečnou šedou vodu pocházející z domácností či jiných zařízení. Příprava probíhala smísením daného množství přípravků osobní hygieny, pracího prostředku, kovů a v určité části experimentu i farmak (viz Tab. 6.5), přičemž se jednalo o kontaminanty, které jsou běžnou součástí šedé vody, viz kapitola 3.2.

Množství přípravků osobní hygieny a pracího prostředku bylo převzato z publikace “Greywater Technology Testing Protocol“ (*Diaper & kol.,2008*), kde je v rámci receptu, respektive návodu na syntetickou šedou vodu stanoveno množství šampónu, mýdla na ruce, tělového mléka, zubní pasty, deodorantu a pracího prostředku. Zástupci jednotlivých přípravků, respektive konkrétní produkty (Obr. 6.3) byly určeny na základě průzkumu, který byl proveden formou internetového dotazníku. Nejčastěji používané produkty zachycuje Tab. 6.3.



Obr. 6.3: (Zprava) Produkty osobní hygieny, prací prostředek a výsledná směs pro přípravu syntetické šedé vody (*Radim Hladký, 2022*)

<u>Přípravek</u>	<u>Konkrétní produkt</u>
Šampón	Head & Shoulders Classic Clean
Mýdlo na ruce	Dove Original Caring Hand Wash
Tělové mléko	Nivea Body Milk
Zubní pasta	Colgate Cavity Protection
Deodorant	Nivea Fresh Natural roll-on
Prací prostředek	Ariel Mountain Spring

Tab. 6.3: Produkty osobní hygieny a prací prostředek použité pro přípravu syntetické šedé vody

Na základě literární rešerše (kapitola 3.2) byly zvoleny 4 zástupci kovů, konkrétně měď, bor, zinek a nikl (Cu, B, Zn a Ni), které se běžně v šedé vodě vyskytují. Množství dávkovaných kovů bylo odvozeno ze souhrnné statistiky rozpuštěných kovů v šedé vodě, kterou ve své publikaci provedl Turner & kol. (2016) a nadále s přihlédnutím k ČSN ISO 16075-1, která udává



Obr. 6.4: Navážené sloučeniny pro přípravu roztoku s kovy (Radim Hladký, 2022)

příklady maximálních koncentrací těžkých kovů v čištěné odpadní vodě při využití pro závlahy (viz Tab. 4.6 a Tab. 4.7). V případě stanovování množství boru bylo nadále přihlédnuto také k článkům autorů Gross & kol. (2005), Gross & kol. (2008) či Mandal & kol. (2011), neboť ve svých publikacích rovněž zmiňují množství boru nacházejícího se v šedé vodě. Měď byla aplikována ve formě $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (síran měďnatý pentahydrát, neboli modrá skalice), bor jako H_3BO_3 (kyselina boritá), zinek jako $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (síran zinečnatý heptahydrát, čili bílá skalice) a nikl jako $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (síran nikelnatý hexahydrát), (Obr. 6.4).

Syntetická šedá voda byla obohacena také o dva zástupce farmak, konkrétně Ibuprofen a Flukonazol, jenž se v šedé vodě běžně vyskytují. Farmaka byla připravována pouze pro určité etapy experimentu, jak je popsáno v kapitole 6.5, případně jak zachycuje Tab. 6.8, a to především vzhledem k finanční nákladnosti chemické analýzy. Farmaka (Flukonazol či Ibuprofen) byla rozpuštěna v metanolu, konkrétně 500 mg látky v 50 ml metanolu, výsledný roztok měl tedy koncentraci 10mg/ml a byl uchováván v neprůhledné skleněné lahvi ve tmě při pokojové teplotě.

Příprava kontaminantů, respektive navažování přípravků osobní hygieny a pracího prostředku či příprava roztoků, probíhala v laboratořích ČZU v Praze Suchdole a konečná příprava šedé vody probíhala na venkovní experimentální ploše v IBC kontejneru o objemu 1000 l, kde byly uvedené kontaminanty společně smíšený s odpovídajícím množstvím kohoutkové pitné vody. Aplikace kontaminantu do IBC kontejneru probíhala vylitím plastových lahví do kontejneru následovaným řádným výplachem těchto lahví v případě přípravků osobní hygieny, obdobně tomu bylo i v případě kovů, farmaka byla posléze aplikována pipetováním připraveného roztoku. Kontaminanty byly připravovány s předstihem maximálně 24 hodin, zpravidla však bezprostředně před přípravou šedé vody v IBC kontejneru s výjimkou farmak, kde byl roztok připraven řádově pro desítky dní. Výsledné koncentrace kontaminantů v 1 litru šedé vody zachycuje Tab. 6.5. Pro zajištění rozpuštění daných kontaminantů a dostatečného promísení kohoutkové vody s kontaminanty bylo na dně kontejneru umístěné ponorné čerpadlo, jehož hadice ústila opět uvnitř v kontejneru a bylo zapnuté vždy během přípravy a aplikace šedé vody. Vzhledem k několika současně probíhajícím experimentům byla šedá voda v kontejneru připravována v celkovém objemu 600 až 1000 l, dle potřeby. Samotný IBC kontejner byl na začátku roku 2022 (tedy již v průběhu tohoto experimentu) obalen černou neprůsvitnou fólií (Obr. 6.5), která měla za cíl zamezit rozkladu či případnému srážení některých kontaminantů (farmak) vlivem slunečního záření.



Obr. 6.5: IBC kontejner o objemu 1000 l (Radim Hladký, 2022)

Typ kontaminantu	Kontaminant	Koncentrace [mg/l]
Přípravky osobní hygieny	Šampón	72
	Mýdlo na ruce	648
	Tělové mléko	10
	Zubní pasta	32.5
	Deodorant	10
	Prací prostředek	150

Tab. 6.4: Složení šedé vody – množství kontaminantů na 1 litr

Typ kontaminantu	Kontaminant	Koncentrace [mg/l]
Kovy	Měď (Cu)	0.2 ^{A)}
	Bor (B)	1.0 ^{B)}
	Zinek (Zn)	0.2 ^{C)}
	Nikl (Ni)	0.2 ^{D)}
Farmaka	Ibuprofen	0,01
	Flukonazol	0,01
Vysvětlivka: A) Připravováno jako 0.7864 mg/l ve formě CuSO ₄ *5H ₂ O B) Připravováno jako 5.7222 mg/l ve formě H ₃ BO ₃ C) Připravováno jako 0.8795 mg/l ve formě ZnSO ₄ *7H ₂ O D) Připravováno jako 0.8954 mg/l ve formě NiSO ₄ *6H ₂ O		

Tab. 6.5: Složení šedé vody – množství kontaminantů na 1 litr

6.4 Způsob aplikace šedé vody, vypuštění filtrů a odběru vzorků

Aplikace šedé vody probíhala pomocí zavlažovacího systému instalovaného specializovanou firmou, který se skládal z ponorného čerpadla umístěného v IBC kontejneru se syntetickou šedou vodou a soustavy plastových trubek zakončených gumovými hadičkami s plastovými rozstříkovači na bodcích pro zapíchnutí do svrchních částí filtračního lože,



Obr. 6.7: Rozmístění rozstříkovačů ve filtru (Radim Hladký, 2022)

přičemž do každého filtru ústila čtveřice takovýchto rozstříkovačů, viz Obr. 6.7. Hloubka zapíchnutí rozstříkovače byla přibližně 50 mm, nedošlo tedy k výraznému narušení celistvosti svrchní vrstvy obsahující testovaný filtrační materiál (celková mocnost vrstvy 350 mm) a zároveň při aplikaci šedé vody nedocházelo k rozrušování povrchu vlivem jejího proudění,



Obr. 6.6: Detail rozstříkovače při aplikaci šedé vody (Radim Hladký, 2022)

neboť z rozstříkovačů pouze pozvolně vytékala, jak zachycuje Obr. 6.6. Vzhledem k technickému provedení zavlažovacího systému bylo třeba do kýženého objemu aplikované šedé vody některé filtry dolévat manuálně, což probíhalo pomocí plastové odměrky o objemu 2 l.

Vypouštění filtrů (Obr. 6.8) probíhalo pomocí kbelíků o objemu 20 l umístěných pod kohouty barelů, přičemž zahájení vypouštění bylo provedeno otevřením výpustných kohoutů a trvalo přibližně jednu hodinu. Doba vypouštění každého z filtrů se odvíjela od ukončení výtoku souvislého proudu vody z konkrétního filtru, respektive jeho kohoutu + 30 minut vykapávání vody. V konečném důsledku lze předpokládat, že po těchto 30 minutách byl filtr (téměř) plně vypuštěn, neboť zpravidla z filtrů již žádná voda nekapala, nebo pouze zanedbatelně (přibližně 10 ml/min). Odběr vzorků následovaný chemickou analýzou byl z důvodu finanční a časové náročnosti prováděn vždy v rámci jednotlivých skupin formou směšného vzorku (nezaměňovat s celou desítkou filtrů daného aditiva, odběr následovaný chemickou analýzou byl prováděn vždy pouze po pěticích filtrů, tedy skupinách, jak zachycuje Obr. 6.9 a v různých intervalech, viz kapitola 6.5. Směšný vzorek z každé skupiny byl připraven následovně: odběr 2L vody na odtoku z každého barelu (tzn. 5 x 2L), přelití do čistého kýble, důkladné promíchání a následný odběr směšného vzorku. Přípravu směšného vzorku zachycuje Obr. 6.10 a Obr. 6.11 zachycuje odebrané vzorky připravené pro přenos do laboratoře na chemickou analýzu.



Obr. 6.8: Vypouštění filtrů dne 23.9.2022 (Radim Hladký, 2022)

	Biouhel	Antuka	Mykorhiza	Default
Saturace 30%	A	C	E	G
Saturace 70, 50, nebo 30%	B	D	F	H

Poznámka: Písmena A až H značí skupiny filtrů, ze kterých byly odebírány směšné vzorky

Obr. 6.9: Identifikace skupin filtrů (Radim Hladký, 2022)



Obr. 6.10: Příprava směsného vzorku (Radim Hladký, 2021)



Obr. 6.11: Odebrané vzorky pro analýzu (Radim Hladký, 2022)

6.5 Vlastní experiment

Účelem experimentu bylo otestovat účinnost filtrů při různých hydraulických zatíženích, resp. při různých saturacích filtrů. Před zahájením experimentu tedy byla zjištěna maximální saturace (100 %) barelů, neboli celkový objem vody, který jsou schopny filtrační materiály ve filtru pojmout. Pro tento účel byl náhodně vybrán jeden barel z každé skupiny a pozvolným plněním kohoutkovou vodou, při stálém měření již aplikovaného objemu, byla určena maximální saturace. Hodnota maximální saturace byla použita jako výchozí hodnota pro všechny barely ze stejné skupiny. Za maximální saturaci bylo považováno ustálení hladiny těsně nad povrchem filtračního lože s tím, že již nedocházelo k dalšímu zasakování. Objem vody, který představoval maximální saturaci či dopočtený objem vody pro testovaná hydraulická zatížení (30, 50 a 70 %) zachycuje Tab. 6.6. Celkové množství kontaminantů, které bylo vzhledem k saturaci do jednotlivých filtrů dávkováno je uvedeno v Tab. 6.7.

Testovaný filtrační materiál, resp. aditivum	Saturace jednoho barelu ve skupině [l]			
	100 %	70 %	50 %	30 %
Biouhel	24	16,8	12	7,2
Antuka	24	16,8	12	7,2
Mykorhiza	22	15,4	11	6,6
Default	22	15,4	11	6,6

Tab. 6.6: Saturace filtrů

Testovaný filtrační materiál →	Biouhel a antuka			Mykorhiza a default		
	Množství kontaminantů na barel dle saturace [mg/barel]					
Kontaminant ↓	70 %	50 %	30 %	70 %	50 %	30 %
Šampón	1209.6	864	518.4	1108.8	792	475.2
Mýdlo na ruce	10886.4	7776	4665.6	9979.2	7128	4276.8
Tělové mléko	168	120	72	154	110	66
Zubní pasta	546	390	234	500.5	357.5	214.5
Deodorant	168	120	72	154	110	66
Prací prostředek	2520	1800	1080	2310	1650	990
Měď ^{A)} (Cu)	3.36	2.4	1.44	3.08	2.2	1.32
Bor ^{B)} (B)	16.8	12	7.2	15.4	11	6.6
Zinek ^{C)} (Zn)	3.36	2.4	1.44	3.08	2.2	1.32
Nikl ^{D)} (Ni)	3.36	2.4	1.44	3.08	2.2	1.32
Ibuprofen	0.168	0.12	0.072	0.154	0.11	0.066
Flukonazol	0.168	0.12	0.072	0.154	0.11	0.066
Vysvětlivka: A) Měď byla aplikována ve formě $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ B) Bor byl aplikován ve formě H_3BO_3 C) Zinek byl aplikován ve formě $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ D) Nikl byl aplikován ve formě $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$						

Tab. 6.7: Množství kontaminantů na barel dle saturace

Samotný experiment probíhal během let 2021 a 2022, konkrétně od 29. 6. 2021 do 28. 10. 2021 a poté navazoval od 23. 5. 2022 do 19. 10. 2022, kdy vždy na začátku experimentálního období v daném roce došlo k výplachu filtrů kohoutkovou vodou. Napouštění a vypouštění filtrů probíhalo vždy během pracovních dní (včetně státních svátků) a doba zadržení během jednoho kalendářního týdne, není-li v následujícím popisu uvedeno jinak, byla tedy 4 x 22 hodin (z pondělí na úterý, z úterý na středu, ze středy na čtvrtek a ze čtvrtka na pátek) a 1 x 70 hodin (z pátku na pondělí), přičemž dobou zadržení je míněna doba, která uplyne od zahájení aplikace šedé vody do filtrů po zahájení jejich vypouštění. Experiment lze poté rozdělit do 4 časových etap, přičemž hranicí etap byla například změna saturace či periodicity odběru a analýzy vzorků, viz dále. V mezidobí zmiňovaných etap zůstaly výpustné kohouty barelů otevřeny, aby došlo k plnému vypouštění filtrů.

První etapa probíhala od 8. 7. 2021 do 12. 8. 2021 s testovanými dobami zadržení 4 x 22 hodin a 1 x 70 hodin, kde pro každé aditivum byla testována 2 různá hydraulická zatížení (saturace 70 % a 30 %). Odběr vzorků během první etapy probíhal v pondělí a ve čtvrtek, tedy při pondělním odběru byla analyzována doba zadržení 70 hodin (filtr byl napuštěn od pátku do pondělí) a při čtvrtečním odběru byla doba zadržení 22 hodin (filtr byl napuštěn ve středu, vypuštěn ve čtvrtek). Během této

etapy docházelo také k aplikaci farmak (Ibuprofenu a Flukonazolu), přičemž k odběru vzorků následovaných chemickou analýzou došlo pouze 2x, a to vzhledem k finanční nákladnosti, konkrétně 9. 8. 2021 a 12. 8. 2021, analyzovaná doba zadržení tedy byla 1x 70 hodin a 1x 22 hodin).

Druhá etapa následovala od 1. 9. 2021 a trvala do 28. 10. 2021, kdy bylo testováno shodné hydraulické zatížení (saturace 30 %) pro obě skupiny daného aditiva. Změna hydraulického zatížení jedné skupiny vůči druhé etapě experimentu (ze saturace 70 % na 30 %) byla reakcí na počínající hnilobu a odumírání rostlinného pokryvu, neboť byl téměř trvale zamokřen. Odběr a analýza vzorků probíhala stále po skupinách, aby u skupin, kde došlo k poklesu hydraulického zatížení byla možnost tuto změnu sledovat. Periodicita odběru vzorků byla shodná s první etapou, tedy pondělí a čtvrtek. Během této etapy docházelo také k aplikaci farmak (Ibuprofenu a Flukonazolu), přičemž k odběru vzorků následovaných chemickou analýzou došlo také pouze 2x, konkrétně 18. 10. 2021 a 21. 10. 2021 (analyzovaná doba zadržení tedy byla 1x 70 hodin a 1x 22 hodin).

Třetí etapa započala 23. 5. 2022 s trváním do 20. 7. 2022, kde opět byla testována 2 různá hydraulická zatížení (saturace 70 % a 30 %). Odběr vzorků proběhl na začátku etapy a poté probíhal vždy 1x měsíčně. Konkrétně probíhal odběr vždy ve druhé polovině kalendářního měsíce a vždy v jiný den než je pondělí, aby byla analyzována doba zadržení 22 hodin. V této etapě byl z farmak aplikován pouze Flukonazol, Ibuprofen již aplikován nebyl.

Poslední, čtvrtá etapa, navazovala od 21. 7. 2022 a trvala do 19. 10. 2022, přičemž pro první skupinu filtrů daného aditiva došlo ke snížení saturace ze 70 % na 50 %, a pro druhou skupinu zůstala shodných 30 %. Změna hydraulického zatížení jedné skupiny vůči čtvrté etapě experimentu (ze saturace 70 % na 50 %) byla opět reakcí na počínající hnilobu a odumírání rostlinného pokryvu, neboť byl téměř trvale zamokřen. Odběr vzorků probíhal stále 1x měsíčně (opět za splnění podmínky odběru vzorků v druhé polovině kalendářního měsíce a v jiný den, nežli v pondělí z důvodu testované doby zadržení ne více jak 22 hodin). V této etapě byl z farmak aplikován pouze Flukonazol, přičemž přehledným souhrnem všech etap je Tab. 6.8

Etapa	Trvání [dní]	Saturace [%]		Aplikace farmak		Analýza	
		1. skupina	2. skupina	Flukonazol	Ibuprofen	ŠV (vyjma farmak)	Farmaka (celkově)
1.	35	70	30	✓	✓	2x týdně ^{C)}	2x
2.	56	30	30	✓	✓	2x týdně ^{C)}	1x
3.	57	70	30	✓	×	1x měsíčně ^{D)}	3x
4.	91 ^{A)}	50	30	✓	×	1x měsíčně ^{D)}	3x

Poznámka: A) Bez prodlevy navazuje na etapu předchozí
B) Testovány různé doby zadržení (0,2,4 a 96 hodin)
C) Z toho analyzována 1x doba zadržení 70 hodin a 1x 22 hodin
D) Analyzovaná doba zadržení 22 hodin

Tab. 6.8: Tabulární souhrn etap

6.6 Chemická analýza šedé a bílé vody

Samotná chemická analýza probíhala převážně v laboratořích ČZU v Praze Suchdole, přičemž účinnost jednotlivých typů aditiv (testovaných filtračních materiálů) byla odvozena na základě složení, resp. kvality ošetřené vody (tzv. bílé vody) a šedé vody a také na základě porovnání s defaultní skupinou. Samotná kvalita vody byla sledována pomocí



Obr. 6.12: Měření (zleva) pH, konduktivity a zákalu (*Radim Hladký, 2022*)

vybraných chemických ukazatelů jako jsou základní anionty (F^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , Br^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}), jednotlivé formy uhlíku (TC, TOC, IC), celkový dusík (TN) a tenzidy, což bylo shodné s bakalářskou prací. Navíc bylo sledováno množství celkových nerozpuštěných látek (TSS), pH, konduktivita (vodivost), zákal, koncentrace rozpuštěných kovů (Cu, B, Zn a Ni), amoniakálního dusíku (NH_4-N) a koncentrace Ibuprofenu a Flukonazolu. Průběh měření některých ukazatelů zachycuje Obr. 6.12.

Základní anionty byly stanoveny pomocí iontové chromatografie na přístroji Metrohm 883 Basic IC Plus (Metrohm AG, CH) z 10 ml přefiltrovaného vzorku, uhlík a celkový dusík byl stanoven na analyzátoru SKALAR Formacs^{HT} TOC/TN (Skalar Analytical B. V., NL) z 10 ml přefiltrovaného vzorku, koncentrace rozpuštěných kovů byly stanoveny pomocí spektrometru Agilent 5800 ICP-OES (Agilent Technologies, USA) z přefiltrovaného filtru a pro stanovení rozpuštěných kovů bylo také užito 10 ml přefiltrovaného vzorku, přičemž do zkumavky se vzorkem bylo přidáno 0,25 ml

kyseliny dusičné (HNO_3) za účelem minimalizace srážení, adsorpce kovů na stěny zkumavky a omezení mikrobiální degradace vzorku. Tenzidy byly stanoveny rovněž z přefiltrovaného vzorku, konkrétně z 3,5 ml dávkovaného do kyvetového testu LCK 332 (Hach Lange GmbH, DE), který byl vyhodnocen na spektrofotometru DR3900 (Hach Company, USA). I amoniakální dusík byl stanoven z přefiltrovaného vzorku, konkrétně do 4 ml vzorku bylo přidáno 0,4 ml vybarvovacího činidla (připraveného rozpuštěním 65 g salicylanu sodného, 65 g dihydrátu citronanu sodného a 0,475 g dihydrátu nitroprussidu sodného v 500 ml odměrné baňce a následně skladovaného v tmavé lahvi v lednici), 0,4 ml alkalického roztoku (připraveného rozpuštěním 16 g hydroxidu sodného a 1 g dihydrátu dichlorisokyanurátu sodného v 500 ml odměrné baňce a rovněž skladovaného v tmavé lahvi v lednici) a 0,2 ml destilované vody. Výsledný (5 ml) vzorek byl řádně promíchán, na (minimálně) 1 hodinu uložen do tmy a následně analyzován na spektrometru Cary 60 UV-Vis (Agilent Technologies, USA). Analýza farmak poté probíhala také z přefiltrovaného vzorku na přístroji Agilent 1290 Infinity II UHPLC (Agilent Technologies, USA) a spektrometru G6495A Triple Quadrupole (Agilent Technologies, USA) spojeným s elektrosprejovým ionizačním zdrojem.



Obr. 6.13: Analýza šedé vody – přefiltrované vzorky (Radim Hladký, 2022)

Veškerá filtrace vzorků probíhala přes stříkačkové filtry typu PES, označení Millex-GP (Merck & Co., Inc., USA) průměru 33 mm o velikosti pórů $0,22 \mu\text{m}$, přičemž Obr. 6.13 zachycuje přefiltrované vzorky připravené pro chemickou analýzu.

Pro zbývající chemické analýzy (pH, vodivost, zákal a TSS) byly použity nefiltrované vzorky, kde množství celkových nerozpuštěných látek (TSS) bylo stanoveno pomocí filtračních papírů Whatman quantitative filter paper, ashless, Grade 40 (Whatman, GBR) z 50 ml dobře promíchaného vzorku. Použité přístroje a jejich detekční limity či případné rozsahy měření pro jednotlivé parametry zachycuje Tab. 6.9.

Přístroj	Parametr	Detekční limit/rozsah měření
Analyzátor SKALAR FormacsHT TOC/TN	TOC, IC, TC, TN	0,05 ^{A)} mg/l
Iontová chromatografie Metrohm 883 Basic IC Plus	F ⁻	0,02 mg/l
	Cl ⁻	0,25 mg/l
	NO ₂ ⁻	0,01 mg/l
	NO ₃ ⁻	0,25 mg/l
	Br ⁻	0,02 mg/l
	PO ₄ ³⁻	0,01 mg/l
SO ₄ ²⁻	0,25 mg/l	
Spektrometr Agilent 5800 ICP-OES	Cu, B, Zn a Ni	0,00 mg/l
Kyvetový test pro stanovení anionaktivních tenzidů LCK 332 ^{B)}	Aniontové tenzidy	0,05 až 2 mg/l
Stolní pH metr WTW inoLab pH 7110	pH	1 až 14
Stolním konduktrometr WTW inoLab Cond 7110	Konduktivita	0,001 μS/cm – 1000 mS/cm
Turbidimetr Hanna Instruments HI 93703	Zákal	0 do 1000 FTU
Spektrometr Cary 60 UV-Vis ^{B)}	NH ₄ -N	0,01 až 1 mg/l
Agilent 1290 Infinity II UHPLC + G6495A Triple Quadrupole	Ibuprofen	1 ng/l
	Flukonazol	5 ng/l
Poznámka: A) Lze dosáhnout nižších detekčních limitů v závislosti na laboratorních podmínkách B) Pokud koncentrace vzorku neodpovídaly rozsahu měření, byly naředěny destilovanou vodou		

Tab. 6.9: Detekční limity a rozsahy měření jednotlivých přístrojů

6.7 Úhrny srážek a teplota ovzduší

V rámci analýzy dat byly také sledovány denní srážkové úhrny, průměrné denní teploty a denní úhrn slunečního svitu za účelem sledování těchto vlivů na účinnost čištění. Data, jakožto volně dostupná, byla převzata z meteorologické stanice Praha – Ruzyně (P1PRUZ01), jež se nachází v nadmořské výšce 364 m.n.m. (experimentální plocha se nachází přibližně v 280 m.n.m.), přičemž vzdálenost vzdušnou čarou mezi meteorologickou stanicí a experimentální plochou ČZU činí přibližně 7,6 km. Meteorologická stanice je ve správě Českého hydrometeorologického ústavu (dále jen “ČHMÚ”) a data byla použita v souladu s “Podmínkami použití volně dostupných údajů z měřicích sítí”, které ČHMÚ stanovuje.

6.8 Statistické vyhodnocení dat

Analýza výsledků chemické analýzy probíhala pomocí softwaru Microsoft® Excel® (Version 2208, Build 16.0.15601.20148) s využitím Shapiro-Wilkova testu normality následovaného Tukeyho HSD testem provedeným v softwaru RStudio (Version 2022.12.0, Build 353), přičemž v případě nesplnění podmínek Shapiro-Wilkova testu (P hodnota musí být menší než 0,05) byl využit Kruskal-Wallisův test následovaný Dunnyho testem. Software RStudio byl využit především k nalezení signifikantních (statisticky významných) rozdílů mezi skupinami filtrů a také pro vykreslení průběhů koncentrací formou grafů. V situacích, kdy během chemické analýzy došlo k naměření koncentrací pod detekčním limitem dotčeného přístroje, byly tyto koncentrace pro účely statistické analýzy v případě hledání signifikantních rozdílů na hladině významnosti 0,05 nahrazeny právě spodní detekční limitem přístroje.

Koncentrace jednotlivých polutantů v šedé vodě a vodě na odtoku z filtrů byly podrobeny statistické analýze s cílem nalézt signifikantní (statisticky významné) rozdíly na hladině významnosti 0,05. V rámci sledovaných parametrů byly signifikantní rozdíly hledány mezi hodnotami v šedé vodě a na odtoku jednotlivých skupin filtrů, včetně vzájemných rozdílů mezi filtry, a to včetně rozlišení jednotlivých etap (číselné označení etap nadále psáno slovně pro zřetelnější oddělení od označení "1. skupina" a "2. skupina"). Veškeré uváděné signifikantní rozdíly v této práci jsou uváděny na hladině významnosti 0,05.

7. Výsledky

Následující podkapitoly se zabývají podrobným popisem dosažených výsledků u sledovaných parametrů s důrazem na popis naměřených koncentrací na odtoku filtrů, respektive fyzikálních modelů, nadále také s důrazem na dosažené účinnosti filtrů či prokázané statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými skupinami filtrů, resp. materiály. Rovněž byl kladen důraz na popis vlivu hydraulického zatížení filtrů, na jejich účinnost při odstraňování polutantů z šedé vody.

Souhrnem naměřených koncentrací (za všechny etapy) je pro 1. skupinu (tedy pro skupinu s proměnlivou saturací filtrů od 30 do 70 %) Tab. 7.1 a pro 2. skupinu (tedy skupinu s konstantní saturací filtrů 30 %) Tab. 7.2, zatímco dosažené účinnosti zachycují Tab. 7.3 a Tab. 7.4. Koncentrace na odtoku filtrů a dosažené účinnosti při odstraňování amoniakálního dusíku v jednotlivých etapách zachycuje Příloha 17 a pro ostatní polutanty Příloha 1 až Příloha 16:

➤ První etapa

- Příloha 1: Naměřené koncentrace (průměr \pm směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 1. skupinu filtrů (první etapa)
- Příloha 2: Naměřené koncentrace (průměr \pm směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 2. skupinu filtrů (první etapa)
- Příloha 3: Dosažené účinnosti (průměr \pm směrodatná odchylka) materiálů v 1. skupině filtrů během první etapy
- Příloha 4: Dosažené účinnosti (průměr \pm směrodatná odchylka) materiálů ve 2. skupině filtrů během první etapy

➤ Druhá etapa

- Příloha 5: Naměřené koncentrace (průměr \pm směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 1. skupinu filtrů (druhá etapa)
- Příloha 6: Naměřené koncentrace (průměr \pm směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 2. skupinu filtrů (druhá etapa)
- Příloha 7: Dosažené účinnosti (průměr \pm směrodatná odchylka) materiálů v 1. skupině filtrů během druhé etapy
- Příloha 8: Dosažené účinnosti (průměr \pm směrodatná odchylka) materiálů ve 2. skupině filtrů během druhé etapy

➤ Třetí etapa

- Příloha 9: Naměřené koncentrace (průměr \pm směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 1. skupinu filtrů (třetí etapa)
- Příloha 10: Naměřené koncentrace (průměr \pm směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 2. skupinu filtrů (třetí etapa)
- Příloha 11: Dosažené účinnosti (průměr \pm směrodatná odchylka) materiálů v 1. skupině filtrů během třetí etapy
- Příloha 12: Dosažené účinnosti (průměr \pm směrodatná odchylka) materiálů ve 2. skupině filtrů během třetí etapy

➤ Čtvrtá etapa

- Příloha 13: Naměřené koncentrace (průměr \pm směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 1. skupinu filtrů (čtvrtá etapa)
- Příloha 14: Naměřené koncentrace (průměr \pm směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 2. skupinu filtrů (čtvrtá etapa)
- Příloha 15: Dosažené účinnosti (průměr \pm směrodatná odchylka) materiálů v 1. skupině filtrů během čtvrté etapy
- Příloha 16: Dosažené účinnosti (průměr \pm směrodatná odchylka) materiálů ve 2. skupině filtrů během čtvrté etapy

Parametr	Jednotky	Šedá voda		Default		Antuka		Mykorhiza		Biouhel	
		Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N
pH	-	7,3 ± 0,2	34	6,9 ± 0,2	34	7,0 ± 0,2	34	6,9 ± 0,2	34	7,0 ± 0,2	34
Konduktivita	uS/cm	397 ± 40	34	670 ± 84	34	738 ± 70	34	599 ± 78	34	638 ± 76	34
Zákal	NTU	32,84 ± 15,51	10	3,28 ± 1,72	10	3,37 ± 1,89	10	4,72 ± 2,81	10	3,25 ± 2,17	10
TSS	mg/l	23,3 ± 7,2	6	27,6 ± 18,7	6	22,0 ± 15,1	6	10,1 ± 10,6	6	16,5 ± 12,1	6
TOC	mg/l	65,45 ± 14,89	30	29,62 ± 15,78	34	27,46 ± 8,71	34	26,09 ± 9,48	34	21,63 ± 6,72	34
IC	mg/l	13,60 ± 1,54	31	58,58 ± 16,61	34	70,18 ± 14,47	34	50,97 ± 15,88	34	56,65 ± 14,10	34
TC	mg/l	79,11 ± 14,42	30	88,20 ± 28,41	34	97,64 ± 20,79	34	77,06 ± 24,01	34	78,27 ± 19,34	34
TN	mg/l	7,92 ± 1,20	31	2,04 ± 0,79	34	1,75 ± 0,62	34	1,81 ± 0,78	34	1,75 ± 0,73	34
NH ₄ -N	mg/l	0,07 ± 0,04	34	0,39 ± 0,48	34	0,34 ± 0,43	34	0,35 ± 0,54	33	0,39 ± 0,48	34
Fluoridy	mg/l	0,17 ± 0,07	32	0,22 ± 0,09	34	0,37 ± 0,13	34	0,24 ± 0,10	34	0,22 ± 0,06	34
Chloridy	mg/l	32,85 ± 5,57	31	35,69 ± 13,52	34	31,54 ± 2,44	34	31,40 ± 2,66	33	31,56 ± 2,32	33
Dusitany	mg/l	0,20 ± 0,25	32	0,04 ± 0,20	34	0,01 ± 0,02	34	0,01 ± 0,03	34	0,01 ± 0,03	34
Dusičnany	mg/l	25,27 ± 2,23	32	1,21 ± 1,04	34	1,31 ± 1,22	34	1,32 ± 1,30	34	1,47 ± 1,59	34
Bromidy	mg/l	0,02 ± 0,03	32	0,04 ± 0,12	34	<0,02 ± 0,01	33	0,02 ± 0,05	34	0,06 ± 0,13	34
Fosforečnany	mg/l	0,74 ± 0,71	32	1,16 ± 1,18	33	0,77 ± 0,65	34	0,78 ± 1,00	34	1,10 ± 1,07	34
Sírany	mg/l	44,8 ± 3,25	32	52,77 ± 23,29	34	53,85 ± 20,52	34	52,53 ± 21,05	34	52,69 ± 16,44	34
Tenzidy	mg/l	91,31 ± 24,03	21	1,25 ± 1,18	22	1,14 ± 0,89	22	0,91 ± 1,07	22	0,62 ± 0,55	22
Bor (B)	mg/l	0,9827 ± 0,0942	29	1,0175 ± 0,1243	27	1,0008 ± 0,1163	27	1,0126 ± 0,1818	26	1,0070 ± 0,1314	27
Měď (Cu)	mg/l	0,2040 ± 0,0386	29	0,0084 ± 0,0058	27	0,0076 ± 0,0057	27	0,0079 ± 0,0052	26	0,0086 ± 0,0065	27
Nikl (Ni)	mg/l	0,1933 ± 0,0355	29	0,0086 ± 0,0049	27	0,0089 ± 0,0035	27	0,0077 ± 0,0030	26	0,0074 ± 0,0030	27
Zinek (Zn)	mg/l	0,2217 ± 0,0565	29	0,0123 ± 0,0156	27	0,0135 ± 0,0170	27	0,0105 ± 0,0132	26	0,0156 ± 0,0172	27
Flukonazol	ng/l	8905 ± 3937	10	5771 ± 2650	10	6085 ± 2423	10	5536 ± 2909	10	1294 ± 403	10
Ibuprofen	ng/l	6128 ± 4228	4	1707 ± 1000	4	2134 ± 1089	4	1094 ± 476	3	1037 ± 271	3

Poznámka: Proměnlivá saturace filtrů (1. skupina) v průběhu experimentu (30 až 70 %); N jako počet vzorků

Tab. 7.1: Koncentrace (průměr ± směrodatná odchylka) polutantů v šedé a ošetřené vodě pro 1. skupinu filtrů (všechny etapy)

Parametr	Jednotky	Šedá voda		Default		Antuka		Mykorhiza		Biouhel	
		Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N
pH	-	7,3 ± 0,2	34	7,0 ± 0,2	34	7,1 ± 0,2	34	7,0 ± 0,3	34	7,1 ± 0,2	34
Konduktivita	uS/cm	397 ± 40	34	823 ± 114	34	842 ± 93	34	714 ± 91	34	779 ± 94	34
Zákal	NTU	32,84 ± 15,51	10	9,75 ± 5,82	10	6,94 ± 4,02	10	9,37 ± 4,70	10	6,34 ± 3,52	10
TSS	mg/l	23,3 ± 7,2	6	19,6 ± 15,0	6	18,4 ± 17,2	6	14,3 ± 11,2	6	19,0 ± 11,3	6
TOC	mg/l	65,45 ± 14,89	30	32,12 ± 10,80	34	29,27 ± 9,86	34	30,34 ± 10,23	34	22,86 ± 6,76	34
IC	mg/l	13,60 ± 1,54	31	80,78 ± 19,62	34	81,88 ± 17,02	34	67,74 ± 16,02	34	75,63 ± 15,02	34
TC	mg/l	79,11 ± 14,42	30	112,90 ± 29,22	34	111,15 ± 25,06	34	98,08 ± 24,50	34	98,48 ± 21,00	34
TN	mg/l	7,92 ± 1,20	31	2,02 ± 0,67	34	1,72 ± 0,61	34	1,73 ± 0,57	34	1,33 ± 0,41	34
NH ₄ -N	Mg/l	0,07 ± 0,04	34	0,11 ± 0,06	34	0,07 ± 0,05	34	0,11 ± 0,14	33	0,07 ± 0,05	34
Fluoridy	mg/l	0,17 ± 0,07	32	0,38 ± 0,14	34	0,62 ± 0,24	34	0,47 ± 0,17	34	0,44 ± 0,15	34
Chloridy	mg/l	32,85 ± 5,57	31	30,70 ± 4,52	34	28,58 ± 3,92	34	29,50 ± 3,94	34	28,73 ± 3,75	34
Dusitany	mg/l	0,20 ± 0,25	32	0,01 ± 0,03	34	< 0,01 ± 0,00	34	0,02 ± 0,06	34	0,01 ± 0,04	34
Dusičnany	mg/l	25,27 ± 2,23	32	0,66 ± 0,49	34	0,54 ± 0,52	34	0,67 ± 1,12	34	0,66 ± 0,62	33
Bromidy	mg/l	0,02 ± 0,03	32	< 0,02 ± 0,01	34	< 0,02 ± 0,00	34	< 0,02 ± 0,00	34	< 0,02 ± 0,00	34
Fosforečnany	mg/l	0,74 ± 0,71	32	0,49 ± 0,24	34	0,49 ± 0,22	34	0,37 ± 0,22	34	0,64 ± 0,28	34
Sírany	mg/l	44,8 ± 3,25	32	55,71 ± 18,17	34	61,97 ± 11,93	34	55,61 ± 18,61	34	57,89 ± 11,06	34
Tenzidy	mg/l	91,31 ± 24,03	21	0,74 ± 0,58	22	0,42 ± 0,25	22	0,58 ± 0,51	22	0,26 ± 0,25	22
Bor (B)	mg/l	0,9827 ± 0,0942	29	1,004 ± 0,1393	27	1,0294 ± 0,1586	27	1,0070 ± 0,1791	27	0,9924 ± 0,1242	27
Měď (Cu)	mg/l	0,2040 ± 0,0386	29	0,0100 ± 0,0062	27	0,0101 ± 0,0066	27	0,0124 ± 0,0075	27	0,0111 ± 0,0078	27
Nikl (Ni)	mg/l	0,1933 ± 0,0355	29	0,0112 ± 0,0050	27	0,0088 ± 0,0039	27	0,0088 ± 0,0034	27	0,0072 ± 0,0065	27
Zinek (Zn)	mg/l	0,2217 ± 0,0565	29	0,0131 ± 0,0133	27	0,0135 ± 0,0133	27	0,0102 ± 0,0114	27	0,0170 ± 0,0172	27
Flukonazol	ng/l	8905 ± 3937	10	5054 ± 2040	10	5739 ± 2922	10	4616 ± 1914	10	493 ± 257	10
Ibuprofen	ng/l	6128 ± 4228	4	909 ± 755	4	651 ± 712	4	912 ± 1133	4	205 ± 248	4

Poznámka: Konstantní saturace filtrů (2. skupina) v průběhu experimentu (30 %); N jako počet vzorků

Tab. 7.2: Koncentrace (průměr ± směrodatná odchylka) polutantů v šedé a ošetřené vodě pro 2. skupinu filtrů (všechny etapy)

Parametr	Účinnost [%] 1. skupiny filtrů (proměnlivá saturace od 30 do 70 %)			
	Default	Antuka	Mykorhiza	Biouhel
Zákal	87,72 ± 8,45	87,05 ± 9,49	81,44 ± 18,84	87,42 ± 10,27
TSS	-10,96 ± 53,82	13,26 ± 43,00	63,09 ± 32,43	36,06 ± 36,63
TOC	49,95 ± 26,81	54,43 ± 16,12	56,91 ± 15,85	64,70 ± 12,07
IC	-352,47 ± 126,09	-435,75 ± 122,13	-294,76 ± 120,40	-337,69 ± 110,46
TC	-19,49 ± 38,41	-30,14 ± 32,58	-4,57 ± 32,17	-4,83 ± 26,08
TN	72,39 ± 11,00	76,43 ± 8,78	76,03 ± 10,83	77,33 ± 10,05
NH ₄ -N	-778,04 ± 1183,09	-673,57 ± 1072,15	-672,41 ± 1401,16	-769,83 ± 1172,19
Fluoridy	-55,88 ± 65,54	-167,01 ± 98,08	-71,73 ± 66,04	-60,72 ± 50,10
Chloridy	-10,68 ± 53,24	3,55 ± 12,80	3,72 ± 15,83	3,80 ± 13,03
Dusitany*	> 87,79 ± 20,97	> 91,28 ± 7,93	> 85,95 ± 18,92	> 89,03 ± 13,40
Dusičnany	95,46 ± 4,08	95,12 ± 4,47	95,26 ± 4,87	94,84 ± 5,98
Bromidy*	-102,26 ± 319,76	-2,52 ± 101,15	-56,55 ± 254,94	-196,27 ± 680,88
Fosforečnany*	5,31 ± 67,18	25,30 ± 56,54	33,08 ± 66,38	-0,13 ± 70,99
Sírany	-14,98 ± 51,43	-18,61 ± 48,82	-15,13 ± 47,78	-16,62 ± 41,08
Tenzidy	98,61 ± 1,11	98,71 ± 0,85	99,00 ± 1,03	99,29 ± 0,59
Bor (B)	-3,97 ± 12,29	-1,37 ± 11,45	-4,59 ± 15,80	-3,00 ± 10,94
Měď (Cu)	96,47 ± 2,33	97,00 ± 1,81	96,58 ± 2,34	96,21 ± 2,90
Nikl (Ni)	95,93 ± 2,09	95,83 ± 1,39	96,53 ± 1,33	96,53 ± 1,19
Zinek (Zn)	95,23 ± 5,54	94,78 ± 6,23	96,03 ± 4,67	93,95 ± 6,40
Flukonazol	27,96 ± 34,59	24,37 ± 30,90	29,88 ± 36,71	83,84 ± 5,94
Ibuprofen	58,89 ± 23,11	41,16 ± 38,87	83,78 ± 4,40	80,76 ± 11,68
Poznámka:	*Pro účely výpočtu účinnosti filtrů byly nulové koncentrace nahrazeny detekčním limitem přístroje, výsledná účinnost je tedy pouze orientační			

Tab. 7.3: Účinnost (průměr ± směrodatná odchylka) jednotlivých filtrů v 1. skupině při odstraňování polutantů z šedé vody (všechny etapy)

Parametr	Účinnost [%] 2. skupiny filtrů (konstantní saturace 30 %)			
	Default	Antuka	Mykorhiza	Biouhel
Zákal	69,76 ± 18,41	79,35 ± 5,42	70,22 ± 13,35	79,92 ± 10,97
TSS	25,20 ± 38,54	31,99 ± 54,87	44,59 ± 33,40	25,73 ± 33,59
TOC	46,45 ± 18,46	52,21 ± 15,37	50,76 ± 16,59	62,82 ± 10,06
IC	-523,86 ± 155,70	-526,36 ± 143,90	-422,93 ± 133,98	-479,28 ± 127,33
TC	-51,57 ± 40,67	-48,15 ± 37,06	-30,00 ± 33,07	-30,13 ± 26,96
TN	72,62 ± 9,82	76,76 ± 9,22	76,89 ± 9,18	82,14 ± 6,50
NH ₄ -N	-147 ± 204,82	-57,83 ± 148,94	-128 ± 297,67	-68,33 ± 162,56
Fluoridy	-166,28 ± 100,04	-329,88 ± 161,44	-232,95 ± 119,89	-214,49 ± 109,22
Chloridy	7,18 ± 13,24	13,59 ± 13,94	10,89 ± 13,95	13,49 ± 12,81
Dusitany*	> 84,17 ± 24,39	> 91,23 ± 8,77	> 66,30 ± 78,67	> 85,98 ± 16,17
Dusičnany	97,36 ± 2,10	97,88 ± 2,20	97,27 ± 4,84	97,39 ± 2,61
Bromidy*	> 17,51 ± 72,79	> 48,97 ± 23,11	> 41,83 ± 30,30	> 53,39 ± 13,09
Fosforečnany*	49,71 ± 41,63	45,97 ± 38,94	63,95 ± 33,59	26,16 ± 57,18
Sírany	-23,50 ± 39,59	-39,37 ± 34,16	-23,60 ± 39,97	-31,30 ± 33,89
Tenzidy	99,17 ± 0,56	99,53 ± 0,26	99,35 ± 0,50	99,71 ± 0,22
Bor (B)	-2,97 ± 10,63	-6,54 ± 10,39	-3,23 ± 17,76	-1,08 ± 11,72
Měď (Cu)	95,45 ± 3,01	95,29 ± 3,22	93,89 ± 3,79	94,66 ± 3,99
Nikl (Ni)	94,44 ± 2,44	95,63 ± 2,01	95,71 ± 1,86	97,03 ± 1,23
Zinek (Zn)	94,66 ± 4,93	94,78 ± 4,81	95,98 ± 4,12	93,16 ± 6,31
Flukonazol	34,61 ± 32,53	27,32 ± 36,87	39,26 ± 31,75	94,09 ± 2,90
Ibuprofen	76,46 ± 20,58	74,68 ± 23,29	64,94 ± 34,25	89,76 ± 10,04
Poznámka:	*Pro účely výpočtu účinnosti filtrů byly nulové koncentrace nahrazeny detekčním limitem přístroje, výsledná účinnost je tedy pouze orientační			

Tab. 7.4: Účinnost (průměr ± směrodatná odchylka) jednotlivých filtrů ve 2. skupině při odstraňování polutantů z šedé vody (všechny etapy)

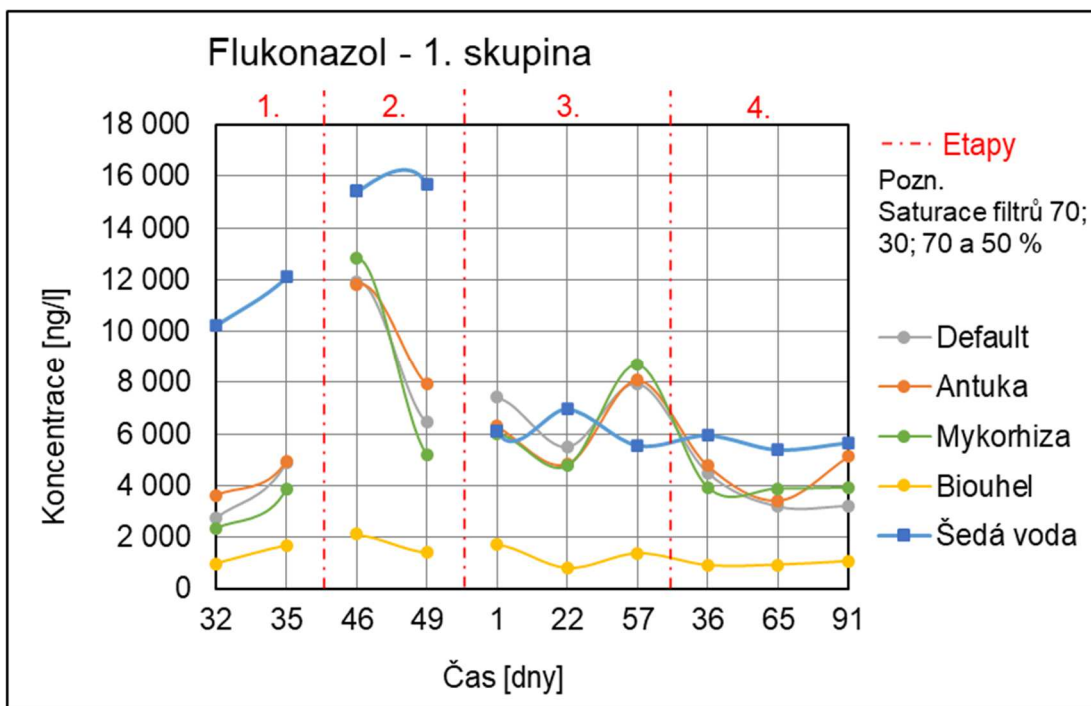
7.1 Flukonazol

Průměr všech koncentrací Flukonazolu naměřených v průběhu celého experimentu pro šedou vodu byl 8905 ng/l a směrodatná odchylka činila 3937 ng/l. Kontrolní skupiny filtrů (tzv. defaulty) v 1. skupině při snižování koncentrací Flukonazolu dosahovaly průměrné účinnosti $27,96 \pm 34,59$ % (průměrná koncentrace na odtoku filtrů 5771 ± 2650 ng/l) a ve 2. skupině $34,61 \pm 32,53$ % (5054 ± 2040 ng/l). Průběh koncentrací Flukonazolu na odtoku filtrů má pro obě skupiny kolísavý charakter, rovněž i koncentrace v šedé vodě kolísala a nebyla příliš konstantní, jak pro 1. skupinu zachycuje Graf 7.1 a pro 2. skupinu Graf 7.2.

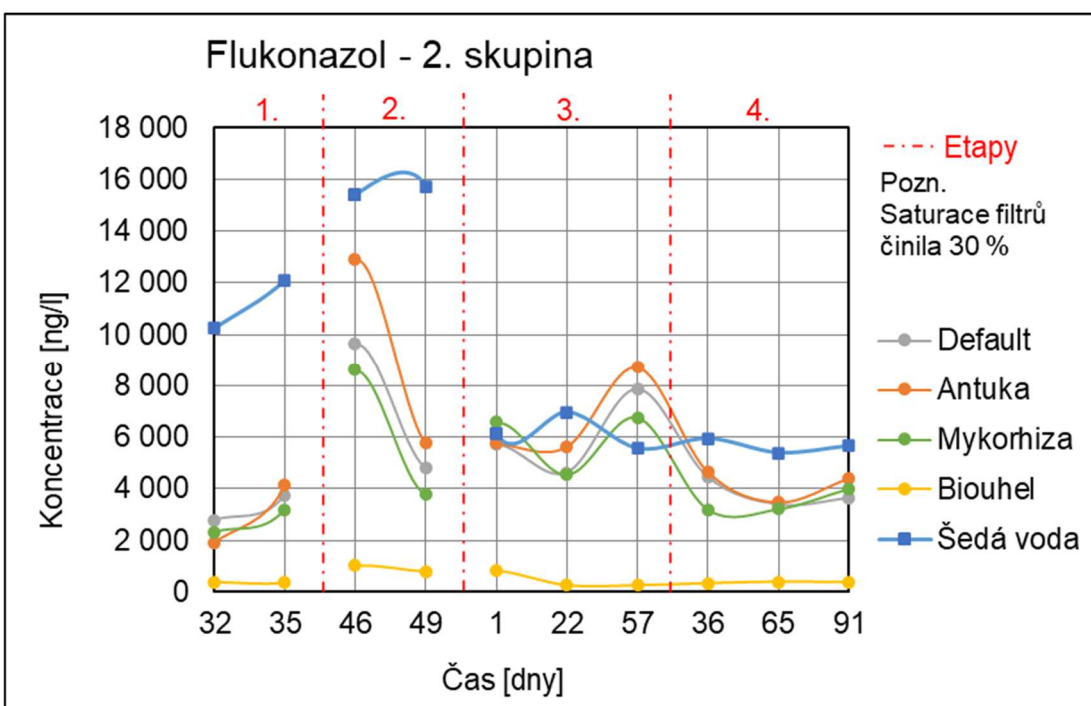
Přísada antuky nevedla k výraznému ovlivnění účinnosti filtrů při odstraňování Flukonazolu, neboť účinnost filtrů s obsahem antuky v 1. skupině byla v porovnání s příslušným defaultem o -3,59 % nižší. Filtry ve 2. skupině poté dosahovaly o -7,29 % nižší účinnosti vzhledem k příslušnému defaultu. Naměřená průměrná koncentrace Flukonazolu na odtoku filtrů s obsahem antuky byla pro 1. skupinu 6085 ± 2423 ng/l (průměrná účinnost $24,37 \pm 30,9$ %) a skupinu 2. 5739 ± 2922 ng/l (průměrná účinnost $27,32 \pm 36,87$ %).

Rovněž ani přísada mykorhizy nevedla k výraznému ovlivnění účinnosti filtrů při odstraňování Flukonazolu, neboť filtry s obsahem mykorhizy v 1. skupině dosahovaly oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 1,92 % vyšší účinnosti a ve 2. skupině pak o 4,65 %. Naměřená průměrná koncentrace Flukonazolu na odtoku filtrů s obsahem mykorhizy byla pro 1. skupinu 5536 ± 2909 ng/l (průměrná účinnost $29,88 \pm 36,71$ %) a skupinu 2. 4616 ± 1914 ng/l (průměrná účinnost $39,26 \pm 31,75$ %).

Přísada biouhlu však pro obě skupiny výrazně a prokazatelně přispěla ke zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování Flukonazolu, neboť filtry s obsahem biouhlu v 1. skupině dosahovaly oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 55,88 % vyšší účinnosti a ve 2. skupině o 59,48 % vyšší účinnosti. Naměřená průměrná koncentrace Flukonazolu na odtoku filtrů s obsahem biouhlu byla pro 1. skupinu 1294 ± 4030 ng/l (průměrná účinnost $83,84 \pm 5,94$ %) a skupinu 2. 493 ± 257 ng/l (průměrná účinnost $94,09 \pm 2,90$ %).



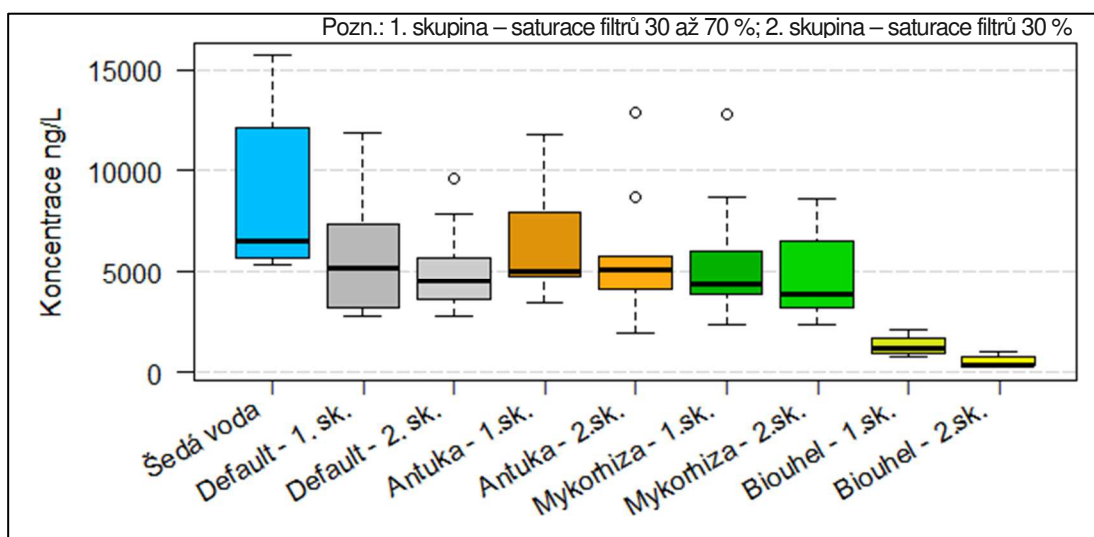
Graf 7.1: Průběh koncentrací Flukonazolu (1. skupina)



Graf 7.2: Průběh koncentrací Flukonazolu (2. skupina)

Koncentrace Flukonazolu v jednotlivých etapách zachycují příslušené krabicové grafy (Příloha 18 až Příloha 21), přičemž v průběhu první etapy (saturace filtrů pro 1. skupinu 70 %, pro 2. skupinu 30 %) všechny materiály vykazovaly signifikantně nižší koncentrace Flukonazolu vzhledem k šedé vodě a následně v průběhu druhé a třetí etapy (saturace filtrů 1. skupiny 30, respektive 70 %, respektive 50 %).

2. skupiny konstantních 30 %) vykazoval pouze biouhel obou skupin signifikantně nižší koncentrace vůči šedé vodě. V průběhu čtvrté etapy (saturace filtrů pro 1. skupinu 50 %, pro 2. skupinu 30 %) všechny materiály, vyjma antuky 1. skupiny, opět vykazovaly signifikantně nižší koncentrace vůči šedé vodě a v případě nerozlišování jednotlivých etap, resp. při vyhodnocení všech etap současně (Graf 7.3), pouze mykorhiza 2. skupiny a biouhel obou skupin vykazovaly signifikantně nižší koncentrace Flukonazolu vůči šedé vodě. Biouhel obou skupin poté jako jediné aditivum vykazoval signifikantně nižší koncentrace na odtoku filtrů vzhledem k ostatním materiálům a všechny nalezené signifikantní rozdíly poté souhrnně zachycuje Tab. 7.5 (šedá výplň polí v této tabulce označuje duplikující se signifikantní rozdíly – nejsou tedy znázorňovány, což platí i pro všechny následující tabulky tohoto charakteru).

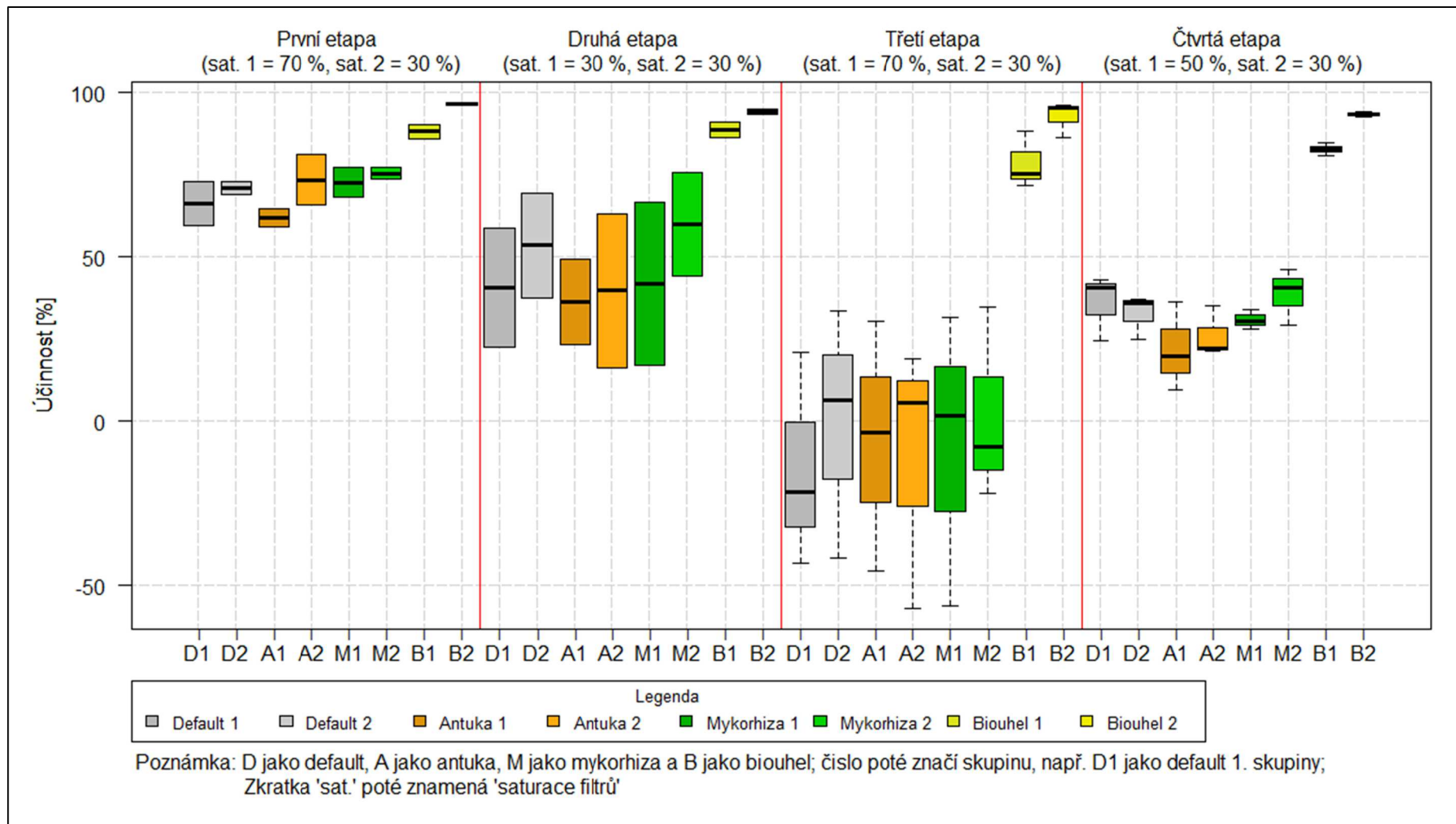


Graf 7.3: Přehled koncentrací Flukonazolu naměřených v průběhu všech etap

Současně byl sledován vliv hydraulického zatížení filtrů na jejich účinnost při odstraňování mikropolutantů (a to pomocí 1. skupiny filtrů s proměnlivou saturací 30 až 70 %), a vliv stárnutí filtrů, resp. jejich opakovaného zatěžování, na jejich účinnost (a to pomocí 2. skupiny filtrů s konstantní saturací 30 %). Tyto vlivy byly pozorovány na základě dosažených účinností konkrétním materiálem v průběhu jednotlivých etap s následným statistickým porovnáním těchto dosažených účinností mezi sebou (porovnání rozdílů mezi etapami pro jeden materiál).

Získané výsledky neprokázaly vliv hydraulického zatížení filtrů na účinnost při odstraňování Flukonazolu, ani v rámci pozorování stárnutí systému nebyly shledány žádné statisticky významné rozdíly, jak zachycuje Tab. 7.6 (šedá výplň polí v této tabulce označuje duplikující se signifikantní rozdíly – nejsou tedy znázorňovány, což platí i pro všechny následující tabulky tohoto charakteru). Grafickým znázorněním dosažených účinností v rámci etap je poté Graf 7.4.

V konečném důsledku se ukázalo, že hydraulické zatížení filtrů či stárnutí filtrů nemá prokazatelný vliv na jejich účinnost při snižování koncentrací Flukonazolu a nejúčinněji se jevil biouhel s celkovou průměrnou účinností (za obě skupiny) $88,96 \pm 6,94 \%$, následovaný mykorhizou ($34,57 \pm 34,64 \%$), defaultem ($31,29 \pm 33,74 \%$) a antukou ($25,84 \pm 34,05 \%$).



8 Graf 7.4: Účinnost filtrů při snižování koncentrací Flukonazolu

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Šedá voda					Default 1. skupiny					Default 2. skupiny					Antuka 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Default 1. skupiny	▼			▼																
Default 2. skupiny	▼			▼																
Antuka 1. skupiny	▼																			
Antuka 2. skupiny	▼			▼																
Mykorhiza 1. skupiny	▼			▼																
Mykorhiza 2. skupiny	▼			▼	▼															
Biouhel 1. skupiny	▼	▼	▼	▼	▼			▼	▼	▼			▼	▼	▼			▼	▼	▼
Biouhel 2. skupiny	▼	▼	▼	▼	▼			▼	▼	▼			▼	▼	▼			▼	▼	▼
Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Antuka 2. skupiny					Mykorhiza 1. skupiny					Mykorhiza 2. skupiny					Biouhel 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny																				
Mykorhiza 2. skupiny																				
Biouhel 1. skupiny			▼	▼	▼			▼	▼	▼			▼	▼	▼					
Biouhel 2. skupiny			▼	▼	▼			▼	▼	▼			▼	▼	▼					
Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace																				
Pozn.: Hladina významnosti 0,05																				

Tab. 7.5: Signifikantní rozdíly v koncentracích Flukonazolu

Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda: ▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05
Etapa →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1												
	2												
	3												

84 Tab. 7.6: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování Flukonazolu (mezi etapami)

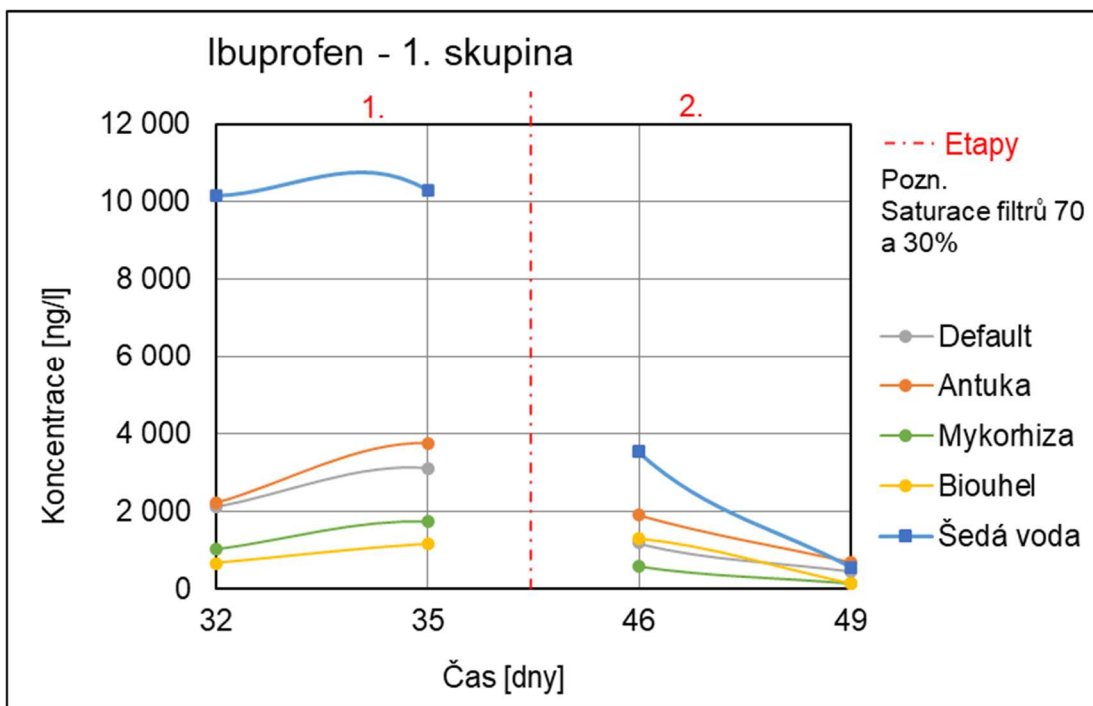
7.2 Ibuprofen

Průměr všech koncentrací Ibuprofenu naměřených v průběhu celého experimentu (resp. v průběhu první a druhé etapy) pro šedou vodu byl 6128 ng/l a směrodatná odchylka činila 4228 ng/l. Kontrolní skupiny filtrů (tzv. defaulty) v 1. skupině při snižování koncentrací Ibuprofenu dosahovaly průměrné účinnosti $58,89 \pm 23,11$ % (průměrná koncentrace na odtoku filtrů 1707 ± 1000 ng/l) a ve 2. skupině $76,46 \pm 20,58$ % (909 ± 755 ng/l). Průběh naměřených koncentrací Ibuprofenu během experimentu pro všechny materiály 1. skupiny zachycuje Graf 7.5 a pro 2. skupinu Graf 7.6

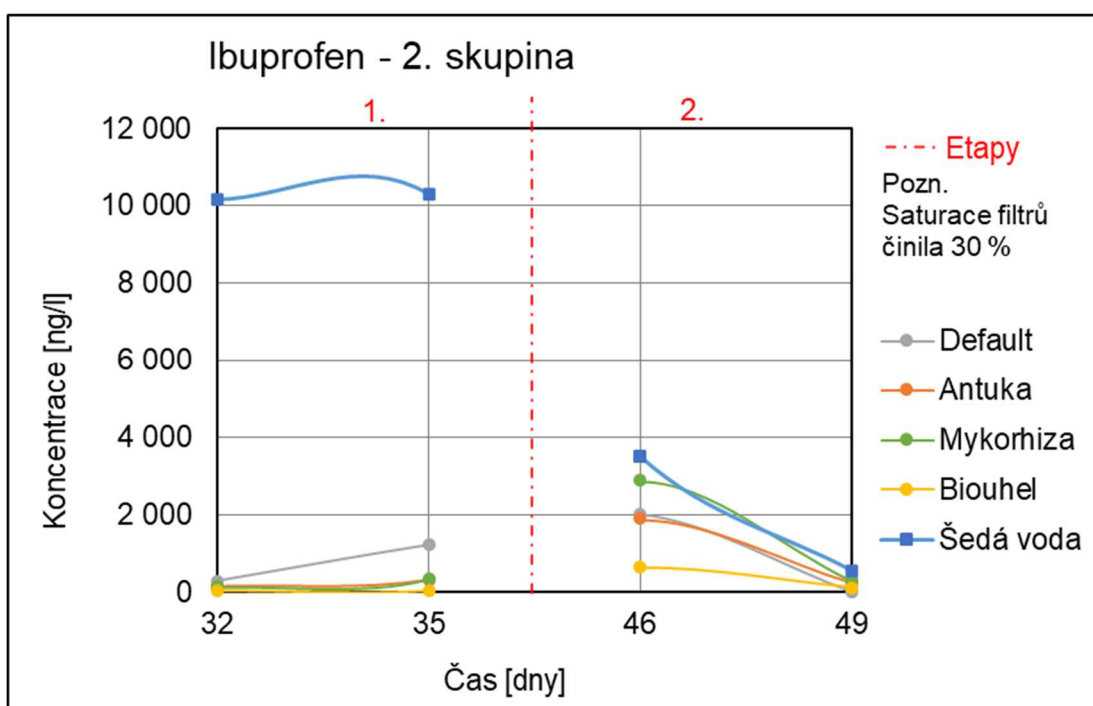
Přidání antuky nevedlo ke zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování Ibuprofenu, neboť účinnost filtrů s obsahem antuky v 1. skupině byla v porovnání s příslušným defaultem o -17,73 % nižší. Filtry ve 2. skupině poté dosahovaly o -1,78 % nižší účinnosti vzhledem k příslušnému defaultu. Naměřená průměrná koncentrace Ibuprofenu na odtoku filtrů s obsahem antuky byla pro 1. skupinu 2134 ± 1089 ng/l (průměrná účinnost $41,16 \pm 38,87$ %) a skupinu 2. 651 ± 712 ng/l (průměrná účinnost $74,68 \pm 23,29$ %).

Ačkoliv dosažená účinnost pro mykorhizu v 1. skupině naznačuje, že mykorhiza přispěla ke zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování Ibuprofenu (o 24,89 % vyšší účinnost než příslušný default), tento vliv nebyl statisticky prokázán. Ve 2. skupině přísada mykorhizy rovněž prokazatelně neovlivňovala účinnost čištění (filtry vykazovaly o -11,52 % nižší účinnost). Naměřená průměrná koncentrace Ibuprofenu na odtoku filtrů s obsahem mykorhizy byla pro 1. skupinu 1094 ± 476 ng/l (průměrná účinnost $83,78 \pm 4,40$ %) a skupinu 2. 912 ± 1133 ng/l (průměrná účinnost $64,94 \pm 34,25$ %).

Přidání biouhlu přispělo ke zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování Ibuprofenu, neboť filtry s obsahem biouhlu v 1. skupině dosahovaly oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 21,87 % vyšší účinnosti a ve 2. skupině o 13,30 %, avšak rovněž nebyl prokázán statistický vliv aditiva na účinnost čištění. Naměřená průměrná koncentrace Ibuprofenu na odtoku filtrů s obsahem biouhlu byla pro 1. skupinu 1037 ± 271 ng/l (průměrná účinnost $80,76 \pm 11,68$ %) a skupinu 2. 205 ± 248 ng/l (průměrná účinnost $89,76 \pm 10,04$ %).



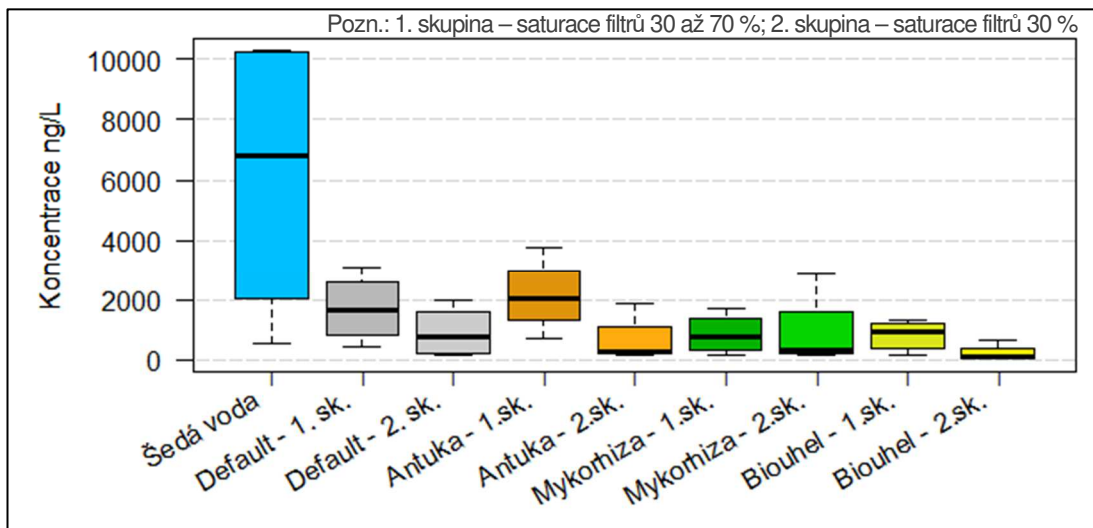
Graf 7.5: Průběh koncentrací Ibuprofenu (1. skupina)



Graf 7.6: Průběh koncentrací Ibuprofenu (2. skupina)

Koncentrace Ibuprofenu v jednotlivých etapách zachycují příslušné krabicové grafy (Příloha 22 a Příloha 23), přičemž pouze v průběhu první etapy (saturace filtrů pro 1. skupinu 70 %, pro 2. skupinu 30 %) všechny materiály vykazovaly signifikantně nižší koncentrace Ibuprofenu vzhledem k šedé vodě. V rámci druhé etapy ani při vyhodnocení všech etap současně (Graf 7.7) žádný materiál nevykazoval

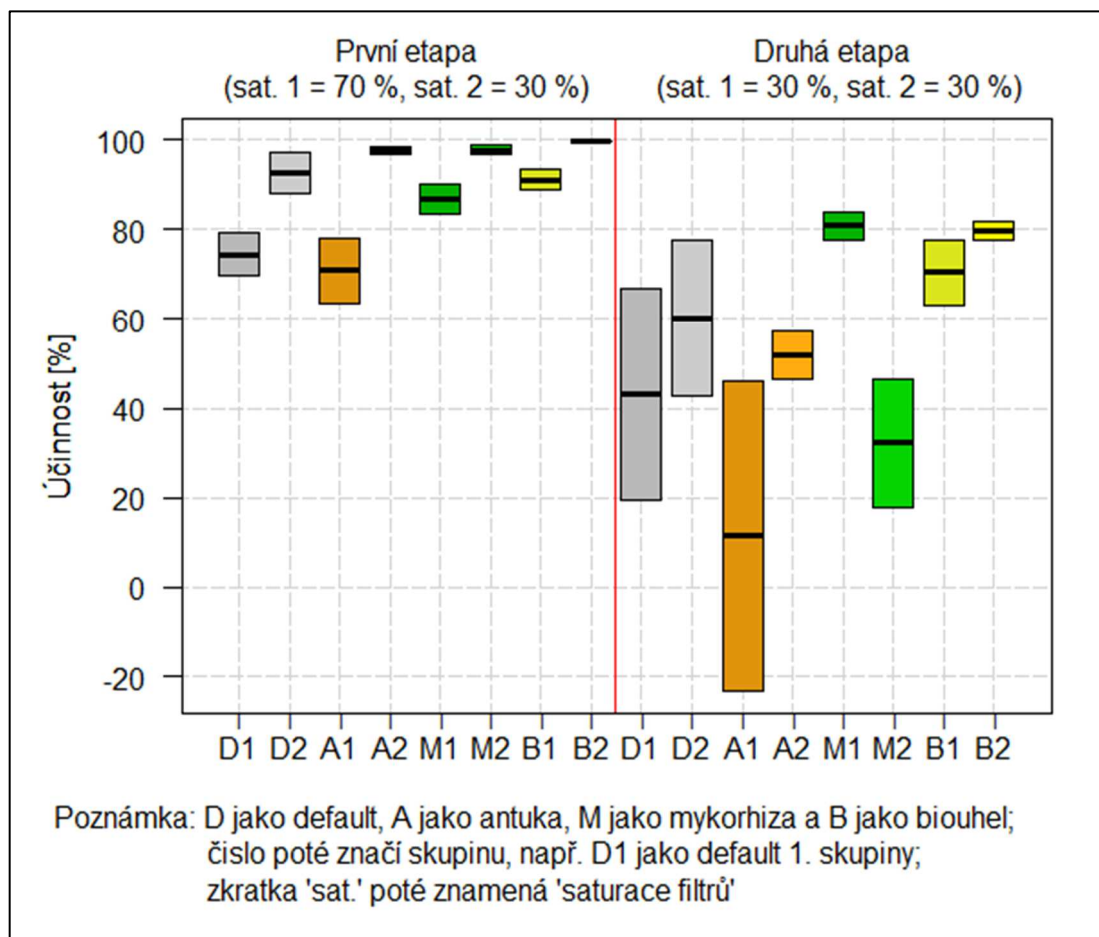
signifikantně odlišné koncentrace oproti šedé vodě a všechny nalezené signifikantní rozdíly poté souhrnně zachycuje Tab. 7.7.



Graf 7.7: Přehled koncentrací Ibuprofenu naměřených v průběhu 1. a 2. etapy

V rámci hledání vlivu hydraulického zatížení filtrů na jejich účinnost při odstraňování Ibuprofenu nebyly shledány žádné statisticky významné rozdíly, pouze při vyhodnocování vlivu stárnutí systému na jeho účinnost byla pro mykorhizu ve druhé etapě v porovnání s první etapou shledána signifikantně nižší účinnost, jak zachycuje Tab. 7.8. Grafickým znázorněním dosažených účinností v rámci etap je poté Graf 7.8.

Vzhledem ke kolísavým koncentracím v šedé vodě se v konečném důsledku ukázalo, že hydraulické zatížení filtrů či stárnutí filtrů nemá prokazatelný vliv na jejich účinnost při snižování koncentrací Ibuprofenu, a nejvyšší průměrné účinnosti (za obě skupiny) dosahoval biouhel ($85,26 \pm 11,78$ %), následovaný mykorhizou ($74,36 \pm 26,17$ %), defaultem ($67,67 \pm 23,58$ %) a antukou ($57,92 \pm 36,16$ %).



Graf 7.8: Účinnost filtrů při snižování koncentrací Ibuprofenu

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl											
	Šedá voda			Default 1. skupiny			Default 2. skupiny			Antuka 1. skupiny		
Etapu →	1	2	Vše	1	2	Vše	1	2	Vše	1	2	Vše
Default 1. skupiny	▼											
Default 2. skupiny	▼											
Antuka 1. skupiny	▼						▲					
Antuka 2. skupiny	▼			▼						▼		
Mykorhiza 1. skupiny	▼											
Mykorhiza 2. skupiny	▼			▼						▼		
Biouhel 1. skupiny	▼											
Biouhel 2. skupiny	▼			▼						▼		

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl											
	Antuka 2. skupiny			Mykorhiza 1. skupiny			Mykorhiza 2. skupiny			Biouhel 1. skupiny		
Etapu →	1	2	Vše	1	2	Vše	1	2	Vše	1	2	Vše
Mykorhiza 1. skupiny												
Mykorhiza 2. skupiny												
Biouhel 1. skupiny												
Biouhel 2. skupiny												

Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace Pozn.: Hladina významnosti 0,05

Tab. 7.7: Signifikantní rozdíly v koncentracích Ibuprofenu

Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda: ▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05
Etapu →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
Etapu, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1						↓						
	2												
	3												

Tab. 7.8: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování Ibuprofenu (mezi etapami)

7.3 Aniontové tenzidy

Průměr všech koncentrací aniontových tenzidů naměřených v průběhu celého experimentu pro šedou vodu byl 91,31 mg/l a směrodatná odchylka činila 24,03 mg/l. Kontrolní skupiny filtrů (tzv. defaulty) v 1. skupině při snižování koncentrací aniontových tenzidů dosahovaly průměrné účinnosti $98,61 \pm 1,11$ % (průměrná koncentrace na odtoku filtrů $1,25 \pm 1,18$ mg/l) a ve 2. skupině $99,17 \pm 0,56$ % ($0,74 \pm 0,58$ mg/l). Průběh naměřených koncentrací aniontových tenzidů během experimentu pro všechny materiály 1. skupiny zachycuje Příloha 24 a pro 2. skupinu Příloha 25, přičemž samotný průběh byl pro obě skupiny obdobný, tedy konstantní s minimálními výkyvy.

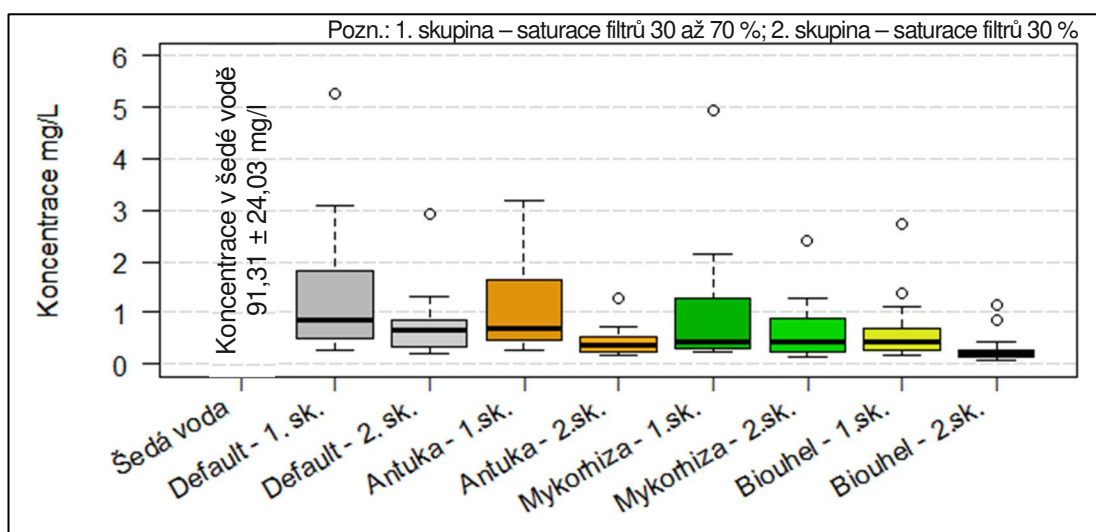
Přísada antuky nevedla k výraznému ovlivnění účinnosti filtrů při odstraňování aniontových tenzidů, neboť filtry s obsahem antuky v 1. skupině vykazovaly oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 0,10 % vyšší účinnost. Ve 2. skupině poté vykazovaly o 0,36 % vyšší účinnost vzhledem k příslušenému defaultu. Naměřená průměrná koncentrace aniontových tenzidů na odtoku filtrů s obsahem antuky byla pro 1. skupinu $1,14 \pm 0,89$ mg/l (průměrná účinnost $98,71 \pm 0,85$ %) a skupinu 2. $0,42 \pm 0,25$ mg/l (průměrná účinnost $99,53 \pm 0,26$ %).

Ani přísada mykorhizy nevedla k výraznému zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování aniontových tenzidů. Filtry s obsahem mykorhizy v 1. skupině dosahovaly oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 0,39 % vyšší účinnosti a ve 2. skupině o 0,18 % vyšší účinnosti. Naměřená průměrná koncentrace aniontových tenzidů na odtoku filtrů s obsahem mykorhizy byla pro 1. skupinu $0,91 \pm 1,07$ mg/l (průměrná účinnost $99,00 \pm 1,03$ %) a skupinu 2. $0,58 \pm 0,51$ mg/l (průměrná účinnost $99,35 \pm 0,50$ %).

Rovněž přísada biouhlu výrazně neovlivnila účinnost filtrů při odstraňování aniontových tenzidů, neboť filtry s obsahem biouhlu v 1. skupině dosahovaly oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 0,68 % vyšší účinnosti a ve 2. skupině o 0,54 % vyšší účinnosti. Statisticky významné ovlivnění účinnosti nastalo pouze pro 2. skupinu a pro 1. skupinou nebylo potvrzeno. Naměřená průměrná koncentrace aniontových tenzidů na odtoku filtrů s obsahem biouhlu byla pro 1. skupinu $0,62 \pm 0,55$ mg/l (průměrná účinnost $99,29 \pm 0,59$ %) a skupinu 2. $0,26 \pm 0,25$ mg/l (průměrná účinnost $99,71 \pm 0,22$ %).

Koncentrace aniontových tenzidů v jednotlivých etapách zachycují příslušené krabicové grafy (Příloha 26 až Příloha 29), přičemž v průběhu první etapy (saturace filtrů pro 1. skupinu 70 %, pro 2. skupinu 30 %) signifikantně nižší koncentrace vůči

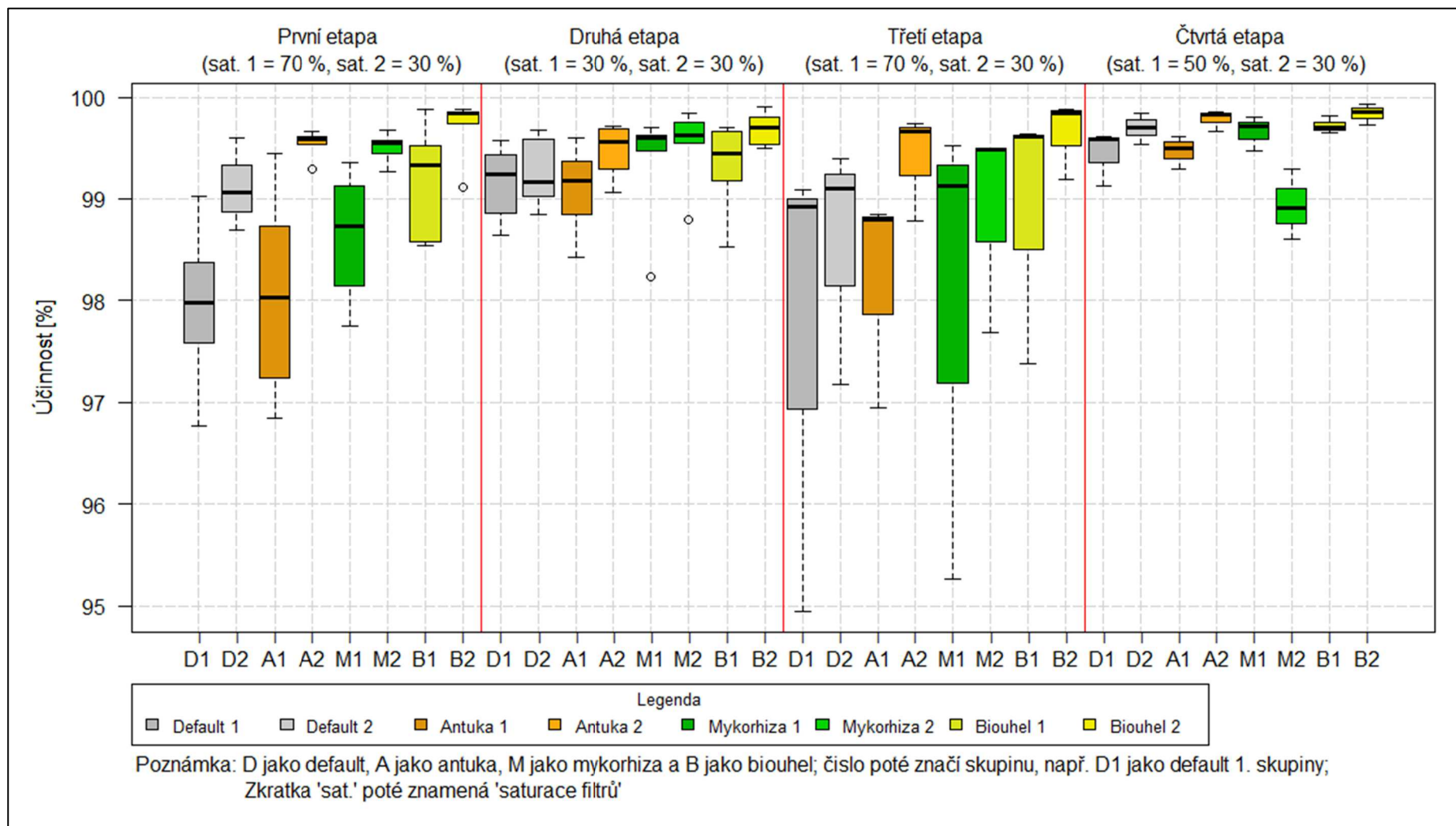
šedé vodě vykazovaly biouhel 1. skupiny a všechny materiály 2. skupiny, v průběhu druhé etapy (saturace filtrů 30 % pro obě skupiny) všechny materiály, v průběhu třetí etapy (opět saturace filtrů pro 1. skupinu 70 %, pro 2. skupinu 30 %) žádný materiál a v průběhu poslední, čtvrté etapy (saturace filtrů pro 1. skupinu 50 %, pro 2. skupinu 30 %), pouze antuka a biouhel 2. skupiny. V případě nerozlišování jednotlivých etap, resp. při vyhodnocení všech etap současně (Graf 7.9), již všechny materiály vykazovaly signifikantně nižší koncentrace aniontových tenzidů vůči šedé vodě. Default či antuka 1. skupiny poté vykazovaly signifikantně vyšší koncentrace vůči antuce, mykorhize i biouhlu 2. skupiny a všechny nalezené signifikantní rozdíly poté souhrnně zachycuje Tab. 7.9.



Graf 7.9: Přehled koncentrací tenzidů naměřených v průběhu všech etap

V rámci hledání vlivu hydraulického zatížení filtrů na jejich účinnost při odstraňování aniontových tenzidů, ani v rámci pozorování stárnutí systému nebyly shledány žádné statisticky významné rozdíly, jak zachycuje Tab. 7.10. Grafickým znázorněním dosažených účinností v rámci etap je poté Graf 7.10.

V konečném důsledku se ukázalo, že hydraulické zatížení filtrů či stárnutí filtrů, nemá prokazatelný vliv na jejich účinnost při snižování koncentrací aniontových tenzidů a nejvyšší celkové průměrné účinnosti (za obě skupiny) dosahoval biouhel ($99,5 \pm 0,49$ %), následovaný mykorhizou ($99,18 \pm 0,83$ %), antukou ($99,12 \pm 0,75$ %) a defaultem ($98,89 \pm 0,92$ %).



8 Graf 7.10: Účinnost filtrů při snižování koncentrací aniontových tenzidů

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Šedá voda					Default 1. skupiny					Default 2. skupiny					Antuka 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Default 1. skupiny		▼			▼															
Default 2. skupiny	▼	▼			▼															
Antuka 1. skupiny		▼			▼															
Antuka 2. skupiny	▼	▼		▼	▼	▼				▼						▼				▼
Mykorhiza 1. skupiny		▼			▼															
Mykorhiza 2. skupiny	▼	▼			▼	▼	▼			▼						▼	▼			▼
Biouhel 1. skupiny	▼	▼			▼															
Biouhel 2. skupiny	▼	▼		▼	▼	▼	▼			▼		▼			▼	▼	▼			▼

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Antuka 2. skupiny					Mykorhiza 1. skupiny					Mykorhiza 2. skupiny					Biouhel 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny																				
Mykorhiza 2. skupiny																				
Biouhel 1. skupiny																				
Biouhel 2. skupiny						▼				▼				▼	▼		▼			▼

Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace Pozn.: Hladina významnosti 0,05

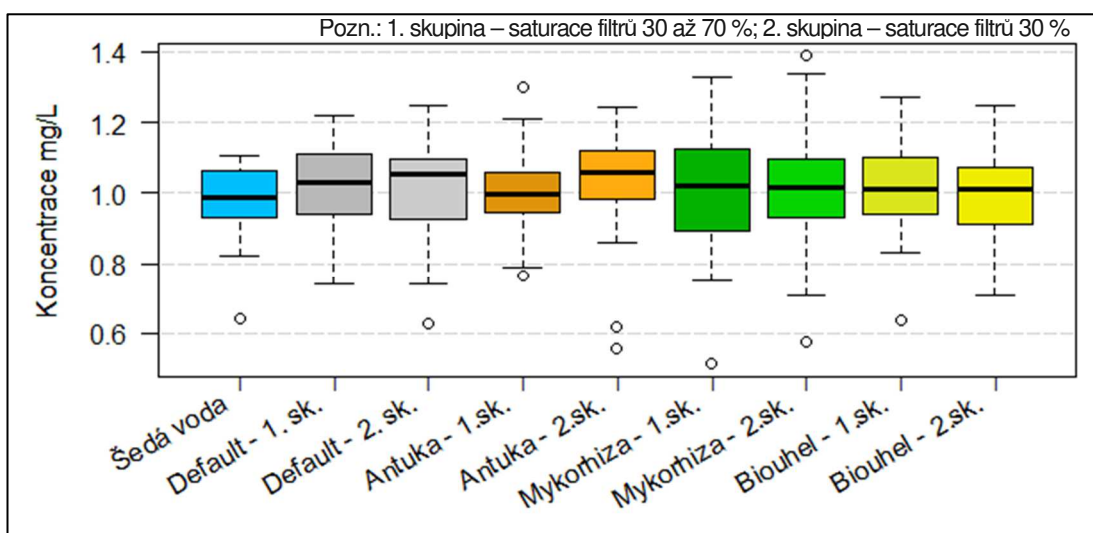
Tab. 7.9: Signifikantní rozdíly v koncentracích aniontových tenzidů

Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda: ▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05
Etapa →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1												
	2												
	3												

8 Tab. 7.10: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování aniontových tenzidů (mezi etapami)

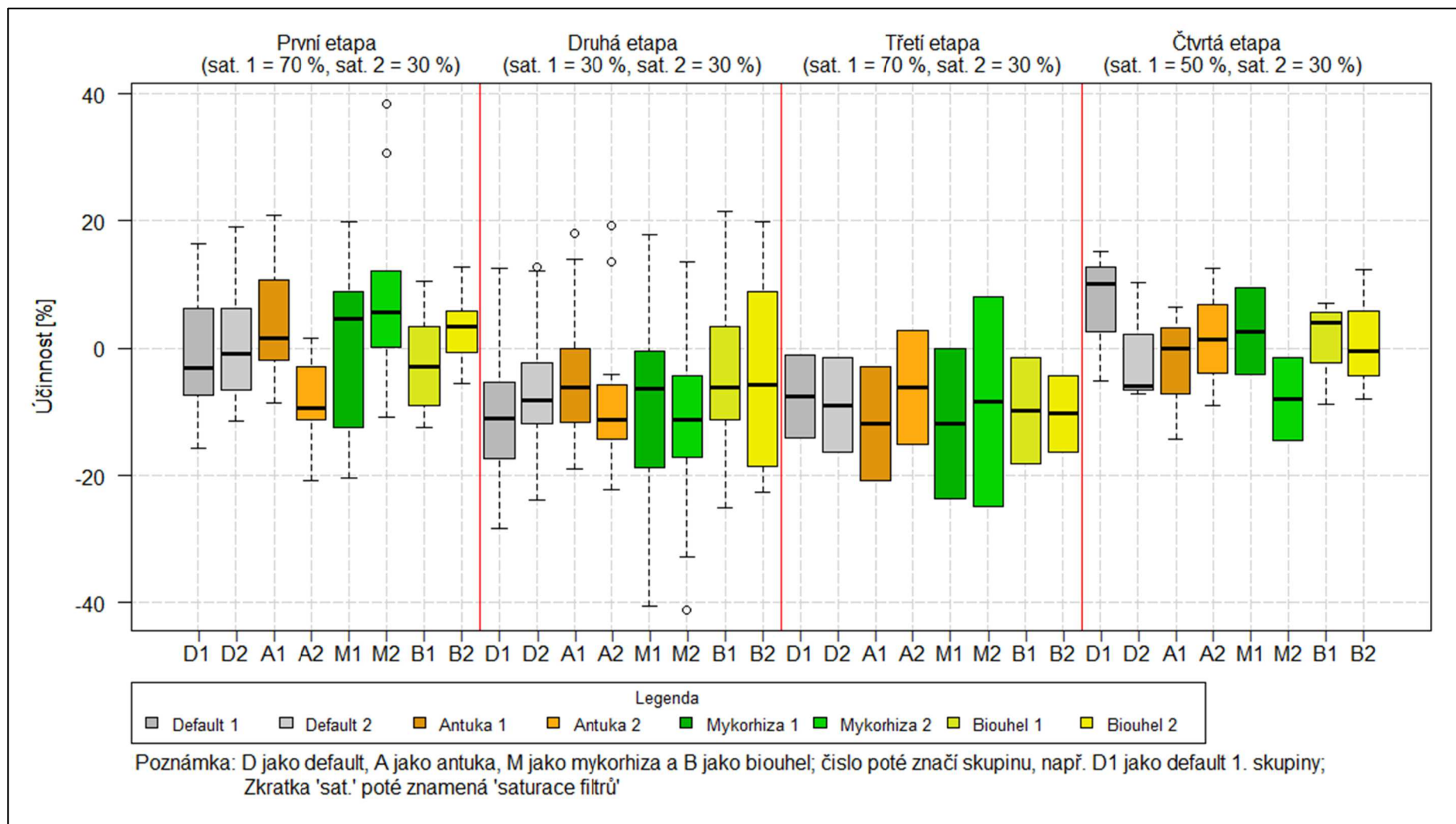
7.4 Bor (B)

Průměr všech koncentrací boru naměřených v průběhu celého experimentu pro šedou vodu byl $0,9827 \text{ mg/l} \pm 0,0942 \text{ mg/l}$ a průběh koncentrací během experimentu pro všechny materiály 1. skupiny zachycuje Příloha 30 a pro 2. skupinu Příloha 31, přičemž žádný z materiálů nebyl schopen účinného snižování koncentrací boru. Koncentrace boru v jednotlivých etapách zachycují příslušené krabicové grafy (Příloha 32 až Příloha 35) a v průběhu experimentu nebyly prokázány žádné statisticky významné rozdíly v koncentracích (mezi materiály či vůči šedé vodě, jak zachycuje Tab. 7.11. Rozložení koncentrací boru v průběhu všech etap společně poté zachycuje Graf 7.11.



Graf 7.11: Přehled koncentrací boru naměřených v průběhu všech etap

Hydraulické zatížení filtrů či stárnutí filtrů (Tab. 7.12.), nemá prokazatelný vliv na odstraňování koncentrací boru a nejméně znečišťoval ošetřenou šedou vodu (za obě skupiny) biouhel, neboť navyšoval koncentrace v ošetřené vodě vůči šedé vodě neostřené o $2,04 \pm 11,37 \%$, následovaný defaultem (o $3,47 \pm 11,50 \%$), mykorhizou (o $3,91 \pm 16,82 \%$) a antukou (o $3,95 \pm 11,23 \%$), což pro jednotlivé skupiny a etapy zachycuje Graf 7.12.



8 Graf 7.12: Účinnost filtrů při snižování koncentrací boru

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Šedá voda					Default 1. skupiny					Default 2. skupiny					Antuka 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Default 1. skupiny																				
Default 2. skupiny																				
Antuka 1. skupiny																				
Antuka 2. skupiny																				
Mykorhiza 1. skupiny																				
Mykorhiza 2. skupiny																				
Biouhel 1. skupiny																				
Biouhel 2. skupiny																				

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Antuka 2. skupiny					Mykorhiza 1. skupiny					Mykorhiza 2. skupiny					Biouhel 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny																				
Mykorhiza 2. skupiny																				
Biouhel 1. skupiny																				
Biouhel 2. skupiny																				

Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace Pozn.: Hladina významnosti 0,05

Tab. 7.11: Signifikantní rozdíly v koncentracích boru

Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda: ▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05
Etapa →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1						↓						
	2												
	3												

8 Tab. 7.12: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování boru (mezi etapami)

7.5 Měď (Cu)

Průměr všech koncentrací mědi naměřených v průběhu celého experimentu pro šedou vodu byl 0,2040 mg/l a směrodatná odchylka činila 0,0386 mg/l. Kontrolní skupiny filtrů (tzv. defaulty) v 1. skupině při snižování koncentrací mědi dosahovaly průměrné účinnosti $96,47 \pm 2,33$ % (průměrná koncentrace na odtoku filtrů $0,0084 \pm 0,0058$ mg/l) a ve 2. skupině $95,45 \pm 3,01$ % ($0,0100 \pm 0,0062$ mg/l). Průběh koncentrací mědi na odtoku ze všech filtrů obou skupin se spolehlivě pohyboval pod průměrnou koncentrací v šedé vodě a nesl mírně kolísavý charakter bezzjevného trendu, jak pro 1. skupinu zachycuje Příloha 36 a pro 2. skupinu Příloha 37.

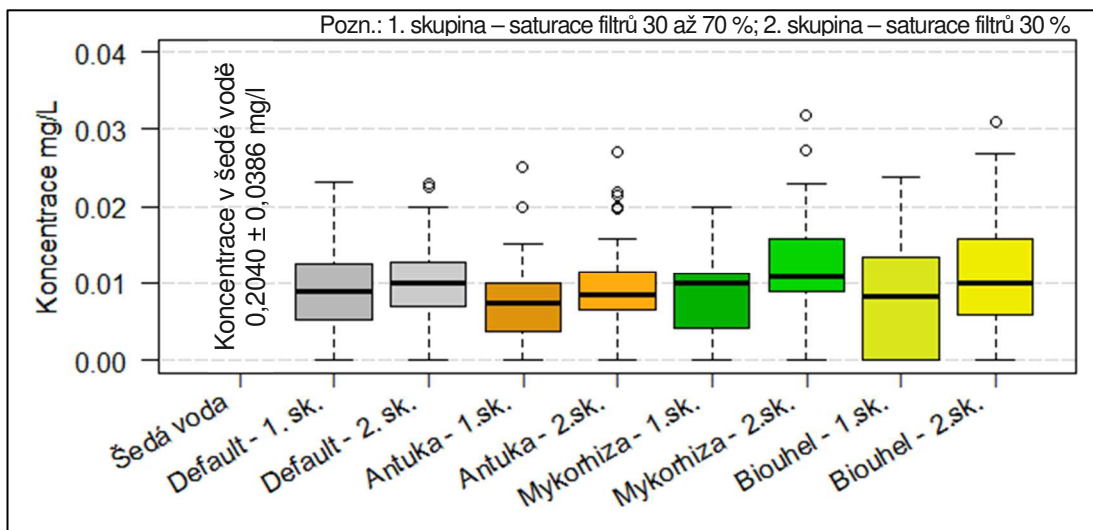
Přidání antuky nevedlo k významnému ovlivnění účinnosti filtrů při odstraňování mědi, neboť v 1. skupině antuka dosahovala oproti příslušnému defaultu o 0,53 % vyšší účinnost a ve 2. skupině o -0,16 % nižší účinnosti vzhledem k příslušnému defaultu. Naměřená průměrná koncentrace mědi na odtoku filtrů s obsahem antuky byla pro 1. skupinu $0,0076 \pm 0,0057$ mg/l (průměrná účinnost $97 \pm 1,81$ %) a skupinu 2. $0,0101 \pm 0,0066$ mg/l (průměrná účinnost $95,29 \pm 3,22$ %).

Ani přísada mykorhizy nevedla k významnému ovlivnění účinnosti filtrů při odstraňování mědi, neboť mykorhiza v 1. skupině oproti příslušnému defaultu vykazovala o 0,11 % vyšší účinnost a ve 2. skupině o -1,56 % nižší účinnost vzhledem k příslušnému defaultu. Naměřená průměrná koncentrace mědi na odtoku filtrů s obsahem mykorhizy byla pro 1. skupinu $0,0079 \pm 0,0052$ mg/l (průměrná účinnost $96,58 \pm 2,34$ %) a skupinu 2. $0,0124 \pm 0,0075$ mg/l (průměrná účinnost $93,89 \pm 3,79$ %).

Rovněž přísada biouhlu nedosahovala významného ovlivnění účinnosti filtrů při odstraňování mědi, neboť účinnost filtrů s obsahem biouhlu v 1. skupině byla v porovnání s příslušným defaultem o -0,26 % nižší. Filtry ve 2. skupině poté dosahovaly o -0,79 % nižší účinnosti vzhledem k příslušnému defaultu. Naměřená průměrná koncentrace mědi na odtoku filtrů s obsahem biouhlu byla pro 1. skupinu $0,0086 \pm 0,0065$ mg/l (průměrná účinnost $96,21 \pm 2,90$ %) a skupinu 2. $0,0111 \pm 0,0078$ mg/l (průměrná účinnost $96,6 \pm 3,99$ %).

Koncentrace mědi v jednotlivých etapách zachycují příslušené krabicové grafy (Příloha 38 až Příloha 41), přičemž mezi materiály nebyly v průběhu jednotlivých etap, ani při celkovém zhodnocení, prokázány statisticky významné rozdíly. Pouze v průběhu první, druhé a třetí etapy (saturace filtrů pro 1. skupiny 70; 30; respektive 70 % a pro 2. skupinu konstantních 30 %) i při vyhodnocení všech etap

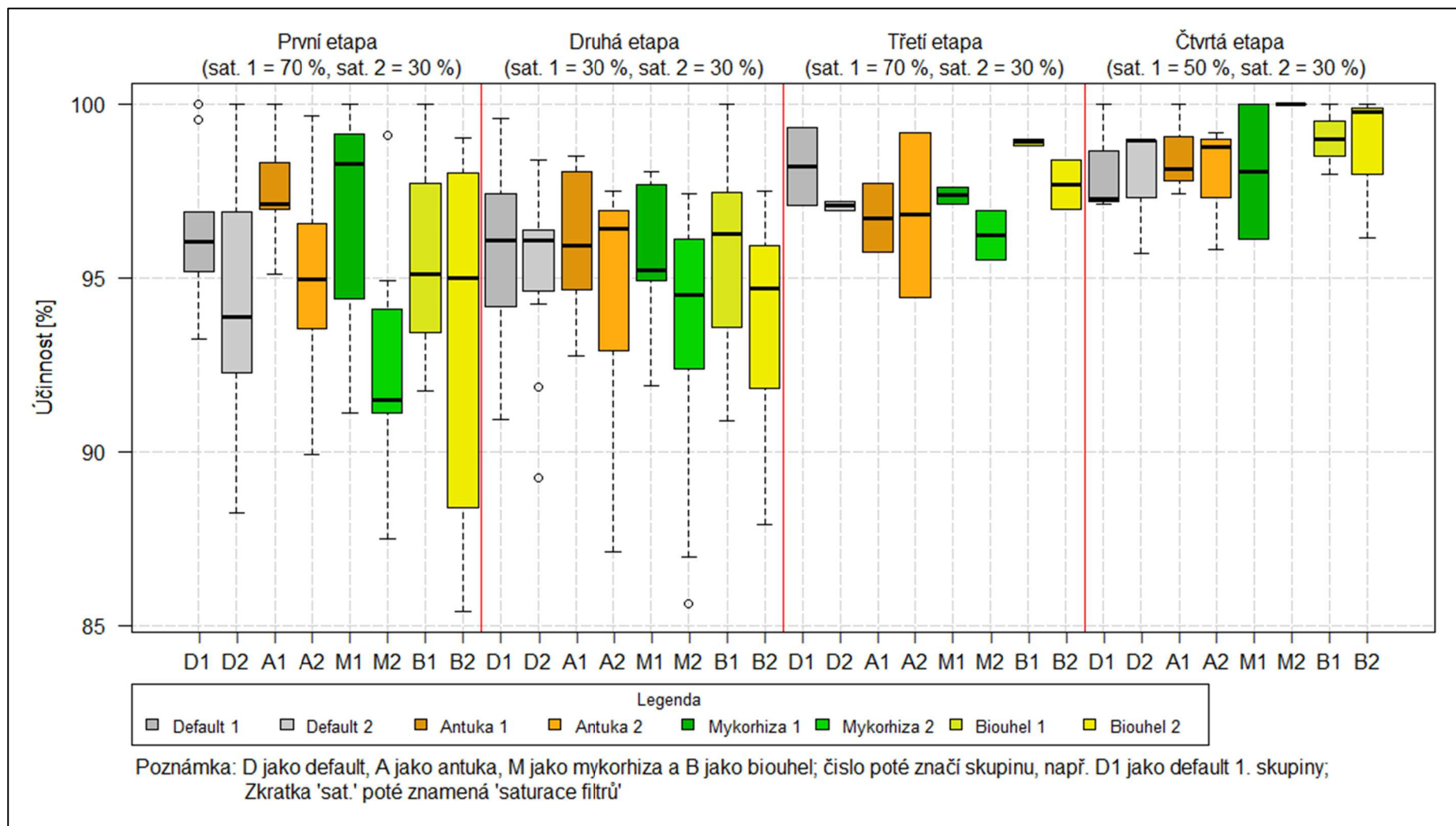
současně (Graf 7.13) všechny materiály vykazovaly signifikantně nižší koncentrace mědi vzhledem k šedé vodě, jak zachycuje Tab. 7.13.



Graf 7.13: Přehled koncentrací mědi naměřených v průběhu všech etap

V rámci hledání vlivu hydraulické zatížení filtrů na jejich účinnost při odstraňování mědi, ani v rámci pozorování stárnutí systému, nebyly shledány žádné statisticky významné rozdíly, jak zachycuje Tab. 7.14. Grafickým znázorněním dosažených účinností v rámci etap je poté Graf 7.14.

V konečném důsledku se ukázalo, že hydraulické zatížení filtrů či stárnutí filtrů, nemá prokazatelný vliv na jejich účinnost při snižování koncentrací mědi a nejvyšší celkové průměrné účinnosti (za obě skupiny) dosahovala antuka ($96,15 \pm 2,75$ %), následovaná defaultem ($95,96 \pm 2,74$ %), biouhlem ($95,43 \pm 3,57$ %) a mykorhizou ($95,23 \pm 3,43$ %).



8 Graf 7.14: Účinnost filtrů při snižování koncentrací mědi

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Šedá voda					Default 1. skupiny					Default 2. skupiny					Antuka 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Default 1. skupiny	▼	▼	▼		▼															
Default 2. skupiny	▼	▼	▼		▼															
Antuka 1. skupiny	▼	▼	▼		▼															
Antuka 2. skupiny	▼	▼	▼		▼															
Mykorhiza 1. skupiny	▼	▼	▼		▼															
Mykorhiza 2. skupiny	▼	▼	▼		▼															
Biouhel 1. skupiny	▼	▼	▼		▼															
Biouhel 2. skupiny	▼	▼	▼		▼															

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Antuka 2. skupiny					Mykorhiza 1. skupiny					Mykorhiza 2. skupiny					Biouhel 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny																				
Mykorhiza 2. skupiny																				
Biouhel 1. skupiny																				
Biouhel 2. skupiny																				

Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace Pozn.: Hladina významnosti 0,05

Tab. 7.13: Signifikantní rozdíly v koncentracích mědi

Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda: ▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05
Etapa →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1												
	2												
	3												

Tab. 7.14: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování mědi (mezi etapami)

7.6 Nikl (Ni)

Průměr všech koncentrací niklu naměřených v průběhu celého experimentu pro šedou vodu byl 0,1933 mg/l a směrodatná odchylka činila 0,0355 mg/l. Kontrolní skupiny filtrů (tzv. defaulty) v 1. skupině při snižování koncentrací niklu dosahovaly průměrné účinnosti $95,93 \pm 2,09$ % (průměrná koncentrace na odtoku filtrů $0,0086 \pm 0,0049$ mg/l) a ve 2. skupině $94,44 \pm 2,44$ % ($0,0112 \pm 0,0050$ mg/l). Průběh koncentrací niklu na odtoku ze všech filtrů obou skupin se spolehlivě pohyboval pod průměrnou koncentrací v šedé vodě a nesl mírně kolísavý charakter bez zjevného trendu, jak pro 1. skupinu zachycuje Příloha 42 a pro 2. skupinu Příloha 43.

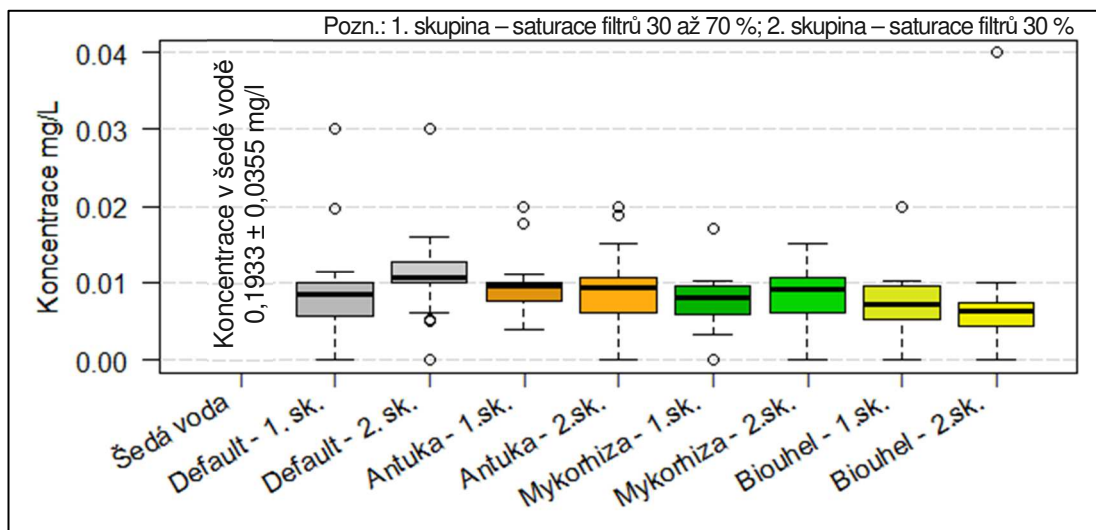
Přidání antuky nevedlo k významnému ovlivnění účinnosti filtrů při odstraňování niklu, neboť filtry s obsahem antuky v 1. skupině dosahovaly o -0,10 % nižší účinnosti při porovnání s příslušným defaultem a ve 2. skupině o 1,19 % vyšší účinnosti v porovnání s příslušným defaultem. Naměřená průměrná koncentrace niklu na odtoku filtrů s obsahem antuky byla pro 1. skupinu $0,0089 \pm 0,0035$ mg/l (průměrná účinnost $95,83 \pm 1,39$ %) a skupinu 2. $0,0088 \pm 0,0039$ mg/l (průměrná účinnost $95,63 \pm 2,01$ %).

Rovněž přidání mykorhizy významně neovlivnilo účinnost odstraňování niklu, neboť filtry s obsahem mykorhizy v 1. skupině vykazovaly oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 0,60 % vyšší účinnost a ve 2. skupině o 1,27 % vyšší účinnost. Naměřená průměrná koncentrace niklu na odtoku filtrů s obsahem mykorhizy byla pro 1. skupinu $0,0077 \pm 0,0030$ mg/l (průměrná účinnost $96,53 \pm 1,33$ %) a skupinu 2. $0,0088 \pm 0,0034$ mg/l (průměrná účinnost $95,71 \pm 1,86$ %).

Ani přísada biouhlu výrazně neovlivňovala účinnost filtrů. Biouhel v 1. skupině dosahoval oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 0,60 % vyšší účinnost a ve 2. skupině o 2,59 % vyšší účinnost. Statisticky významný vliv biouhlu na účinnost filtrů byl sice pro 2. skupinu prokázán, avšak pro 1. skupinou nebyl potvrzen. Naměřená průměrná koncentrace niklu na odtoku filtrů s obsahem biouhlu byla pro 1. skupinu $0,0074 \pm 0,0030$ mg/l (průměrná účinnost $96,53 \pm 1,19$ %) a skupinu 2. $0,0072 \pm 0,0065$ mg/l (průměrná účinnost $97,03 \pm 1,23$ %).

Koncentrace niklu v jednotlivých etapách zachycují příslušené krabicové grafy (Příloha 44 až Příloha 47), přičemž v průběhu první etapy (saturace filtrů pro 1. skupinu 70 %, pro 2. skupinu 30 %) signifikantně nižší koncentrace vůči šedé vodě vykazovaly všechny materiály, vyjma defaultu 2. skupiny, v průběhu druhé etapy (saturace filtrů 30 % pro obě skupiny) všechny materiály a v průběhu třetí či čtvrté etapy (saturace filtrů pro 1. skupinu 70; respektive 50 % a pro 2. skupinu konstantních

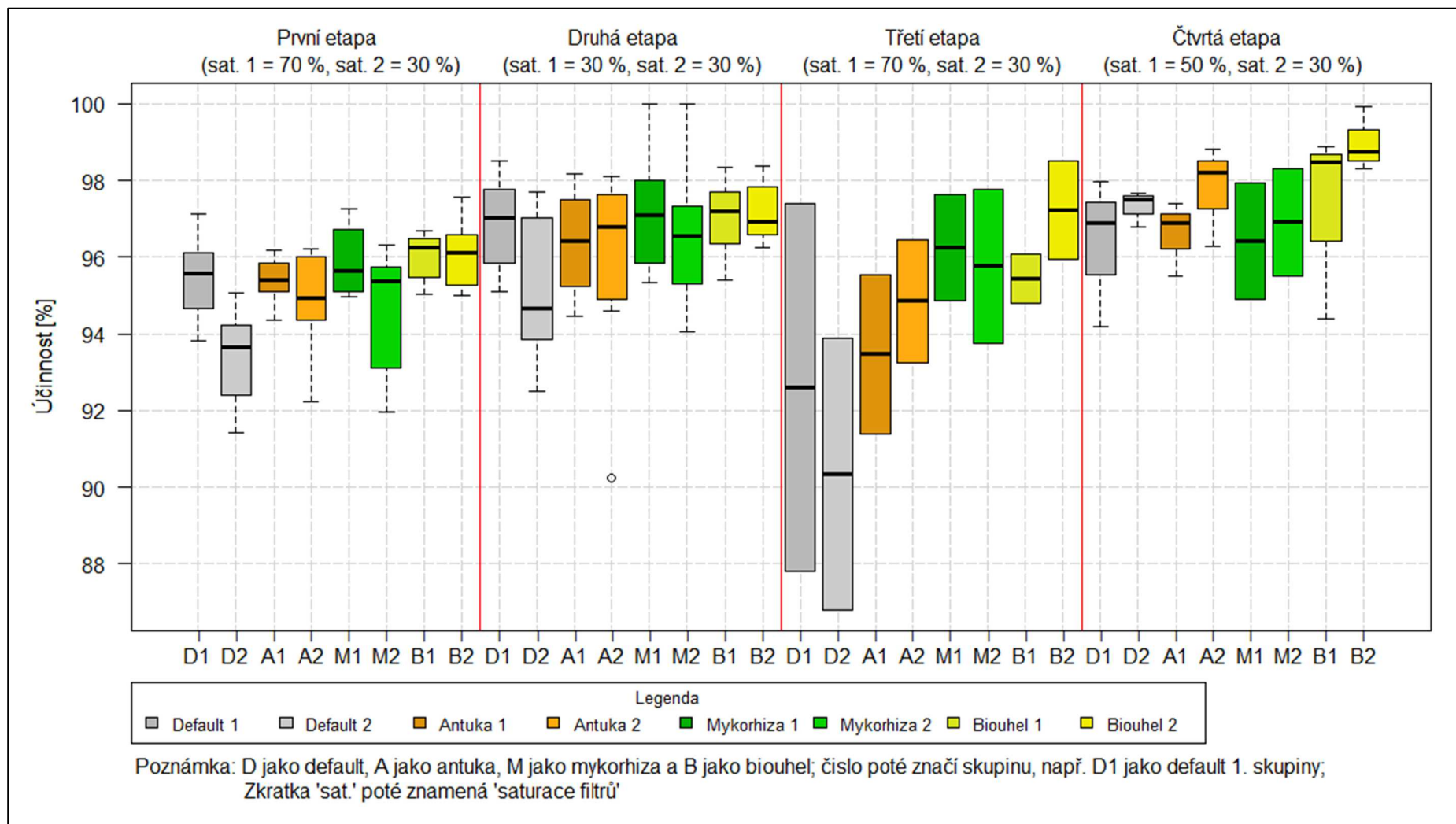
30 %) žádný materiál. V případě nerozlišování jednotlivých etap, resp. při vyhodnocení všech etap současně (Graf 7.15), všechny materiály vykazovaly signifikantně nižší koncentrace niklu vůči šedé vodě a všechny nalezené signifikantní rozdíly poté souhrnně zachycuje Tab. 7.15.



Graf 7.15: Přehled koncentrací niklu naměřených v průběhu všech etap

V rámci hledání vlivu hydraulické zatížení filtrů na jejich účinnost při odstraňování niklu nebyly shledány žádné statisticky významné rozdíly. Při pozorování stárnutí systému pouze default vykazoval v průběhu třetí etapy signifikantně nižší účinnost, než v průběhu druhé a čtvrté etapy, což pravděpodobně nebylo způsobeno stárnutím systému. Signifikantní rozdíly přehledně zachycuje Tab. 7.16 a grafickým znázorněním dosažených účinností v rámci etap poté je Graf 7.16.

V konečném důsledku se ukázalo, že hydraulické zatížení filtrů či stárnutí filtrů, nemá prokazatelný vliv na jejich účinnost při snižování koncentrací niklu a nejvyšší celkové průměrné účinnosti (za obě skupiny) dosahoval biouhel ($96,78 \pm 1,24$ %), následovaný mykorhizou ($96,12 \pm 1,67$ %), antukou ($95,73 \pm 1,73$ %) a defaultem ($95,19 \pm 2,39$ %).



Graf 7.16: Účinnost filtrů při snižování koncentrací niklu

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Šedá voda					Default 1. skupiny					Default 2. skupiny					Antuka 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Default 1. skupiny	▼	▼			▼															
Default 2. skupiny		▼			▼					▲										
Antuka 1. skupiny	▼	▼			▼															
Antuka 2. skupiny	▼	▼			▼															
Mykorhiza 1. skupiny	▼	▼			▼						▼				▼					
Mykorhiza 2. skupiny	▼	▼			▼															
Biouhel 1. skupiny	▼	▼			▼						▼				▼					
Biouhel 2. skupiny	▼	▼			▼						▼				▼					▼

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Antuka 2. skupiny					Mykorhiza 1. skupiny					Mykorhiza 2. skupiny					Biouhel 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny																				
Mykorhiza 2. skupiny																				
Biouhel 1. skupiny																				
Biouhel 2. skupiny					▼						▼									

Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace Pozn.: Hladina významnosti 0,05

Tab. 7.15: Signifikantní rozdíly v koncentracích niklu

Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda: ▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05
Etapa →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1												
	2		↓										
	3			↑									

Tab. 7.16: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování niklu (mezi etapami)

7.7 Zinek (Zn)

Průměr všech koncentrací zinku naměřených v průběhu celého experimentu pro šedou vodu byl 0,2217 mg/l a směrodatná odchylka činila 0,0565 mg/l. Kontrolní skupiny filtrů (tzv. defaulty) v 1. skupině při snižování koncentrací zinku dosahovaly průměrné účinnosti $95,23 \pm 5,54$ % (průměrná koncentrace na odtoku filtrů $0,0123 \pm 0,0156$ mg/l) a ve 2. skupině $94,66 \pm 4,93$ % ($0,0131 \pm 0,0133$ mg/l). Průběh koncentrací na odtoku z filtrů se spolehlivě pohyboval pod průměrnou koncentrací v šedé vodě a nesl mírně kolísavý charakter bez zjevného trendu, vyjma druhé etapy, kde výkyvy koncentrací byly výraznější, než v etapách ostatních (avšak koncentrace ošetřené šedé vody se stále spolehlivě držely pod koncentracemi šedé vody na vstupu do filtrů), jak pro 1. skupinu zachycuje Příloha 48 a pro 2. skupinu Příloha 49.

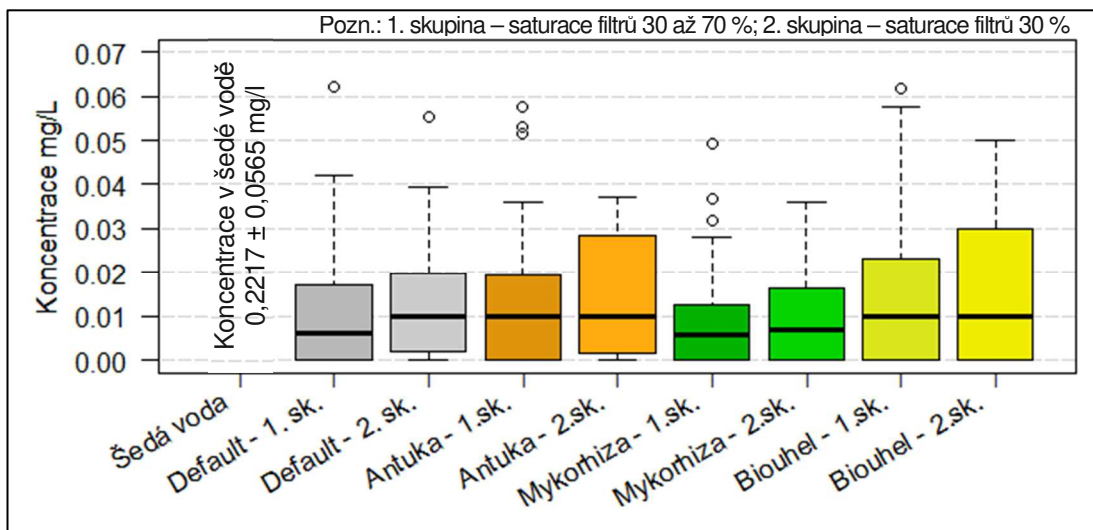
Přísada antuky nevedla k výraznému ovlivnění účinnosti filtrů při odstraňování zinku, neboť filtry s obsahem antuky dosahovaly v 1. skupině o -0,45 % nižší účinnosti při porovnání s příslušným defaultem. Ve 2. skupině poté antuka vzhledem k příslušné defaultní skupině dosahovala o 0,12 % vyšší účinnosti. Naměřená průměrná koncentrace zinku na odtoku filtrů s obsahem antuky byla pro 1. skupinu $0,0135 \pm 0,0170$ mg/l (průměrná účinnost $94,78 \pm 6,23$ %) a skupinu 2. $0,0135 \pm 0,0133$ mg/l (průměrná účinnost $94,78 \pm 4,81$ %).

Také přísada mykorhizy nepřispěla k významnému ovlivnění účinnosti filtrů, neboť filtry s obsahem mykorhizy v 1. skupině dosahovaly oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 0,80 % vyšší účinnosti a ve 2. skupině 1,32 % vyšší účinnosti. Naměřená průměrná koncentrace zinku na odtoku filtrů s obsahem mykorhizy byla pro 1. skupinu $0,0105 \pm 0,0132$ mg/l (průměrná účinnost $96,03 \pm 4,67$ %) a skupinu 2. $0,0102 \pm 0,0114$ mg/l (průměrná účinnost $95,98 \pm 4,12$ %).

Přísada biouhlu rovněž výrazně neovlivnila účinnost filtrů při odstraňování zinku, neboť účinnost filtrů s obsahem biouhlu v 1. skupině byla v porovnání s příslušným defaultem o -1,28 % nižší a ve 2. skupině nižší o -1,50 % vzhledem k příslušnému defaultu. Naměřená průměrná koncentrace zinku na odtoku filtrů s obsahem biouhlu byla pro 1. skupinu $0,0156 \pm 0,0172$ mg/l (průměrná účinnost $93,95 \pm 6,40$ %) a skupinu 2. $0,0170 \pm 0,0172$ mg/l (průměrná účinnost $93,16 \pm 6,31$ %).

Koncentrace zinku v jednotlivých etapách zachycují příslušené krabicové grafy (Příloha 50 až Příloha 53), přičemž v průběhu všech etap, i při vyhodnocení všech etap současně (Graf 7.17), všechny materiály vykazovaly signifikantně nižší

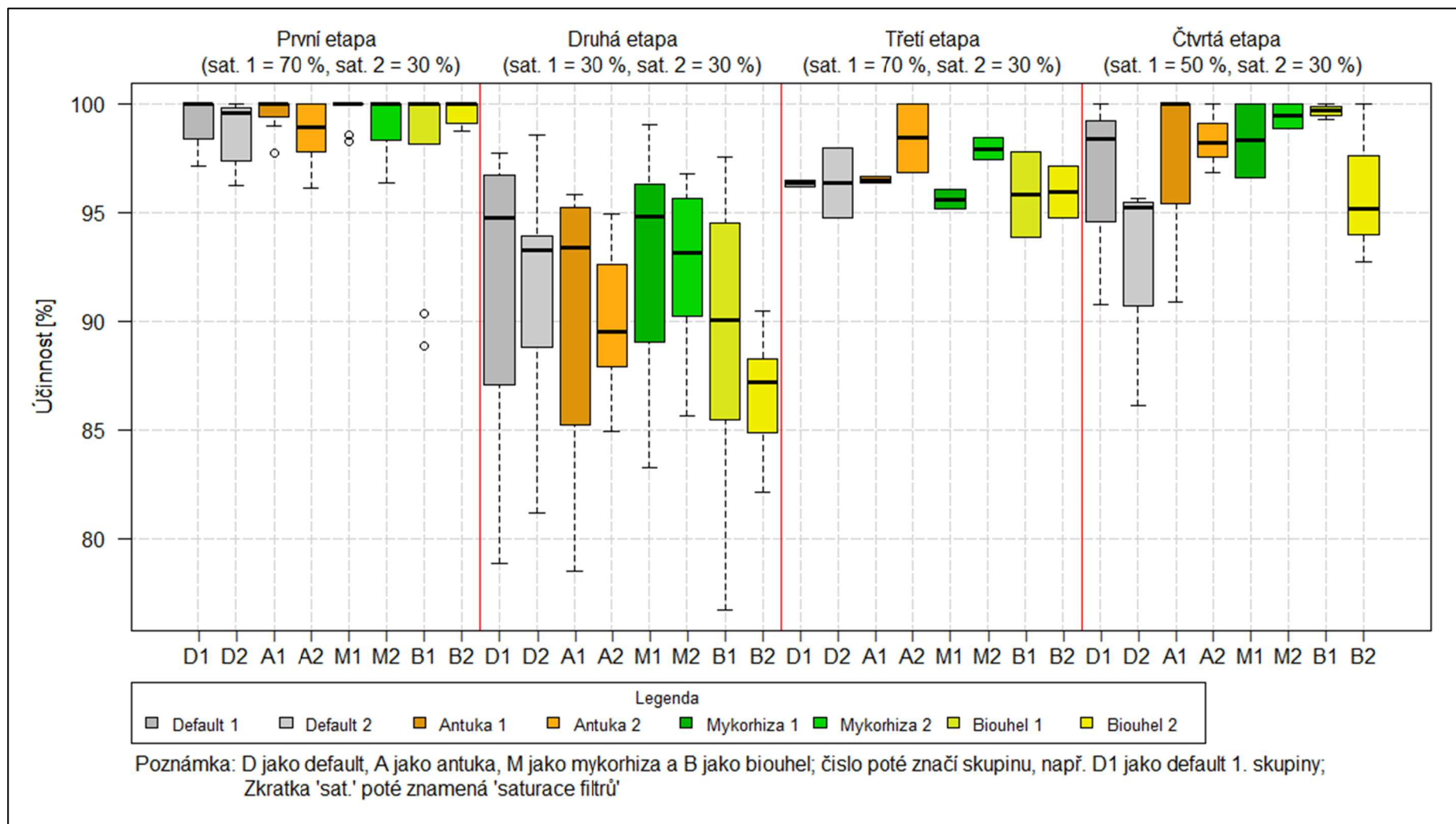
koncentrace zinku vůči šedé vodě a žádné další signifikantní rozdíly poté nebyly nalezeny, jak souhrnně zachycuje Tab. 7.17.



Graf 7.17: Přehled koncentrací zinku naměřených v průběhu všech etap

V rámci hledání vlivu hydraulické zatížení filtrů na jejich účinnost při odstraňování zinku všechny materiály (default, antuka, mykorhiza i biouhel) v průběhu druhé etapy (saturace filtrů 30 %) dosahovaly nižších účinností, než v průběhu etapy první (saturace filtrů 70 %). Biouhel také v průběhu čtvrté etapy (saturace filtrů 50 %) dosahoval signifikantně vyšší účinnosti v porovnání s etapou druhou (saturace filtrů 30 %). Při pozorování stárnutí systému však 2. skupina s konstantní saturací filtrů 30 % vykazovala shodné signifikantní rozdíly v účinnostech, jako 1. skupina při změnách saturace, a navíc ještě antuka během třetí a čtvrté etapy vykazovala signifikantně vyšší účinnost vůči etapě druhé, jak zachycuje Tab. 7.18. Grafickým znázorněním dosažených účinností v rámci etap poté je Graf 7.18.

V konečném důsledku se ukázalo, že hydraulické zatížení filtrů nemá prokazatelný vliv na jejich účinnost při snižování koncentrací zinku, neboť shledané signifikantní rozdíly byly pravděpodobně důsledkem stárnutí systému, resp. jeho provozu – filtry v průběhu času byly stále schopny účinného snižování koncentrací zinku, avšak s mírně sníženou účinností a konstantností. Nejvyšší celkové průměrné účinnosti (za obě skupiny) dosahovala mykorhiza ($96,01 \pm 4,41$ %), následovaná defaultem ($94,95 \pm 5,25$ %), antukou ($94,78 \pm 5,57$ %) a biouhlem ($93,55 \pm 6,37$ %).



Graf 7.18: Účinnost filtrů při snižování koncentrací zinku

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Šedá voda					Default 1. skupiny					Default 2. skupiny					Antuka 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Default 1. skupiny	▼	▼	▼	▼	▼															
Default 2. skupiny	▼	▼	▼	▼	▼															
Antuka 1. skupiny	▼	▼	▼	▼	▼															
Antuka 2. skupiny	▼	▼	▼	▼	▼															
Mykorhiza 1. skupiny	▼	▼	▼	▼	▼															
Mykorhiza 2. skupiny	▼	▼	▼	▼	▼															
Biouhel 1. skupiny	▼	▼	▼	▼	▼															
Biouhel 2. skupiny	▼	▼	▼	▼	▼															

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Antuka 2. skupiny					Mykorhiza 1. skupiny					Mykorhiza 2. skupiny					Biouhel 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny																				
Mykorhiza 2. skupiny																				
Biouhel 1. skupiny																				
Biouhel 2. skupiny																				

Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace Pozn.: Hladina významnosti 0,05

Tab. 7.17: Signifikantní rozdíly v koncentracích zinku

Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda: ▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05		
Etapa →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4			
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1	▼↓		▼↓			▼↓			▼↓			▼↓		
	2				↑	↑					↑	▲↑			
	3														

Tab. 7.18: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování zinku (mezi etapami)

7.8 Celkový organický uhlík (TOC)

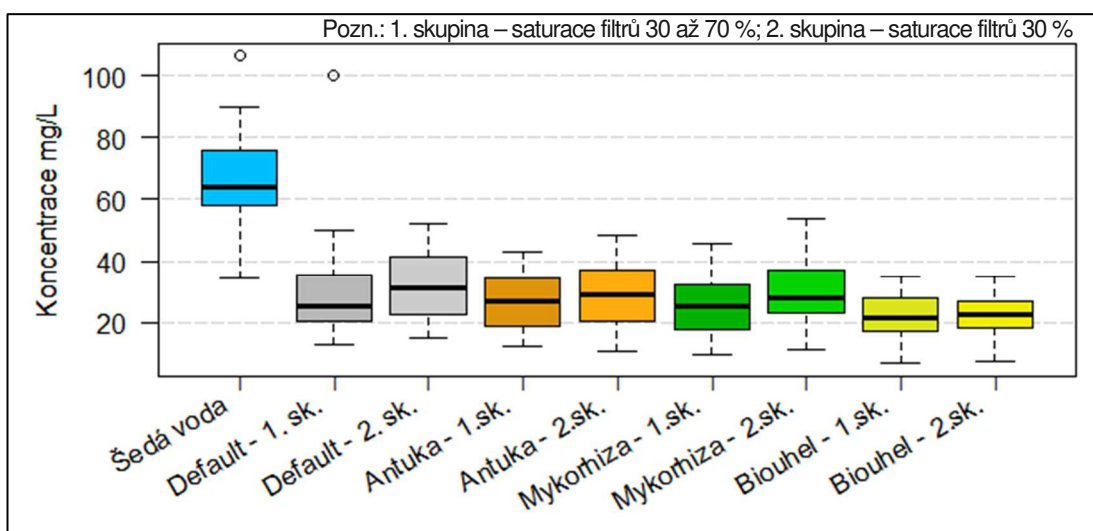
Průměr všech koncentrací TOC naměřených v průběhu celého experimentu pro šedou vodu byl 65,45 mg/l a směrodatná odchylka činila 14,89 mg/l. Kontrolní skupiny filtrů (tzv. defaulty) v 1. skupině při snižování koncentrací TOC dosahovaly průměrné účinnosti $49,95 \pm 26,81$ % (průměrná koncentrace na odtoku filtrů $29,62 \pm 15,78$ mg/l) a ve 2. skupině $46,45 \pm 18,46$ % ($32,12 \pm 10,80$ mg/l). Průběh naměřených koncentrací TOC během experimentu pro všechny materiály 1. skupiny zachycuje Příloha 54 pro 2. skupinu Příloha 55, přičemž obě skupiny vykazovaly nižší průměrné koncentrace nežli šedá voda a v průběhu experimentu také vykazovaly klesající trend. Tento klesající trend lze poté připsat pravděpodobnému postupnému vyplavování organických sloučenin z filtračních materiálů, resp. filtrů v průběhu experimentu.

Přísada antuky pro obě skupiny přispěla ke zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování TOC, neboť filtry s obsahem antuky v 1. skupině vykazovaly oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 4,48 % vyšší účinnosti a ve 2. skupině o 5,76 % vyšší účinnosti vzhledem k příslušné defaultní skupině. Statisticky významný vliv antuky na účinnost čištění však nebyl prokázán. Naměřená průměrná koncentrace TOC na odtoku filtrů s obsahem antuky byla pro 1. skupinu $27,46 \pm 8,71$ mg/l (průměrná účinnost $54,43 \pm 16,12$ %) a skupinu 2. $29,27 \pm 9,86$ mg/l (průměrná účinnost $52,21 \pm 15,37$ %).

Také přísada mykorhizy pro obě skupiny přispěla ke zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování TOC, neboť filtry s obsahem mykorhizy v 1. skupině dosahovaly oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 6,96 % vyšší účinnosti a v 2. skupině o 4,31 % vyšší účinnosti. Ani pro mykorhizu však nebyl prokázán její statisticky významný vliv na účinnost filtrů. Naměřená průměrná koncentrace TOC na odtoku filtrů s obsahem mykorhizy byla pro 1. skupinu $26,09 \pm 9,48$ mg/l (průměrná účinnost $56,91 \pm 15,85$ %) a skupinu 2. $30,34 \pm 10,23$ mg/l (průměrná účinnost $50,76 \pm 16,59$ %).

I přísada biouhlu přispěla ke zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování TOC, neboť filtry s obsahem biouhlu v 1. skupině vykazovaly oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 14,75 % vyšší účinnost a ve 2. skupině o 16,37 % vyšší účinnost. Statisticky významný vliv aditiva biouhlu byl však prokázán pouze pro 2. skupinu a pro 1. skupinou nebyl potvrzen. Naměřená průměrná koncentrace TOC na odtoku filtrů s obsahem biouhlu byla pro 1. skupinu $21,63 \pm 6,72$ mg/l (průměrná účinnost $64,70 \pm 12,07$ %) a skupinu 2. $22,86 \pm 6,76$ mg/l (průměrná účinnost $62,82 \pm 10,06$ %).

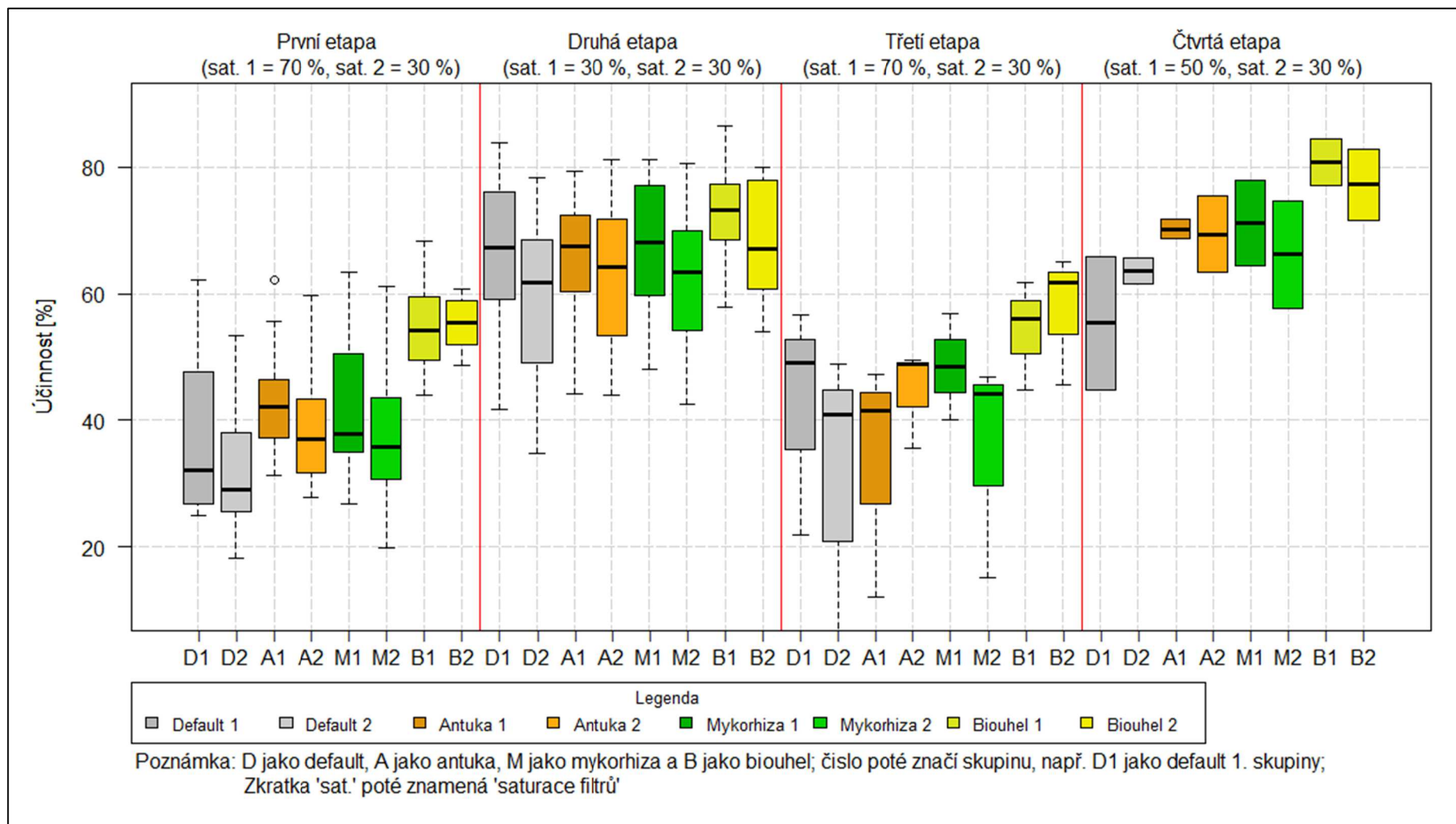
Koncentrace celkového organického uhlíku v jednotlivých etapách zachycují příslušené krabicové grafy (Příloha 56 až Příloha 59), přičemž v průběhu první etapy (saturace filtrů pro 1. skupinu 70 %, pro 2. skupinu 30 %) signifikantně nižší koncentrace vůči šedé vodě vykazovaly všechny materiály, vyjma defaultu 2. skupiny, v průběhu druhé etapy (saturace filtrů 30 % pro obě skupiny) již všechny materiály, v průběhu třetí etapy (saturace filtrů pro 1. skupinu opět 70 % a pro 2. skupinu 30 %) žádný materiál a ve čtvrté etapě (saturace filtrů pro 1. skupinu 50 % a pro 2. skupinu 30 %) zase všechny materiály. V případě nerozlišování jednotlivých etap, resp. při vyhodnocení všech etap současně (Graf 7.19), všechny materiály vykazovaly signifikantně nižší koncentrace TOC vůči šedé vodě a všechny nalezené signifikantní rozdíly poté souhrnně zachycuje Tab. 7.19.



Graf 7.19: Přehled koncentrací TOC naměřených v průběhu všech etap

V rámci hledání vlivu hydraulické zátěžení filtrů na jejich účinnost při odstraňování celkového organického uhlíku všechny materiály (default, antuka, mykorhiza i biouhel) v průběhu druhé etapy (saturace filtrů 30 %) dosahovaly signifikantně vyšších účinností, než v průběhu etapy první (saturace filtrů 70 %). Antuka poté v průběhu třetí etapy (saturace filtrů 70 %) opět dosahovala nižších účinností než v průběhu etapy druhé. Při pozorování stárnutí systému však 2. skupina (default, antuka a mykorhiza) s konstantní saturací filtrů 30 % vykazovala také signifikantně vyšší účinnost v průběhu druhé etapy než v průběhu etapy první. Default a mykorhiza poté v průběhu etapy třetí vykazovaly signifikantně nižší účinnost než v průběhu druhé etapy, jak zachycuje Tab. 7.20. Grafickým znázorněním dosažených účinností v rámci etap poté je Graf 7.20.

V konečném důsledku se ukázalo, že hydraulické zatížení filtrů nemá prokazatelný vliv na jejich účinnost při snižování koncentrací TOC, neboť shledané signifikantní rozdíly byly pravděpodobně důsledkem stárnutí systému, resp. jeho kontinuálního zatěžování v kombinaci s postupným vyplavováním organických sloučenin. Graf 7.20 a výše uvedená fakta totiž naznačují, že při téměř nepřetržitém provozu účinnost filtrů postupně narůstá (z první etapy na druhou byla odstávka filtrů přibližně 20 dní a ze třetí etapy na čtvrtou odstávka filtrů nebyla), zatímco při delší odstavce filtrů (ze druhé etapy na třetí, odstávka filtrů přibližně půl roku) účinnost filtrů poklesá. Nejvyšší celkové průměrné účinnosti (za obě skupiny) dosahoval biouhel ($63,76 \pm 11,15 \%$), následovaný mykorhizou ($53,84 \pm 16,51 \%$), antukou ($53,32 \pm 15,79 \%$) a defaultem ($48,20 \pm 23,08 \%$).



Graf 7.20: Účinnost filtrů při snižování koncentrací TOC

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Šedá voda					Default 1. skupiny					Default 2. skupiny					Antuka 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Default 1. skupiny	▼	▼		▼	▼															
Default 2. skupiny		▼		▼	▼															
Antuka 1. skupiny	▼	▼		▼	▼															
Antuka 2. skupiny	▼	▼		▼	▼															
Mykorhiza 1. skupiny	▼	▼		▼	▼										▼					
Mykorhiza 2. skupiny	▼	▼		▼	▼															
Biouhel 1. skupiny	▼	▼		▼	▼	▼					▼	▼			▼					
Biouhel 2. skupiny	▼	▼		▼	▼	▼					▼	▼			▼					

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Antuka 2. skupiny					Mykorhiza 1. skupiny					Mykorhiza 2. skupiny					Biouhel 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny																				
Mykorhiza 2. skupiny																				
Biouhel 1. skupiny	▼	▼			▼	▼					▼	▼			▼					
Biouhel 2. skupiny	▼										▼				▼					

Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace Pozn.: Hladina významnosti 0,05

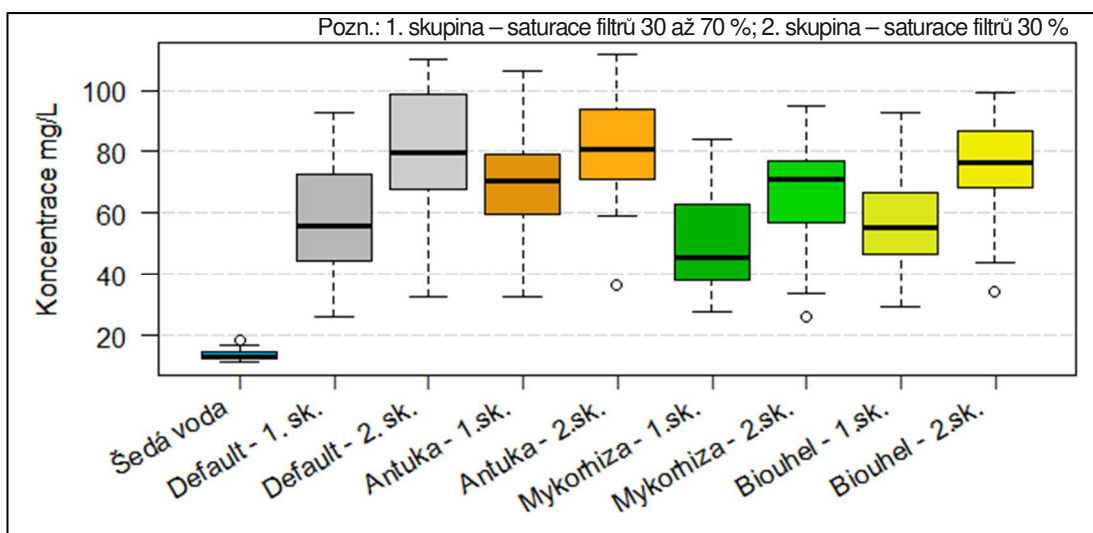
Tab. 7.19: Signifikantní rozdíly v koncentracích TOC

Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda: ▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05
Etapa →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1	▲↑		↑	▲↑		↑	▲↑		▲			
	2		↓			▼			↓				
	3												

Tab. 7.20: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování TOC (mezi etapami)

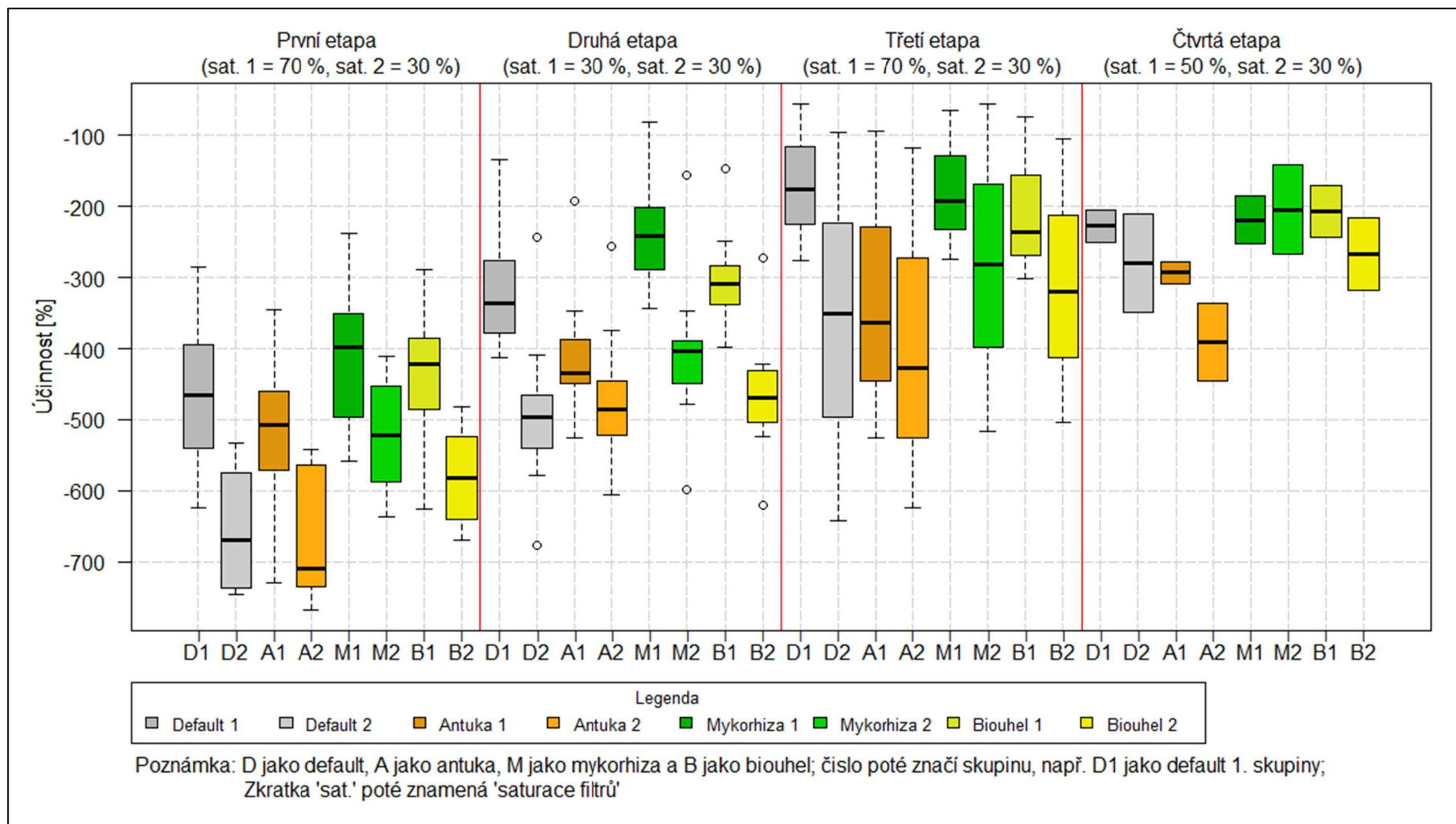
7.9 Anorganický uhlík (IC)

Průměr všech koncentrací IC naměřených v průběhu celého experimentu pro šedou vodu byl 13,60 mg/l a směrodatná odchylka činila 1,54 mg/l. Průběh naměřených koncentrací během experimentu pro materiály 1. skupiny zachycuje Příloha 60 a pro 2. skupinu Příloha 61, přičemž obě skupiny vykazovaly vyšší průměrné koncentrace nežli šedá voda a žádný materiál tedy nedokázal účinně snižovat koncentrace IC, přesto však všechny filtry na odtoku vykazovaly v průběhu experimentu klesající trend koncentrací IC. Testovaná aditiva ovlivňovala koncentrace na odtoku filtrů v porovnání s defaultní skupinou, avšak tento rozdíl nebyl statisticky významný. Koncentrace anorganického uhlíku v jednotlivých etapách zachycují příslušené krabicové grafy (Příloha 62 až Příloha 65), případně souhrnně Graf 7.21 a signifikantní rozdíly zachycuje Tab. 7.21.



Graf 7.21: Přehled koncentrací IC naměřených v průběhu všech etap

Z Tab. 7.22 vyplývá, že hydraulické zatížení filtrů nemá prokazatelný vliv na snižování koncentrací IC, neboť shledané signifikantní rozdíly byly pravděpodobně důsledkem stárnutí systému, resp. postupného vyplavování anorganických sloučenin z filtračního lože filtrů v průběhu jejich provozu. O postupném vyplavování sloučenin také vypovídá fakt, že filtry nebyly schopny účinného snižování anorganického uhlíku, ale zároveň koncentrace na odtoku filtrů v průběhu experimentu klesala. Nejméně navyšovala koncentrace v ošetřované šedé vodě vůči šedé vodě neostřené (za obě skupiny) mykorhiza (o $358,84 \pm 142,58$ %), následovaná biouhlem (o $408,48 \pm 138,64$ %), defaultem (o $438,17 \pm 165,57$ %) a antukou (o $481,06 \pm 140,94$ %), což pro jednotlivé skupiny a etapy zachycuje Graf 7.22.



Graf 7.22: Účinnost filtrů při snižování koncentrací IC

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Šedá voda					Default 1. skupiny					Default 2. skupiny					Antuka 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Default 1. skupiny	▲	▲		▲	▲															
Default 2. skupiny	▲	▲		▲	▲	▲	▲			▲										
Antuka 1. skupiny	▲	▲		▲	▲						▼									
Antuka 2. skupiny	▲	▲		▲	▲	▲	▲		▲	▲						▲				
Mykorhiza 1. skupiny	▲			▲	▲						▼	▼			▼		▼			▼
Mykorhiza 2. skupiny	▲	▲		▲	▲						▼				▼					
Biouhel 1. skupiny	▲	▲		▲	▲						▼	▼			▼		▼			▼
Biouhel 2. skupiny	▲	▲		▲	▲	▲	▲			▲										

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Antuka 2. skupiny					Mykorhiza 1. skupiny					Mykorhiza 2. skupiny					Biouhel 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny	▼	▼		▼	▼															
Mykorhiza 2. skupiny	▼			▼	▼		▲			▲										
Biouhel 1. skupiny	▼	▼		▼	▼							▼			▼					
Biouhel 2. skupiny						▲	▲			▲						▲	▲			▲

Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace Pozn.: Hladina významnosti 0,05

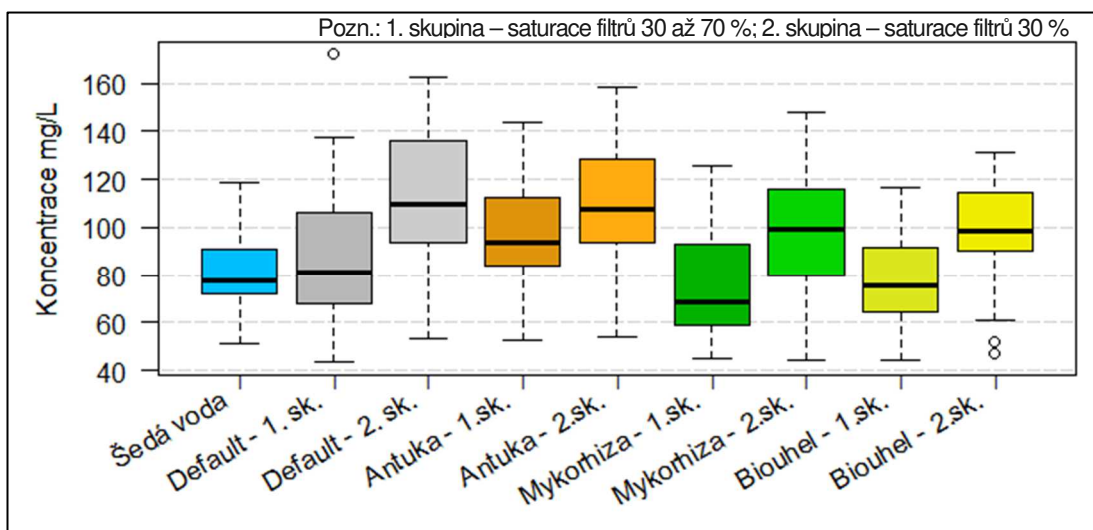
Tab. 7.21: Signifikantní rozdíly v koncentracích IC

Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda:	
Etapa →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4		
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1	▲↑	▲↑	↑	↑		↑	▲↑	▲		▲↑	▲↑	↑	▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace
	2													Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05
	3													

Tab. 7.22: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování IC (mezi etapami)

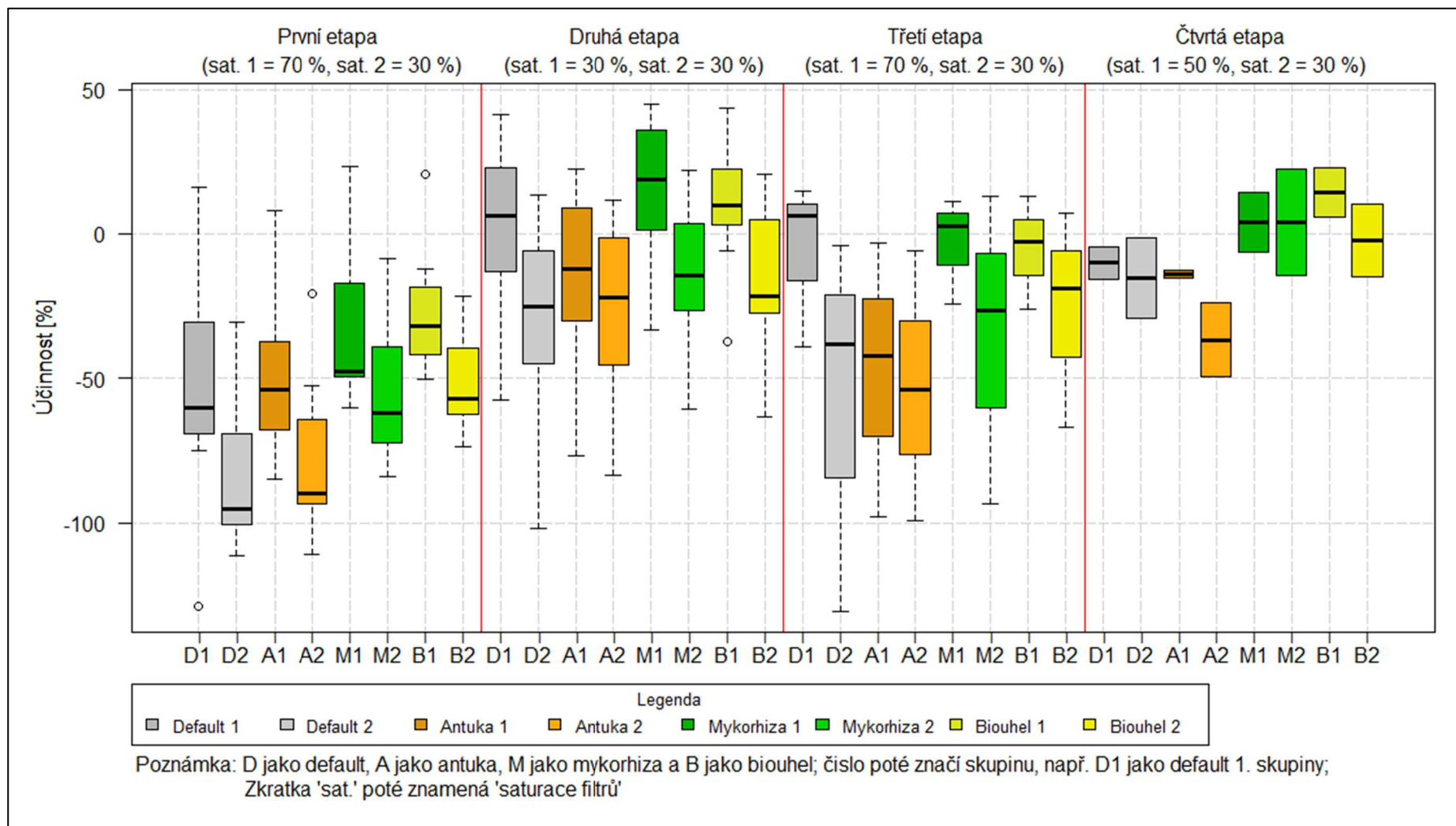
7.10 Celkový uhlík (TC)

Průměr všech koncentrací TC naměřených v průběhu celého experimentu pro šedou vodu byl 79,11 mg/l a směrodatná odchylka činila 14,42 mg/l. Průběh naměřených koncentrací pro všechny materiály 1. skupiny zachycuje Příloha 66 a pro 2. skupinu Příloha 67, přičemž obě skupiny pro všechny materiály vykazovaly kolísavý průběh koncentrací na odtoku filtrů se zřetelně klesajícím trendem. Testovaná aditiva mírně ovlivňovala koncentrace na odtoku filtrů v porovnání s defaultní skupinou, avšak tento rozdíl nebyl statisticky významný. Koncentrace celkového uhlíku v jednotlivých etapách zachycují příslušené krabicové grafy (Příloha 68 až Příloha 71), případně souhrnně Graf 7.23 a signifikantní rozdíly zachycuje Tab. 7.23.



Graf 7.23: Přehled koncentrací TC naměřených v průběhu všech etap

Z Tab. 7.24 vyplývá, že hydraulické zatížení filtrů nemá prokazatelný vliv na snižování koncentrací TC, neboť shledané signifikantní rozdíly byly pravděpodobně důsledkem stárnutí systému, resp. postupného vyplavování sloučenin s obsahem uhlíku z filtračního lože v průběhu experimentu. O postupném vyplavování sloučenin také vypovídá fakt, že filtry nebyly schopny účinného snižování celkového uhlíku, ale zároveň koncentrace na odtoku filtrů v průběhu experimentu klesala, obdobně jako v případě anorganického uhlíku. Nejméně navyšovala koncentrace v ošetřované šedé vodě vůči šedé vodě neostřené (za obě skupiny) mykorhiza (o $17,28 \pm 35,01$ %), následovaná biouhlem (o $17,48 \pm 29,38$ %), defaultem (o $35,53 \pm 42,69$ %) a antukou (o $39,14 \pm 36,04$ %), což pro jednotlivé skupiny a etapy zachycuje Graf 7.24.



Graf 7.24: Účinnost filtrů při snižování koncentrací TC

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Šedá voda					Default 1. skupiny					Default 2. skupiny					Antuka 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Default 1. skupiny	▲																			
Default 2. skupiny	▲	▲			▲	▲	▲			▲										
Antuka 1. skupiny	▲				▲		▲				▼									
Antuka 2. skupiny	▲	▲			▲		▲			▲										
Mykorhiza 1. skupiny		▼									▼	▼			▼		▼			▼
Mykorhiza 2. skupiny	▲				▲		▲													
Biouhel 1. skupiny											▼	▼			▼		▼			▼
Biouhel 2. skupiny	▲				▲		▲				▼									

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Antuka 2. skupiny					Mykorhiza 1. skupiny					Mykorhiza 2. skupiny					Biouhel 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny	▼	▼		▼	▼															
Mykorhiza 2. skupiny							▲			▲										
Biouhel 1. skupiny	▼	▼		▼	▼						▼	▼			▼					
Biouhel 2. skupiny							▲			▲							▲			▲

Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace Pozn.: Hladina významnosti 0,05

Tab. 7.23: Signifikantní rozdíly v koncentracích TC

Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda:	
Etapa →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4		
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1	▲↑			▲↑			▲↑			▲			▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace
	2													Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05
	3													

Tab. 7.24: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování TC (mezi etapami)

7.11 Celkový dusík (TN)

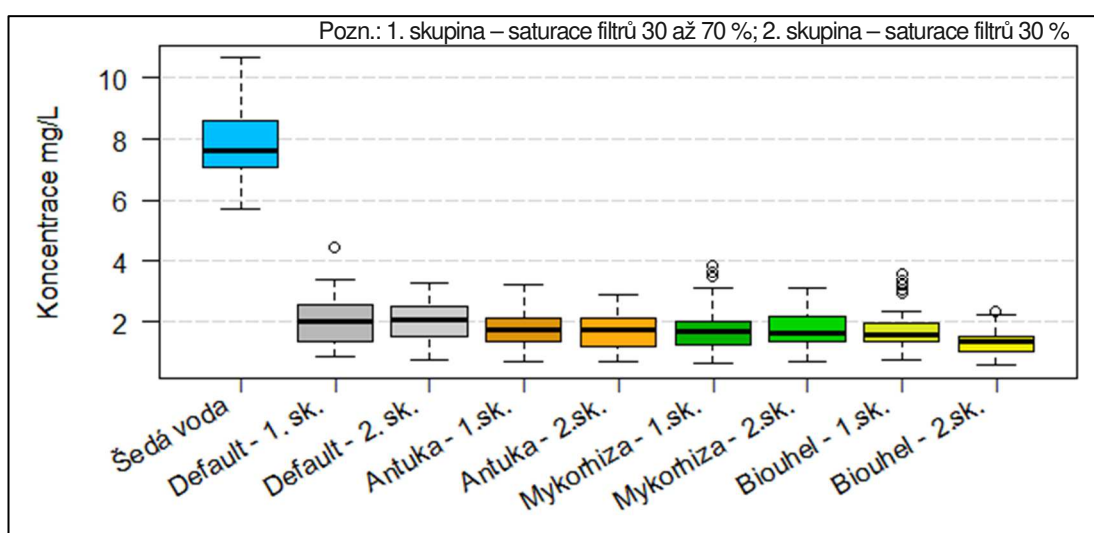
Průměr všech koncentrací TN naměřených v průběhu celého experimentu pro šedou vodu byl 7,92 mg/l a směrodatná odchylka činila 1,20 mg/l. Kontrolní skupiny filtrů (tzv. defaulty) v 1. skupině při snižování koncentrací TN dosahovaly průměrné účinnosti $72,39 \pm 11,00$ % (průměrná koncentrace na odtoku filtrů $2,04 \pm 0,79$ mg/l) a ve 2. skupině $72,62 \pm 9,82$ % ($2,02 \pm 0,67$ mg/l). Průběh naměřených koncentrací TN během experimentu pro všechny materiály 1. skupiny zachycuje Příloha 72 a pro 2. skupinu Příloha 73, přičemž obě skupiny pro všechny materiály vykazovaly kolísavý průběh koncentrací na odtoku filtrů a v průběhu první a druhé etapy byl zřetelný i mírně klesající trend těchto koncentrací. Koncentrace v ošetřené vodě se však v průběhu celého experimentu spolehlivě držely pod koncentracemi v neošetřené šedé vodě, tudíž všechny materiály dokázaly účinně snižovat koncentrace TN.

Přísada antuky přispěla ke zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování TN, neboť filtry s obsahem antuky v 1. skupině dosahovaly oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 4,04 % vyšší účinnosti, ve 2. skupině o 4,14 % vyšší účinnosti vzhledem k příslušnému defaultu, ale vliv antuky na účinnost filtrů statisticky prokázán nebyl. Naměřená průměrná koncentrace TN na odtoku filtrů s obsahem antuky byla pro 1. skupinu $1,75 \pm 0,62$ mg/l (průměrná účinnost $76,43 \pm 8,78$ %) a skupinu 2. $1,72 \pm 0,61$ mg/l (průměrná účinnost $76,76 \pm 9,22$ %).

Také přísada mykorhizy přispěla ke zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování TN, neboť filtry s obsahem mykorhizy v 1. skupině dosahovaly oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 3,64 % vyšší účinnosti a ve 2. skupině o 4,27 % vyšší účinnosti. Ani vliv mykorhizy na účinnost filtrů však nebyl statisticky prokázán. Naměřená průměrná koncentrace TN na odtoku filtrů s obsahem mykorhizy byla pro 1. skupinu $1,81 \pm 0,78$ mg/l (průměrná účinnost $76,03 \pm 10,83$ %) a skupinu 2. $1,73 \pm 0,57$ mg/l (průměrná účinnost $76,89 \pm 9,18$ %).

I biouhel přispěl ke zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování TN, neboť filtry s obsahem biouhlu v 1. skupině dosahovaly oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 4,94 % vyšší účinnosti a ve 2. skupině o 9,52 % vyšší účinnosti. Ačkoliv pro biouhel 2. skupiny byl prokázán jeho statisticky významný vliv na účinnost filtrů, 1. skupinou potvrzen nebyl. Naměřená průměrná koncentrace TN na odtoku filtrů s obsahem biouhlu byla pro 1. skupinu $1,75 \pm 0,73$ mg/l (průměrná účinnost $77,33 \pm 10,05$ %) a skupinu 2. $1,33 \pm 0,41$ mg/l (průměrná účinnost $82,14 \pm 6,50$ %).

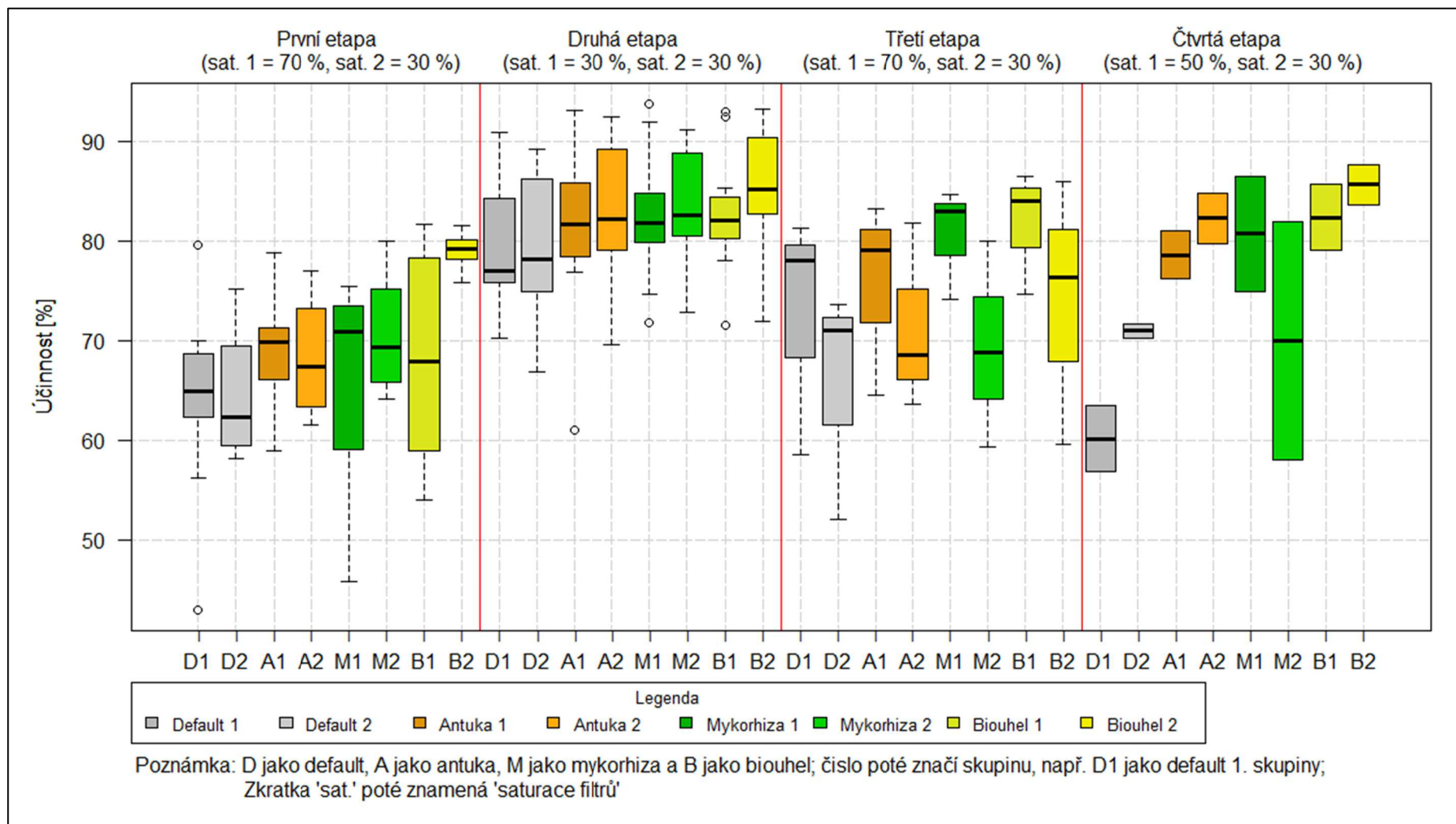
Koncentrace celkového dusíku v jednotlivých etapách zachycují příslušené krabicové grafy (Příloha 74 až Příloha 77), přičemž v průběhu první, druhé i čtvrté etapy (saturace filtrů pro 1. skupinu 70; 30; respektive 50 %, pro 2. skupinu konstantních 30 %) všechny materiály vykazovaly signifikantně nižší koncentrace vůči šedé vodě, zatímco v průběhu třetí etapy (saturace filtrů 1. skupiny 70 % a 2. skupiny 30 %) nebyly nalezeny žádné signifikantní rozdíly. V případě nerozlišování jednotlivých etap, resp. při vyhodnocení všech etap současně (Graf 7.25), všechny materiály vykazovaly signifikantně nižší koncentrace TN vůči šedé vodě. Také biouhel 2. skupiny vykazoval signifikantně nižší koncentrace vůči všem materiálům (vyjma biouhlu 1. skupiny) a všechny nalezené signifikantní rozdíly poté souhrnně zachycuje Tab. 7.25.



Graf 7.25: Přehled koncentrací TN naměřených v průběhu všech etap

V rámci hledání vlivu hydraulické zátížení filtrů na účinnost filtrů při snižování koncentrací celkového dusíku všechny materiály (default, antuka, mykorhiza i biouhel) v průběhu druhé etapy (saturace filtrů 30 %) dosahovaly vyšších účinností, než v průběhu etapy první (saturace filtrů 70 %). Při pozorování stárnutí systému však 2. skupina (default, antuka a mykorhiza) s konstantní saturací filtrů 30 % vykazovala také signifikantně vyšší účinnost v průběhu druhé etapy než v průběhu etapy první. Default a mykorhiza poté v průběhu etapy třetí vykazovaly signifikantně nižší účinnost než v průběhu druhé etapy, jak zachycuje Tab. 7.26. Grafickým znázorněním dosažených účinností v rámci etap poté je Graf 7.26.

V konečném důsledku se ukázalo, že hydraulické zatížení filtrů nemá prokazatelný vliv na jejich účinnost při snižování koncentrací TN, neboť shledané signifikantní rozdíly byly pravděpodobně důsledkem stárnutí systému, resp. jak Graf 7.26 a výše uvedená fakta naznačují, že při téměř nepřetržitém provozu účinnost filtrů postupně narůstá (z první etapy na druhou, kdy byla odstávka filtrů přibližně 20 dní a ze třetí etapy na čtvrtou, kde čtvrtá etapa navazovala bez odstávky), zatímco při delší odstávce filtrů (ze druhé etapy na třetí byla odstávka filtrů přibližně půl roku) účinnost filtrů klesla. Pouze default se v průběhu čtvrté etapy této myšlenky vymykal, což mohlo být způsobeno jinými faktory (vzhledem k nízkému počtu vzorků v této etapě mohlo dojít např. ke kontaminaci některého z nich neošetřenou šedou vodou a v konečném důsledku ovlivnit i výslednou účinnost). Nejvyšší celkové průměrné účinnosti (za obě skupiny) dosahoval biouhel ($79,74 \pm 8,80$ %), následovaný antukou ($76,60 \pm 9,00$ %), mykorhizou ($76,46 \pm 10,05$ %) a defaultem ($72,5 \pm 10,42$ %).



Graf 7.26: Účinnost filtrů při snižování koncentrací TN

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Šedá voda					Default 1. skupiny					Default 2. skupiny					Antuka 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Default 1. skupiny	▼	▼		▼	▼															
Default 2. skupiny	▼	▼		▼	▼															
Antuka 1. skupiny	▼	▼		▼	▼															
Antuka 2. skupiny	▼	▼		▼	▼															
Mykorhiza 1. skupiny	▼	▼		▼	▼															
Mykorhiza 2. skupiny	▼	▼		▼	▼															
Biouhel 1. skupiny	▼	▼		▼	▼															
Biouhel 2. skupiny	▼	▼		▼	▼	▼	▼			▼	▼				▼	▼				▼

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Antuka 2. skupiny					Mykorhiza 1. skupiny					Mykorhiza 2. skupiny					Biouhel 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny																				
Mykorhiza 2. skupiny																				
Biouhel 1. skupiny																				
Biouhel 2. skupiny	▼				▼	▼				▼					▼	▼				▼

Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace Pozn.: Hladina významnosti 0,05

Tab. 7.25: Signifikantní rozdíly v koncentracích TN

Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda: ▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05
Etapa →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1	▲↑			▲↑			▲↑			▲		
	2		↓					↓					
	3												

Tab. 7.26: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování TN (mezi etapami)

7.12 Dusitany (NO_2^-)

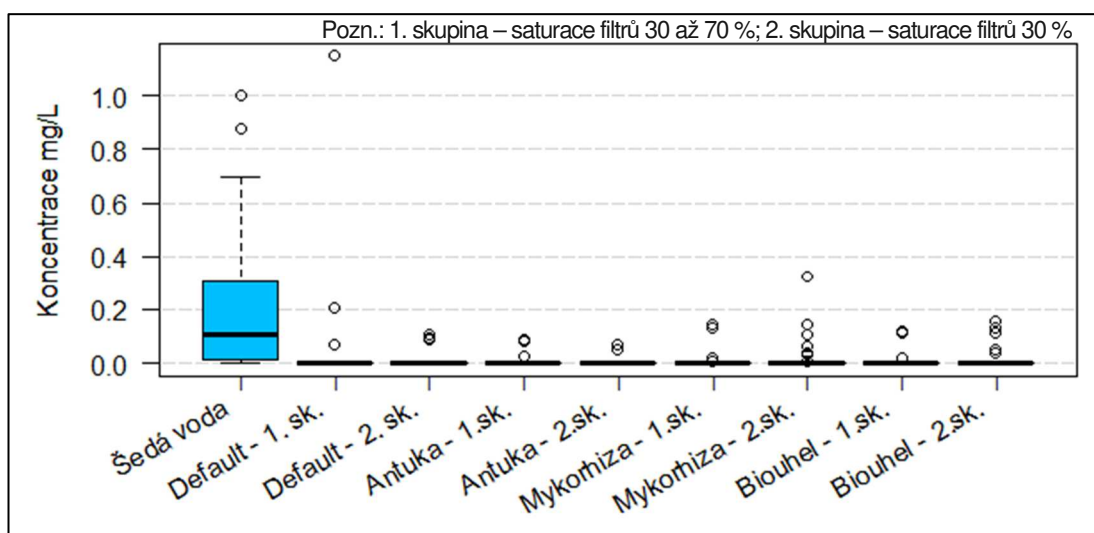
Průměr všech koncentrací dusitanů naměřených v průběhu celého experimentu pro šedou vodu byl 0,20 mg/l a směrodatná odchylka činila 0,25 mg/l. Kontrolní skupiny filtrů (tzv. defaulty) v 1. skupině při snižování koncentrací dusitanů dosahovaly průměrné účinnosti $87,79 \pm 20,97$ % (průměrná koncentrace na odtoku filtrů $0,04 \pm 0,20$ mg/l) a ve 2. skupině $84,17 \pm 24,39$ % ($0,01 \pm 0,03$ mg/l). Průběh naměřených koncentrací dusitanů během experimentu pro všechny materiály 1. skupiny zachycuje Příloha 78 a pro 2. skupinu Příloha 79, přičemž průběh koncentrací v ošetřené šedé vodě 1. skupinou se pohyboval během první a druhé etapy pod detekčním limitem přístroje (0,01 mg/l), 2. skupina v ošetřené šedé vodě během první etapy dosahovala koncentrace nižší, nežli vykazovala neošetřená šedá voda a během druhé etapy rovněž vykazovala koncentrace pod detekčním limitem přístroje. Průběh koncentrací nesl pro třetí a čtvrtou etapu shodný kolísavý charakter, avšak všechny skupiny, vyjma defaultu 1. skupiny, stále vykazovaly nižší koncentrace než neošetřená šedá voda.

Přísada antuky přispěla ke zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování dusitanů, neboť filtry s obsahem antuky v 1. skupině dosahovaly oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 3,49 % vyšší účinnosti a ve 2. skupině o 7,06 % vyšší účinnosti vzhledem k příslušné defaultní skupině. Vliv antuky na účinnost čištění však prokázán nebyl. Naměřená průměrná koncentrace dusitanů na odtoku filtrů s obsahem antuky byla pro 1. skupinu $0,01 \pm 0,02$ mg/l (průměrná účinnost $91,28 \pm 7,93$ %) a skupinu 2. $< 0,01 \pm 0,00$ mg/l (průměrná účinnost $91,23 \pm 8,77$ %).

Přísada mykorhizy nepřispěla vůbec ke zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování dusitanů, neboť účinnost filtrů s obsahem mykorhizy 1. skupiny byla v porovnání s příslušným defaultem o -1,84 % nižší a 2. skupiny o -17,87 % nižší. Naměřená průměrná koncentrace dusitanů na odtoku filtrů s obsahem mykorhizy byla pro 1. skupinu $0,01 \pm 0,03$ mg/l (průměrná účinnost $85,95 \pm 18,92$ %) a skupinu 2. $0,02 \pm 0,06$ mg/l (průměrná účinnost $66,30 \pm 78,67$ %).

Také přidání biouhlu nepatrně přispělo ke zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování dusitanů, neboť filtry s biouhlem v 1. skupině dosahovaly oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 1,24 % vyšší účinnosti a ve 2. skupině o 1,81 % vyšší účinnosti. Ani biouhel však nedokázal signifikantně ovlivnit účinnost čištění. Naměřená průměrná koncentrace dusitanů na odtoku filtrů s obsahem biouhlu byla pro 1. skupinu $0,01 \pm 0,03$ mg/l (průměrná účinnost $89,03 \pm 13,40$ %) a skupinu 2. $0,01 \pm 0,04$ mg/l (průměrná účinnost $85,98 \pm 16,17$ %).

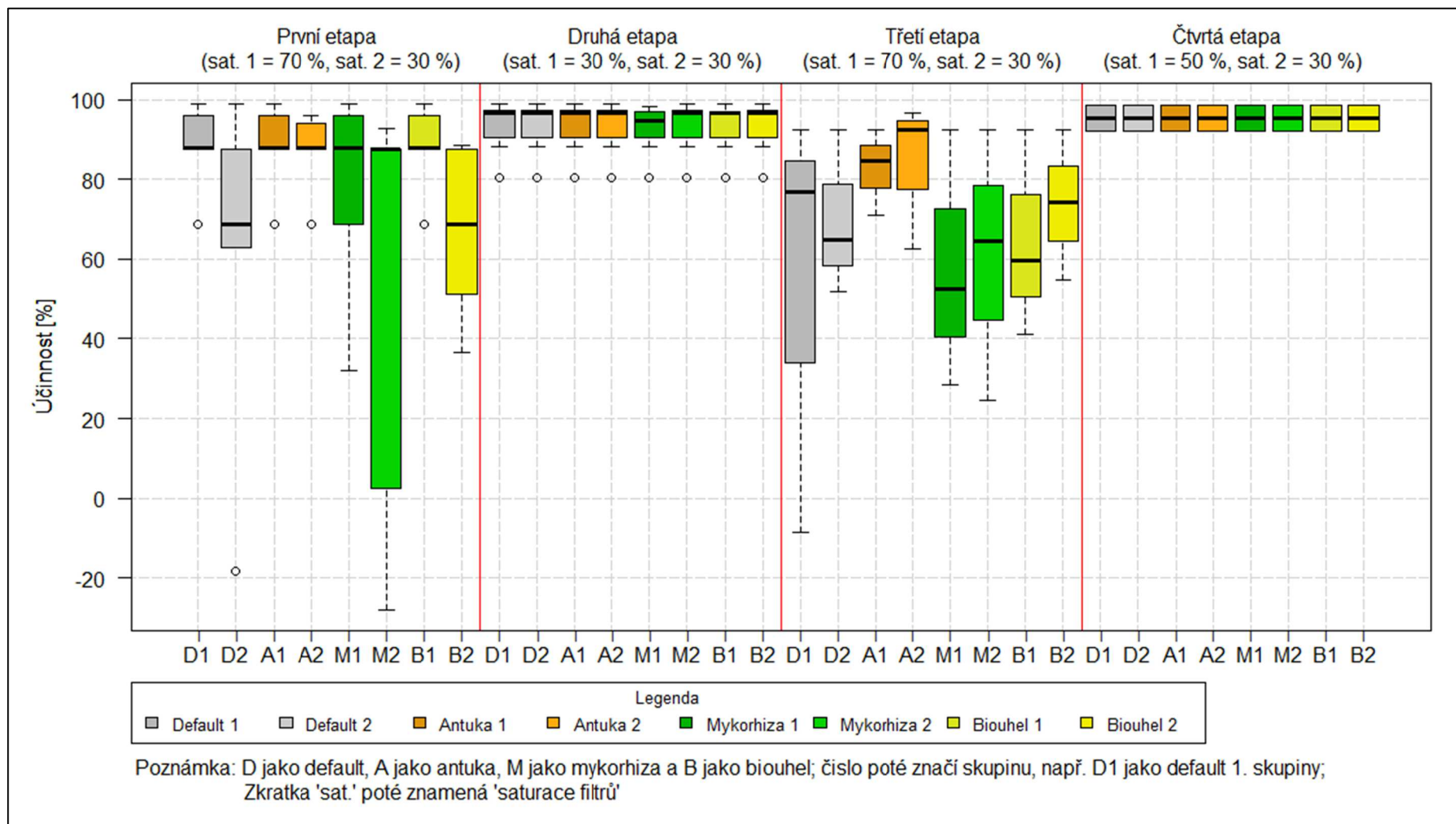
Koncentrace dusitanů v jednotlivých etapách zachycují příslušené krabicové grafy (Příloha 80 až Příloha 83), přičemž v průběhu první etapy (saturace filtrů pro 1. skupinu 70 %, pro 2. skupinu 30 %) pouze default a biouhel 1. skupiny vykazovaly signifikantně nižší koncentrace vzhledem k šedé vodě. Během druhé etapy (saturace filtrů pro obě skupiny 30 %) již všechny materiály obou skupin vykazovaly nižší koncentrace dusitanů vzhledem k šedé vodě a během třetí či čtvrté etapy (saturace filtrů pro 1. skupinu 70 a 50 %, pro 2. skupinu konstantních 30 %) nebyly shledány žádné signifikantní rozdíly mezi neošetřenou šedou vodou a vodou ošetřenou. Při vyhodnocení všech etap současně (Graf 7.27) opět všechny materiály dosahovaly nižších koncentrací dusitanů oproti šedé vodě a žádné další signifikantní rozdíly nebyly prokázány, jak zachycuje Tab. 7.27.



Graf 7.27: Přehled koncentrací dusitanů naměřených v průběhu všech etap

V rámci hledání vlivu hydraulické zatížení filtrů na jejich účinnost při odstraňování dusitanů, ani v rámci pozorování stárnutí systému nebyly shledány žádné statisticky významné rozdíly, jak zachycuje Tab. 7.28. Grafickým znázorněním dosažených účinností v rámci etap je poté Graf 7.28.

V konečném důsledku se ukázalo, že hydraulické zatížení filtrů či stárnutí filtrů, nemá prokazatelný vliv na jejich účinnost při snižování koncentrací dusitanů a nejvyšší celkové průměrné účinnosti (za obě skupiny) dosahovala antuka ($91,26 \pm 8,36$ %), následovaná biouhlem ($87,50 \pm 14,93$ %), defaultem ($85,98 \pm 22,82$ %) a mykorhizou ($83,40 \pm 26,09$ %).



Graf 7.28: Účinnost filtrů při snižování koncentrací dusitanů

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Šedá voda					Default 1. skupiny					Default 2. skupiny					Antuka 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Default 1. skupiny	▼	▼			▼															
Default 2. skupiny		▼			▼															
Antuka 1. skupiny		▼			▼															
Antuka 2. skupiny		▼			▼															
Mykorhiza 1. skupiny		▼			▼															
Mykorhiza 2. skupiny		▼			▼															
Biouhel 1. skupiny	▼	▼			▼															
Biouhel 2. skupiny		▼			▼															

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Antuka 2. skupiny					Mykorhiza 1. skupiny					Mykorhiza 2. skupiny					Biouhel 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny																				
Mykorhiza 2. skupiny																				
Biouhel 1. skupiny																				
Biouhel 2. skupiny																				

Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace Pozn.: Hladina významnosti 0,05

Tab. 7.27: Signifikantní rozdíly v koncentracích dusitanů

Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda: ▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05
Etapa →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1												
	2												
	3												

Tab. 7.28: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování dusitanů (mezi etapami)

7.13 Dusičnany (NO_3^-)

Průměr všech koncentrací dusičnanů naměřených v průběhu celého experimentu pro šedou vodu byl 25,27 mg/l a směrodatná odchylka činila 2,23 mg/l. Kontrolní skupiny filtrů (tzv. defaulty) v 1. skupině při snižování koncentrací dusičnanů dosahovaly průměrné účinnosti $95,46 \pm 4,08$ % (průměrná koncentrace na odtoku filtrů $1,21 \pm 1,04$ mg/l) a ve 2. skupině $97,36 \pm 2,10$ % ($0,66 \pm 0,49$ mg/l). Průběh naměřených koncentrací dusičnanů během experimentu pro všechny materiály 1. skupiny zachycuje Příloha 84 a pro 2. skupinu Příloha 85, přičemž z průběhu koncentrací je zřejmé, že všechny materiály obou skupin spolehlivě vykazovaly nižší koncentrace v ošetřené šedé vodě než v šedé vodě neošetřené.

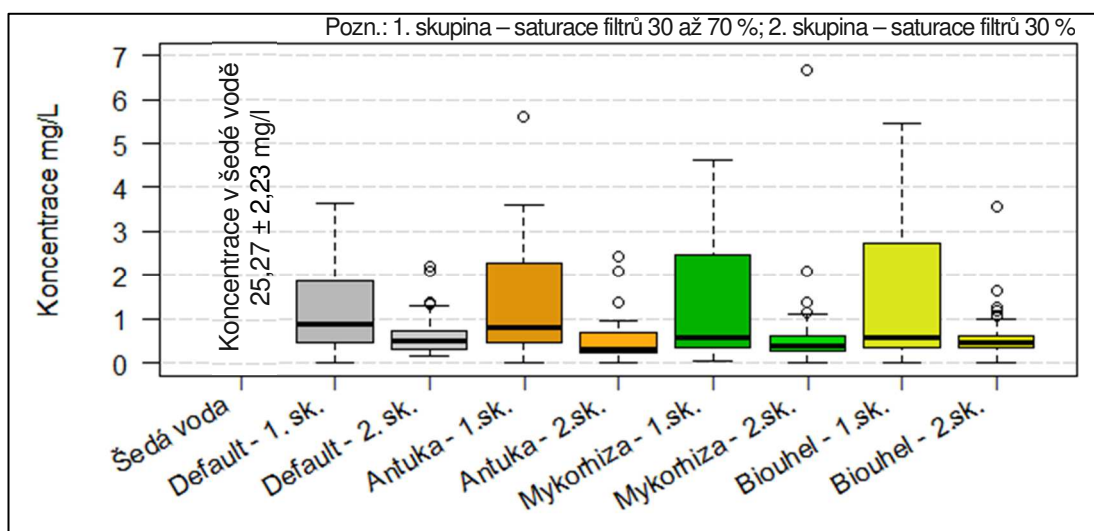
Přísada antuky nevedla k výraznému ovlivnění účinnosti filtrů při odstraňování dusičnanů, neboť filtry s obsahem antuky v 1. skupině dosahovaly o -0,34 % nižší účinnosti při porovnání s příslušným defaultem a ve 2. skupině filtrů o 0,52 % vyšší účinnosti vzhledem k příslušnému defaultu. Naměřená průměrná koncentrace dusičnanů na odtoku filtrů s obsahem antuky byla pro 1. skupinu $1,31 \pm 1,22$ mg/l (průměrná účinnost $95,12 \pm 4,47$ %) a skupinu 2. $0,54 \pm 0,52$ mg/l (průměrná účinnost $97,88 \pm 2,20$ %).

Také přísada mykorhizy výrazně neovlivnila účinnost filtrů při odstraňování dusičnanů, neboť účinnost filtrů s obsahem mykorhizy v 1. skupině byla v porovnání s příslušným defaultem o -0,20 % nižší. Filtry ve 2. skupině poté dosahovaly o -0,09 % nižší účinnosti vzhledem k příslušnému defaultu. Naměřená průměrná koncentrace dusičnanů na odtoku z filtrů s obsahem mykorhizy byla pro 1. skupinu $1,32 \pm 1,30$ mg/l (průměrná účinnost $95,26 \pm 4,87$ %) a skupinu 2. $0,67 \pm 1,12$ mg/l (průměrná účinnost $97,27 \pm 4,84$ %).

Ani přísada biouhlu, obdobně jako přísada antuky či mykorhizy, výrazně neovlivnila účinnost čištění. V 1. skupině filtry s obsahem biouhlu dosahovaly o -0,62 % nižší účinnosti při porovnání s příslušným defaultem a ve 2. skupině o 0,03 % vyšší účinnosti. Naměřená průměrná koncentrace dusičnanů na odtoku filtrů s obsahem biouhlu byla pro 1. skupinu $1,47 \pm 1,59$ mg/l (průměrná účinnost $94,84 \pm 5,98$ %) a skupinu 2. $0,66 \pm 0,62$ mg/l (průměrná účinnost $97,39 \pm 2,61$ %).

Koncentrace dusičnanů v jednotlivých etapách zachycují příslušené krabicové grafy (Příloha 86 až Příloha 89), přičemž v průběhu první, druhé a čtvrté etapy (saturace filtrů pro 1. skupinu 70; 30; respektive 50 %, pro 2. skupinu konstantních 30 %) signifikantně nižší koncentrace vůči šedé vodě vykazovaly všechny materiály, zatímco v průběhu třetí etapy (saturace filtrů pro 1. skupinu 70 %, pro 2. skupinu

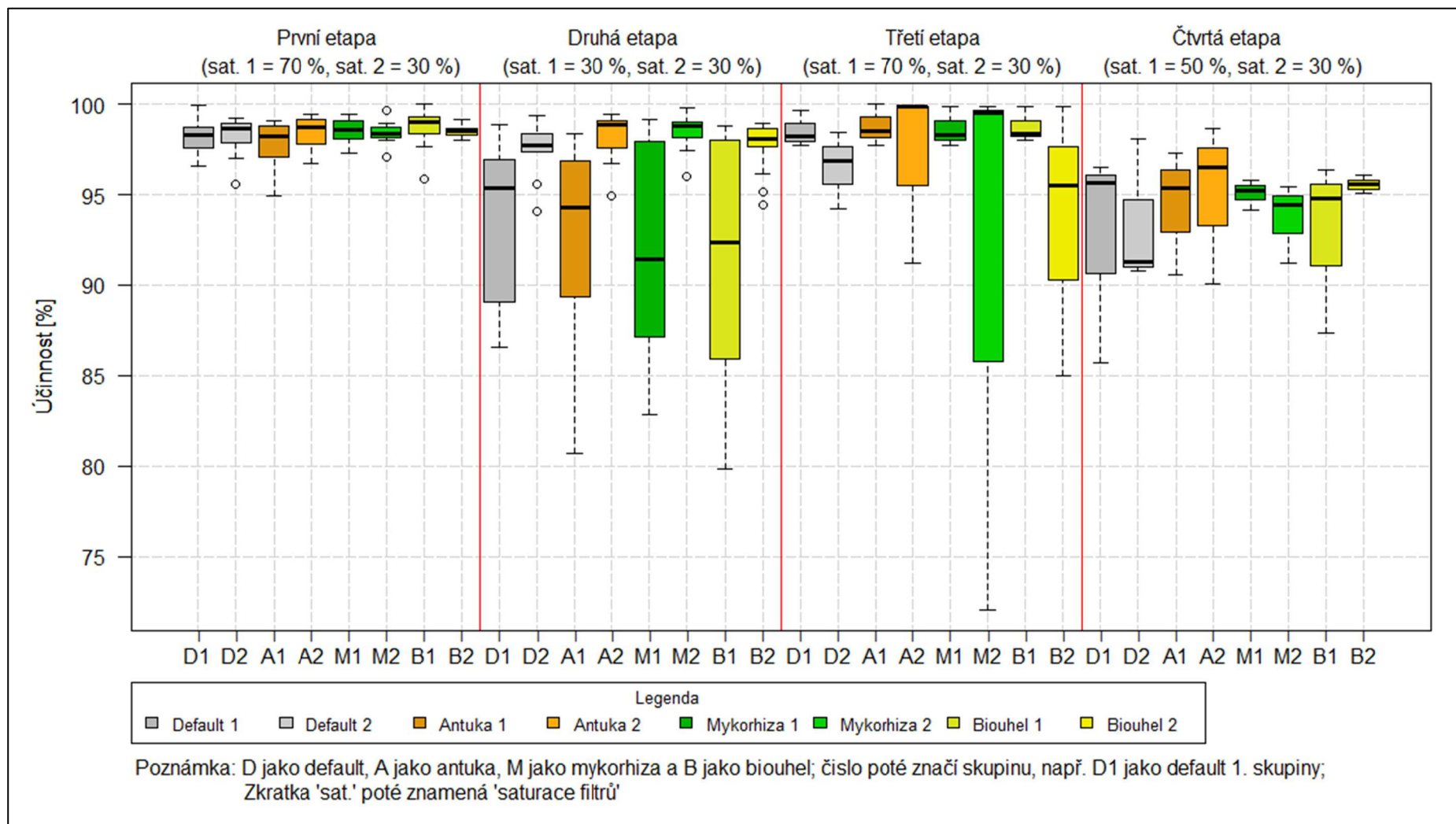
30 %) nebyly žádné signifikantní rozdíly shledány. V případě nerozlišování jednotlivých etap, resp. při vyhodnocení všech etap současně (Graf 7.29), všechny materiály také vykazovaly signifikantně nižší koncentrace dusičnanů vůči šedé vodě a všechny nalezené signifikantní rozdíly poté souhrnně zachycuje Tab. 7.29.



Graf 7.29: Přehled koncentrací dusičnanů naměřených v průběhu všech etap

V rámci hledání vlivu hydraulické zatížení filtrů na jejich účinnost při odstraňování dusičnanů všechny materiály (default, antuka, mykorhiza i biouhel) v průběhu druhé etapy (saturace filtrů 30 %) dosahovaly signifikantně nižších účinností, než v průběhu etapy první (saturace filtrů 70 %). V rámci pozorování stárnutí systému nebyly shledány žádné statisticky významné rozdíly, jak zachycuje Tab. 7.30. Grafickým znázorněním dosažených účinností v rámci etap je poté Graf 7.30.

V konečném důsledku byl prokázán signifikantní vliv hydraulického zatížení filtrů na jejich účinnost při odstraňování dusičnanů (s rostoucím hydraulickým zatížením roste účinnost čištění), protože se ukázalo, že výše zmiňovaný signifikantní vliv saturace filtrů není důsledkem stárnutí systému.



Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Šedá voda					Default 1. skupiny					Default 2. skupiny					Antuka 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Default 1. skupiny	▼	▼		▼	▼															
Default 2. skupiny	▼	▼		▼	▼		▼													
Antuka 1. skupiny	▼	▼		▼	▼							▲								
Antuka 2. skupiny	▼	▼		▼	▼		▼			▼							▼			▼
Mykorhiza 1. skupiny	▼	▼		▼	▼							▲								
Mykorhiza 2. skupiny	▼	▼		▼	▼		▼			▼							▼			▼
Biouhel 1. skupiny	▼	▼		▼	▼							▲								
Biouhel 2. skupiny	▼	▼		▼	▼		▼										▼			

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Antuka 2. skupiny					Mykorhiza 1. skupiny					Mykorhiza 2. skupiny					Biouhel 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny		▲			▲															
Mykorhiza 2. skupiny							▼													
Biouhel 1. skupiny		▲			▲							▲								
Biouhel 2. skupiny							▼										▼			

Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace Pozn.: Hladina významnosti 0,05

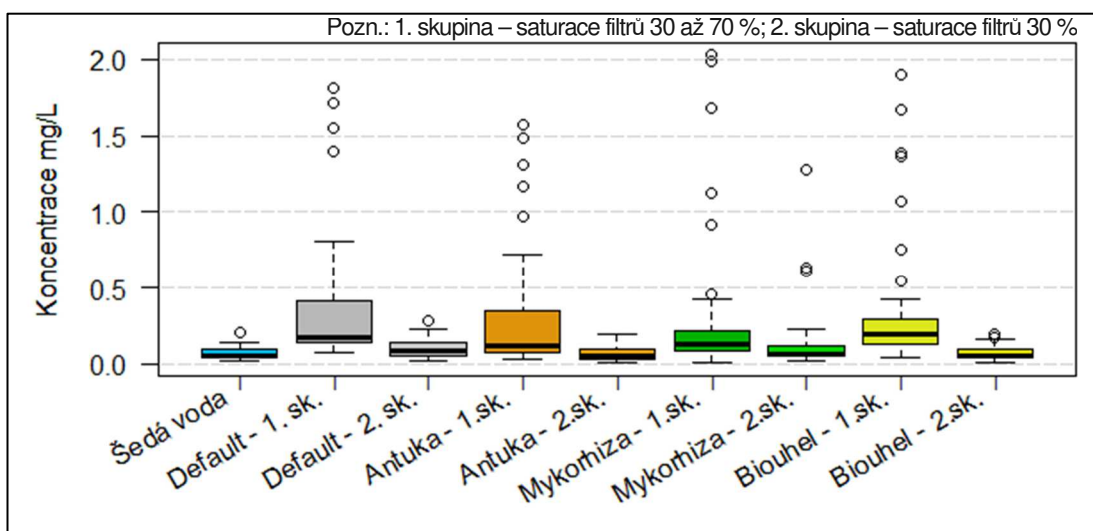
Tab. 7.29: Signifikantní rozdíly v koncentracích dusičnanů

Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda: ▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05
Etapa →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1	▼		▼			▼			▼		▼	
	2												
	3												

Tab. 7.30: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování dusičnanů (mezi etapami)

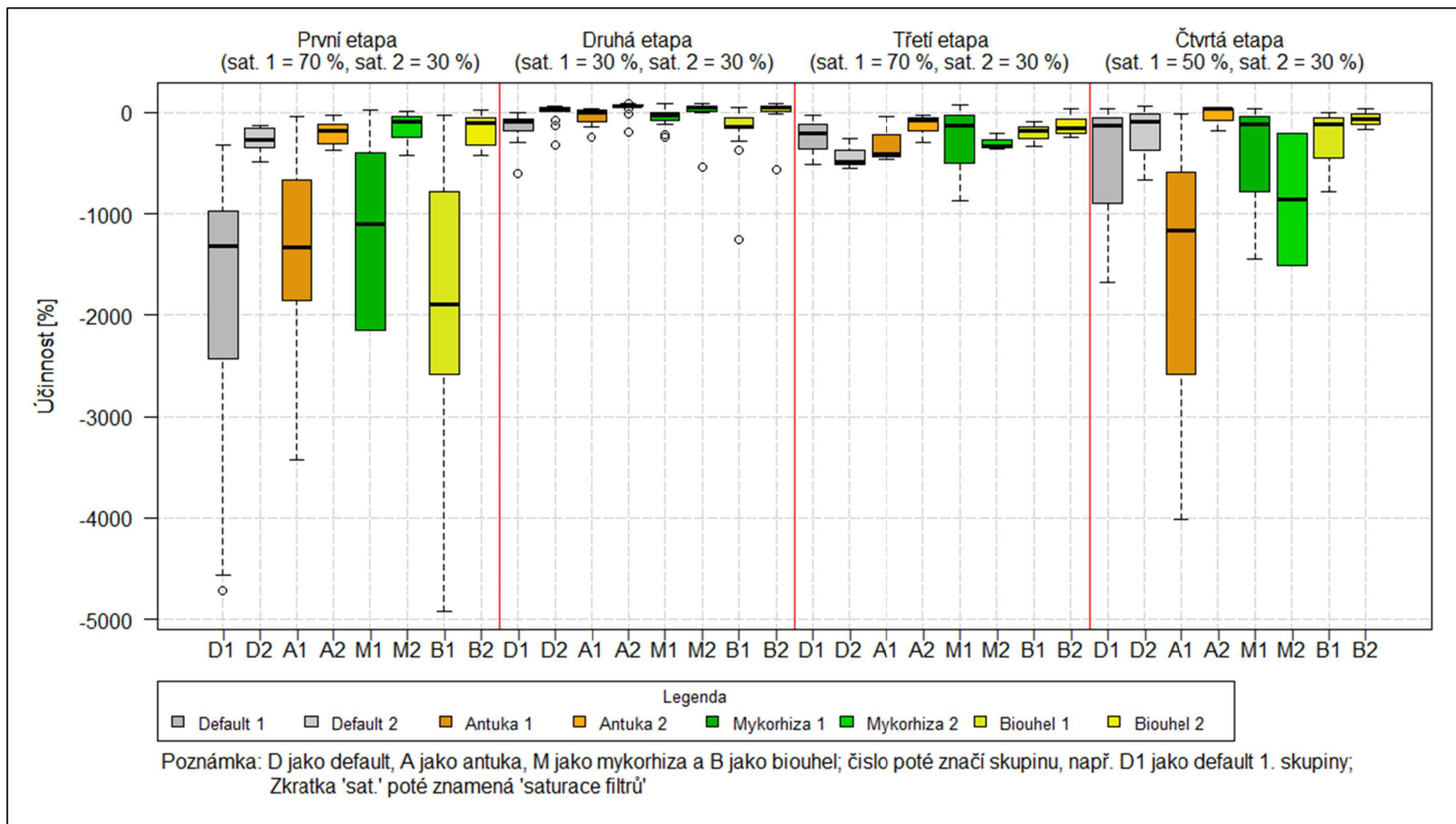
7.14 Amoniakální dusík (NH₄-N)

Průměr všech koncentrací amoniakálního dusíku naměřených v průběhu celého experimentu pro šedou vodu byl 0,07 mg/l a směrodatná odchylka činila 0,04 mg/l. Průběh naměřených koncentrací amoniakálního dusíku během experimentu pro všechny materiály 1. skupiny zachycuje Příloha 90 a pro 2. skupinu Příloha 91, přičemž průběh koncentrací obou skupin vykazoval kolísavý charakter a většinou převyšoval průměrné koncentrace amoniakálního dusíku v šedé vodě (především v 1. skupině), tzn. materiály nebyly schopny účinného snižování koncentrací amoniakálního dusíku v ošetřované šedé vodě. Pro 1. skupinu byl poté během 1. etapy (saturace filtrů 70 %) zaznamenán rostoucí trend a koncentrace na konci etapy až 28x převyšovaly koncentrace šedé vody, přičemž při snížení saturace filtrů na 30 % (druhá etapa) opět koncentrace na odtoku filtrů poklesly. Aditiva prokazatelně neovlivňovala koncentrace na odtoku filtrů v porovnání s defaultní skupinou a koncentrace amoniakálního dusíku v jednotlivých etapách zachycují příslušené krabicové grafy (Příloha 92 až Příloha 95), případně souhrnně (Graf 7.31) a signifikantní rozdíly zachycuje Tab. 7.31.



Graf 7.31: Přehled koncentrací NH₄-N naměřených v průběhu všech etap

Vliv hydraulické zátěžení filtrů či stárnutí filtrů (Tab. 7.32) nebyl vzhledem k nekonstantním koncentracím amoniakálního dusíku na odtocích filtrů prokázán a nejméně znečišťovala ošetřenou šedou vodu vůči šedé vodě neošetřené (za obě skupiny) antuka, neboť navyšoval koncentrace v ošetřené vodě vůči šedé vodě neošetřené o 366 %, následovaná mykorrhizou (o 400 %), biouhlem (o 419 %) a defaultem (o 463 %), což pro jednotlivé skupiny a etapy zachycuje Graf 7.32.



Graf 7.32: Účinnost filtrů při snižování koncentrací amoniakálního dusíku

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Šedá voda					Default 1. skupiny					Default 2. skupiny					Antuka 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Default 1. skupiny	▲	▲	▲		▲															
Default 2. skupiny	▲				▲	▼	▼	▼		▼										
Antuka 1. skupiny	▲				▲		▼	▼							▲					
Antuka 2. skupiny	▲	▼	▼			▼	▼	▼		▼		▼	▼		▼	▼	▼	▼		▼
Mykorhiza 1. skupiny	▲				▲							▲	▲							
Mykorhiza 2. skupiny		▼	▼			▼	▼	▼		▼						▼	▼	▼		▼
Biouhel 1. skupiny	▲	▲	▲		▲							▲	▲		▲		▲	▲		
Biouhel 2. skupiny		▼	▼			▼	▼	▼		▼						▼	▼	▼		▼

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Antuka 2. skupiny					Mykorhiza 1. skupiny					Mykorhiza 2. skupiny					Biouhel 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny	▲	▲	▲		▲															
Mykorhiza 2. skupiny						▼	▼	▼		▼										
Biouhel 1. skupiny	▲	▲	▲		▲		▲	▲			▲	▲	▲		▲					
Biouhel 2. skupiny						▼	▼	▼		▼						▼	▼	▼		▼

Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace Pozn.: Hladina významnosti 0,05

Tab. 7.31: Signifikantní rozdíly v koncentracích amoniakálního dusíku

Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda:	
Etapa →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4		
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1	▲↑			▲↑			▲↑			▲↑			▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace
	2		↓			↓			↓	↓				Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05
	3													

Tab. 7.32: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování amoniakálního dusíku (mezi etapami)

7.15 Fosforečnany (PO_4^{3-})

Průměr všech koncentrací fosforečnanů naměřených v průběhu celého experimentu pro šedou vodu byl $0,74 \text{ mg/l} \pm 0,71 \text{ mg/l}$. Defaulty v 1. skupině při snižování koncentrací fosforečnanů dosahovaly průměrné účinnosti $5,31 \pm 67,18 \%$ (průměrná koncentrace na odtoku filtrů $1,16 \pm 1,18 \text{ mg/l}$) a ve 2. skupině $49,71 \pm 41,63 \%$ ($0,49 \pm 0,24 \text{ mg/l}$). Průběh naměřených koncentrací bromidů ve filtrech 1. a 2. skupiny zachycuje Příloha 96, respektive Příloha 97, přičemž v průběhu první etapy se koncentrace na odtoku filtrů 1. skupiny pohybovaly nad koncentracemi v šedé vodě a v následujících etapách se již průměrné koncentrace v ošetřené vodě pohybovaly v blízkostech, případně pod, koncentracemi v šedé vodě. Průběh koncentrací 2. skupiny nesl obdobný charakter jako u 1. skupiny, vyjma první etapy, kdy maximální koncentrace na odtoku filtrů dosahovaly 4x menších hodnot, než v případě 1. skupiny. Vysoké hodnoty směrodatných odchylek u koncentrací a dosažených účinností filtrů jsou poté důsledkem vysoké variability koncentrací na vstupu i odtoku z filtrů.

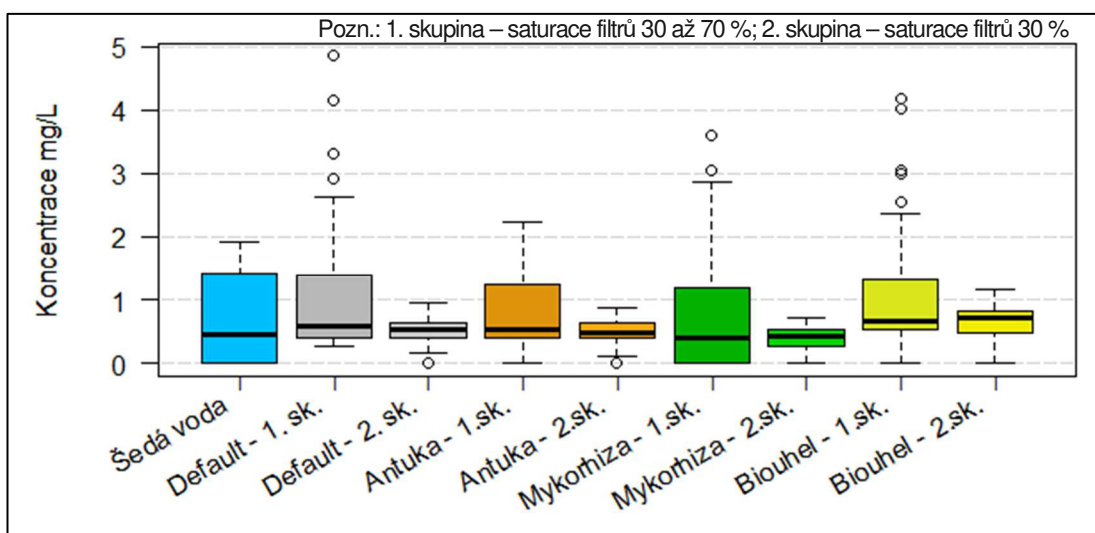
Přísada antuky prokazatelně neovlivňovala účinnost filtrů při odstraňování fosforečnanů, neboť v 1. skupině antuka oproti příslušnému defaultu dosahovala o 19,99 % vyšší účinnosti, zatímco ve 2. skupině o -3,74 % nižší účinnosti vzhledem k příslušnému defaultu. Statisticky významný vliv antuky na účinnost filtrů tedy prokázán nebyl. Naměřená průměrná koncentrace fosforečnanů na odtoku filtrů s obsahem antuky byla pro 1. skupinu $0,77 \pm 0,65 \text{ mg/l}$ (průměrná účinnost $25,30 \pm 56,54 \%$) a skupinu 2. $0,49 \pm 0,22 \text{ mg/l}$ (průměrná účinnost $45,97 \pm 38,94 \%$).

Přísada mykorhizy poté pro obě skupiny přispěla ke zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování fosforečnanů, neboť filtry s obsahem mykorhizy v 1. skupině dosahovaly oproti příslušnému defaultu o 27,77 % vyšší účinnosti a ve 2. skupině o 14,24 % vyšší účinnosti. Statisticky významný vliv aditiva mykorhizy na účinnost filtrů však prokázán nebyl. Naměřená průměrná koncentrace fosforečnanů na odtoku filtrů s obsahem mykorhizy byla pro 1. skupinu $0,78 \pm 1,00 \text{ mg/l}$ (průměrná účinnost $33,08 \pm 66,38 \%$) a skupinu 2. $0,37 \pm 0,22 \text{ mg/l}$ (průměrná účinnost $63,95 \pm 33,59 \%$).

Přísada biouhlu poté nepřispěla ke zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování fosforečnanů, neboť účinnost filtrů s obsahem biouhlu 1. skupiny byla v porovnání s příslušným defaultem o -5,44 % nižší a ve 2. skupině o -23,55 % nižší. Ani pro biouhel nebyl prokázán jeho statisticky významný vliv na účinnost filtrů. Naměřená průměrná koncentrace fosforečnanů na odtoku filtrů s obsahem biouhlu

byla pro 1. skupinu $1,10 \pm 1,07$ mg/l (průměrná účinnost $-0,13 \pm 70,99$ %) a skupinu 2. $0,64 \pm 0,28$ mg/l (průměrná účinnost $26,16 \pm 57,18$ %).

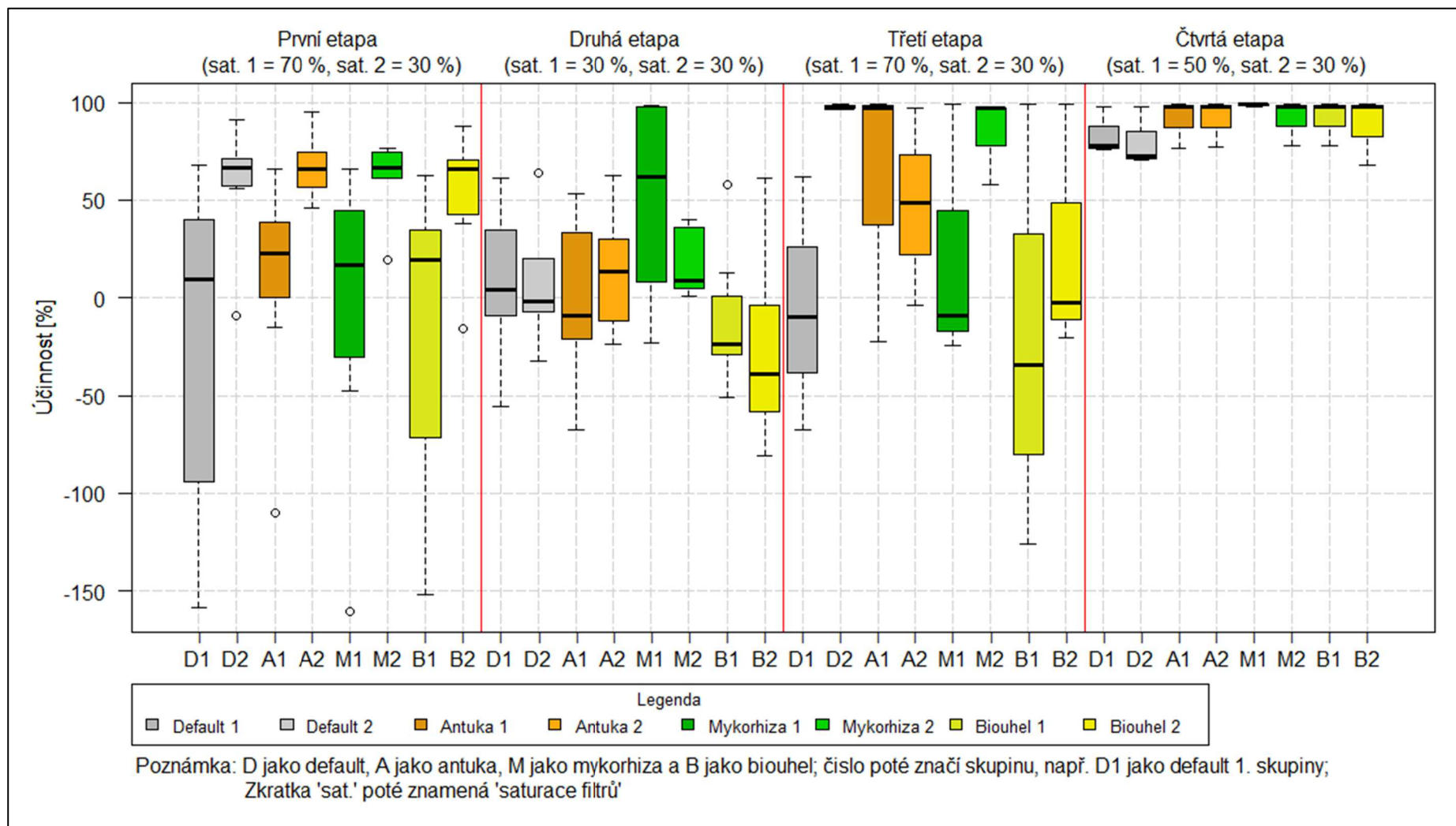
Koncentrace fosforečnanů v jednotlivých etapách zachycují příslušené krabicové grafy (Příloha 98 až Příloha 101), přičemž v průběhu první etapy (saturace filtrů pro 1. skupinu 70 %, pro 2. skupinu 30 %) vykazovala mykorhiza 2. skupiny signifikantně nižší a biouhel 1. skupiny signifikantně vyšší koncentrace vůči šedé vodě. V průběhu druhé etapy (saturace filtrů pro obě skupiny 30 %) vykazoval default a biouhel obou skupin signifikantně vyšší koncentrace vůči šedé vodě, zatímco v průběhu třetí a čtvrté etapy (saturace filtrů 1. skupiny 70, respektive 50 % a 2. skupiny konstantních 30 %) nebyly žádné signifikantní rozdíly shledány. Při vyhodnocení všech etap současně (Graf 7.33), žádný z materiálů nevykazoval signifikantní rozdíl vůči šedé vodě, jak souhrnně zachycuje Tab. 7.33.



Graf 7.33: Přehled koncentrací fosforečnanů naměřených v průběhu všech etap

V rámci hledání vlivu hydraulické zátížení filtrů na jejich účinnost při odstraňování fosforečnanů, ani v rámci pozorování stárnutí systému nebyly shledány žádné statisticky významné rozdíly, jak zachycuje Tab. 7.34. Grafickým znázorněním dosažených účinností v rámci etap je poté Graf 7.34.

V konečném důsledku se ukázalo, že hydraulické zatížení filtrů či stárnutí filtrů, nemá prokazatelný vliv na jejich účinnost při snižování koncentrací fosforečnanů a nejvyšší celkové průměrné účinnosti (za obě skupiny) dosahovala mykorhiza ($44,46 \pm 55,04$ %), následovaná antukou ($36,24 \pm 50,12$ %), defaultem ($27,51 \pm 60,13$ %) a biouhlem ($13,01 \pm 65,78$ %).



Graf 7.34: Účinnost filtrů při snižování koncentrací fosforečnanů

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Šedá voda					Default 1. skupiny					Default 2. skupiny					Antuka 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Default 1. skupiny		▲																		
Default 2. skupiny		▲				▼														
Antuka 1. skupiny											▲									
Antuka 2. skupiny						▼										▼				
Mykorhiza 1. skupiny							▼				▲	▼					▼			
Mykorhiza 2. skupiny	▼					▼				▼						▼				
Biouhel 1. skupiny	▲	▲									▲						▲			
Biouhel 2. skupiny		▲				▼	▲					▲				▼	▲			

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Antuka 2. skupiny					Mykorhiza 1. skupiny					Mykorhiza 2. skupiny					Biouhel 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny	▲	▼																		
Mykorhiza 2. skupiny						▼														
Biouhel 1. skupiny	▲						▲			▲	▲	▲	▲		▲					
Biouhel 2. skupiny		▲				▼	▲					▲			▲	▲	▼			

Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace Pozn.: Hladina významnosti 0,05

Tab. 7.33: Signifikantní rozdíly v koncentracích fosforečnanů

Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda: ▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05
Etapa →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1												
	2												
	3												

Tab. 7.34: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování fosforečnanů (mezi etapami)

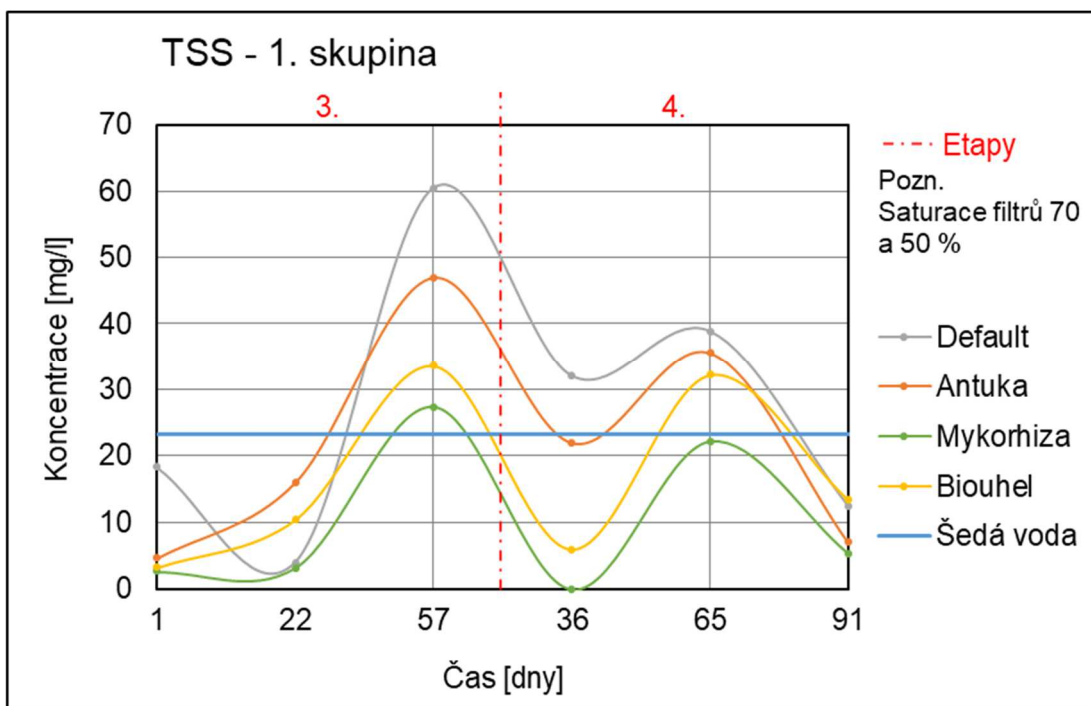
7.16 Celkové nerozpuštěné látky (TSS)

Průměr všech koncentrací TSS naměřených v průběhu celého experimentu pro šedou vodu byl 23,3 mg/l a směrodatná odchylka činila 7,2 mg/l. Kontrolní skupiny filtrů (tzv. defaulty) v 1. skupině při snižování koncentrací TSS dosahovaly průměrné účinnosti $-10,96 \pm 53,82 \%$ (průměrná koncentrace na odtoku filtrů $27,6 \pm 18,7$ mg/l) a ve 2. skupině $25,20 \pm 38,54 \%$ ($19,6 \pm 15,0$ mg/l). Kolísavý průběh naměřených koncentrací TSS během experimentu poté pro všechny materiály 1. a 2. skupiny zachycují Graf 7.35 a Graf 7.36.

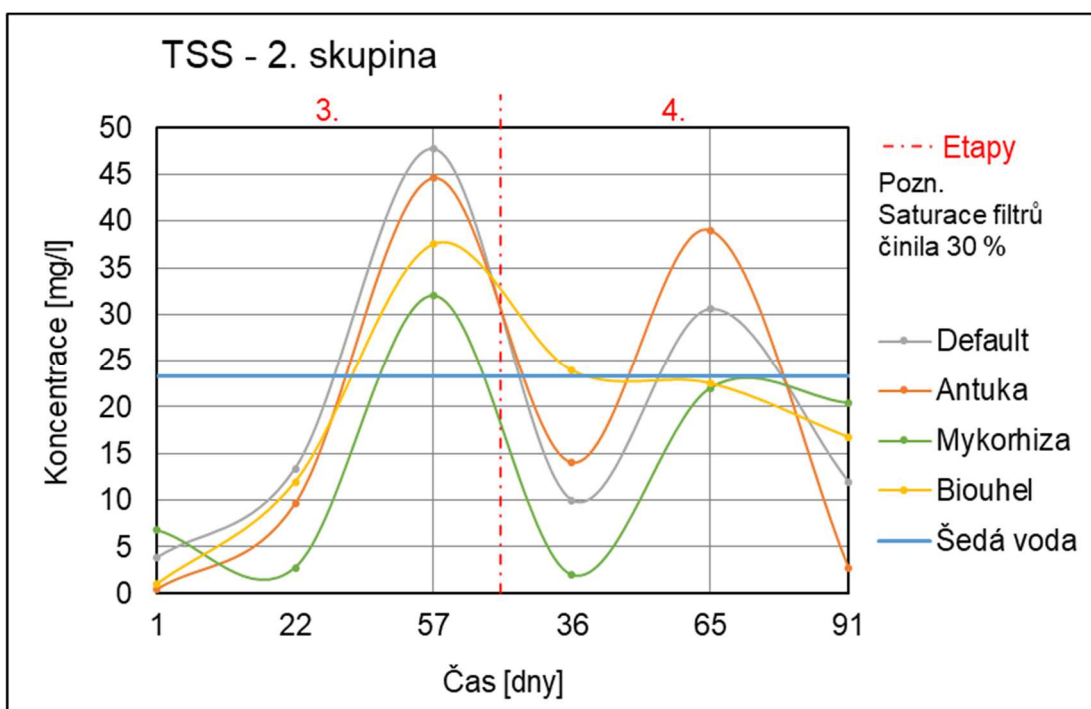
Přísada antuky přispěla ke zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování TSS, neboť filtry s obsahem antuky v 1. skupině dosahovaly oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 24,22 % vyšší účinnosti a ve 2. skupině o 6,79 % vyšší účinnosti ve srovnání s defaultní skupinou. Statisticky prokazatelný vliv antuky na účinnost filtrů však prokázán nebyl. Naměřená průměrná koncentrace TSS na odtoku filtrů s obsahem antuky byla pro 1. skupinu $22,0 \pm 15,1$ mg/l (průměrná účinnost $13,26 \pm 43,00 \%$) a skupinu 2. $18,4 \pm 17,2$ mg/l (průměrná účinnost $31,99 \pm 54,87 \%$).

Rovněž přísada mykorhizy přispěla ke zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování TSS, neboť filtry s obsahem mykorhizy v 1. skupině dosahovaly oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 74,05 % vyšší účinnosti a ve 2. skupině pak o 19,39 % vyšší účinnosti. Ani v tomto případě ale nebyl statisticky prokázán vliv mykorhizy na účinnost filtrů. Naměřená průměrná koncentrace TSS na odtoku filtrů s obsahem mykorhizy byla pro 1. skupinu $10,1 \pm 10,6$ mg/l (průměrná účinnost $63,09 \pm 32,43 \%$) a skupinu 2. $14,3 \pm 11,2$ mg/l (průměrná účinnost $44,59 \pm 33,40 \%$).

Také přísada biouhlu přispěla ke zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování TSS, avšak ani pro biouhel nebyl statisticky prokázán jeho vliv na účinnost čištění. Filtry s obsahem biouhlu v 1. skupině dosahovaly oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 47,02 % vyšší účinnost a ve 2. skupině pouze o 0,53 % vyšší účinnost. Naměřená průměrná koncentrace TSS na odtoku filtrů s obsahem biouhlu byla pro 1. skupinu $16,5 \pm 12,1$ mg/l (průměrná účinnost $36,06 \pm 36,63 \%$) a skupinu 2. $19,0 \pm 11,3$ mg/l (průměrná účinnost $25,73 \pm 33,59 \%$).

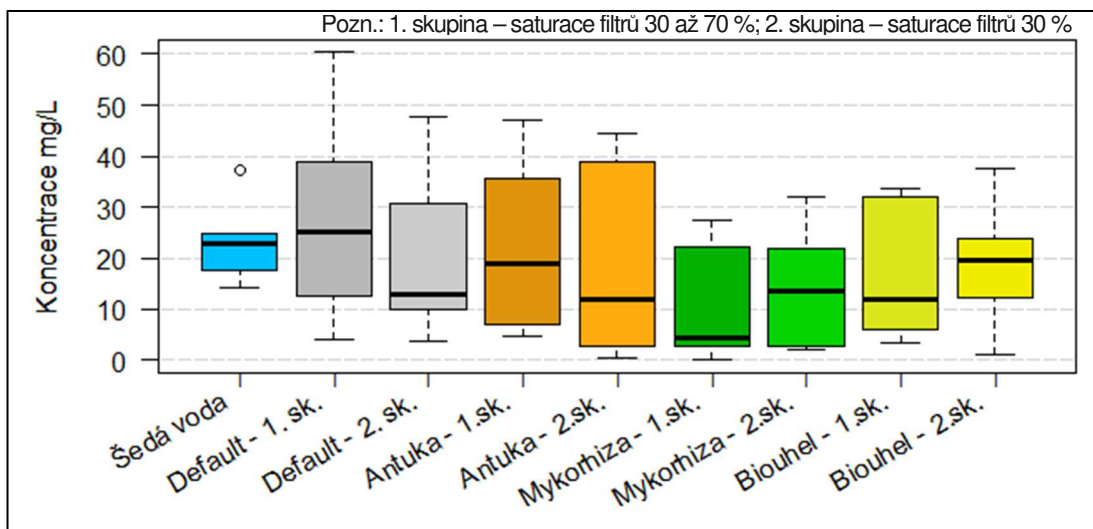


Graf 7.35: Průběh koncentrací TSS (1. skupina)



Graf 7.36: Průběh koncentrací TSS (2. skupina)

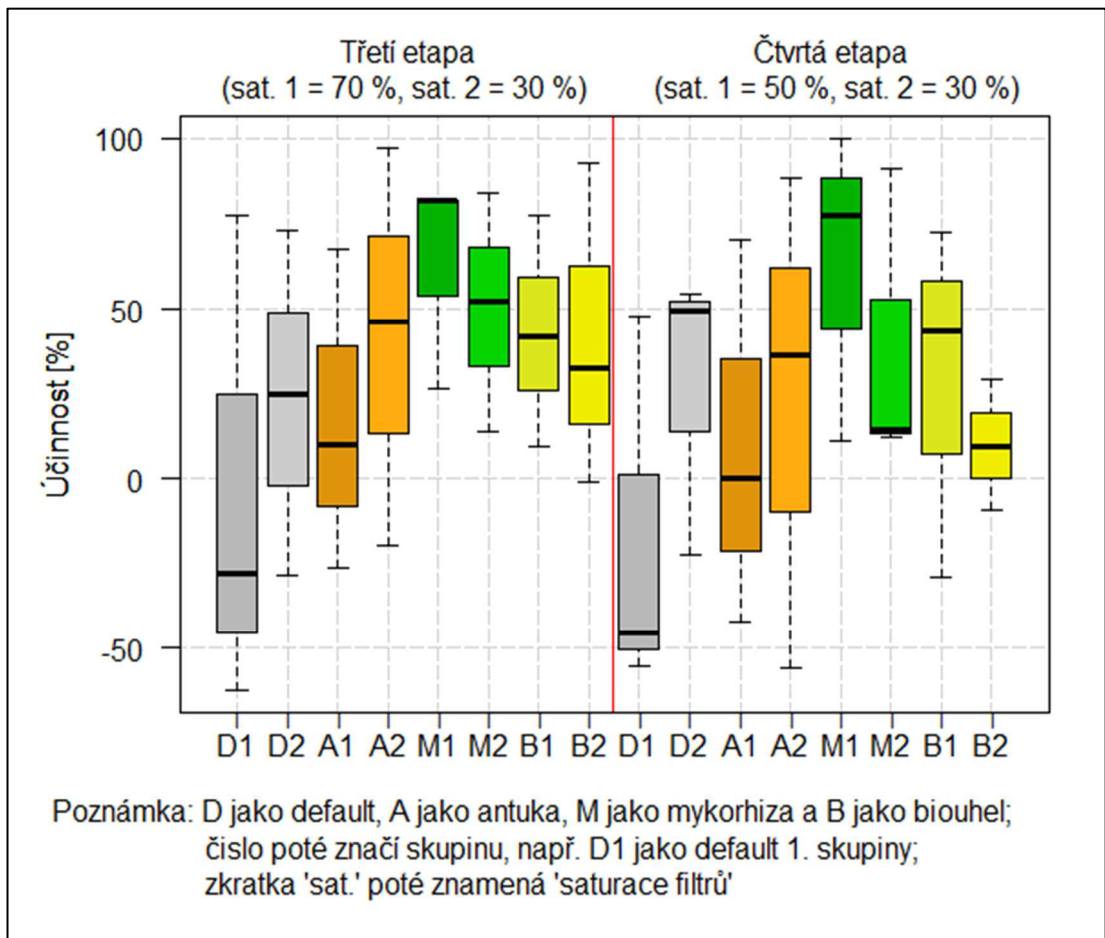
Pro celkové nerozpuštěné látky nebyly shledány žádné statisticky významné rozdíly mezi skupinami filtrů ani vůči šedé vodě (viz Tab. 7.35). Koncentrace TSS v jednotlivých etapách poté zachycují příslušené krabicové grafy (Příloha 102 a Příloha 103), případně Graf 7.37 zachycuje všechny etapy současně.



Graf 7.37: Přehled koncentrací TSS naměřených v průběhu všech etap

V rámci hledání vlivu hydraulické zatížení filtrů na jejich účinnost při odstraňování TSS, ani v rámci pozorování stárnutí systému, nebyly shledány žádné statisticky významné rozdíly, jak zachycuje Tab. 7.36. Grafickým znázorněním dosažených účinností v rámci etap je poté Graf 7.38.

V konečném důsledku se ukázalo, že hydraulické zatížení filtrů či stárnutí filtrů, nemá prokazatelný vliv na jejich účinnost při snižování koncentrací TSS a nejvyšší celkové průměrné účinnosti (za obě skupiny) dosahovala mykorhiza ($63,09 \pm 32,43$ %), následovaná biouhlem ($30,89 \pm 35,52$ %), antukou ($13,26 \pm 43$ %) a defaultem ($-10,96 \pm 53,82$ %).



Graf 7.38: Účinnost filtrů při snižování koncentrací TSS

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl											
	Šedá voda			Default 1. skupiny			Default 2. skupiny			Antuka 1. skupiny		
Etapa →	3	4	Vše	3	4	Vše	3	4	Vše	3	4	Vše
Default 1. skupiny												
Default 2. skupiny												
Antuka 1. skupiny												
Antuka 2. skupiny												
Mykorhiza 1. skupiny												
Mykorhiza 2. skupiny												
Biouhel 1. skupiny												
Biouhel 2. skupiny												
Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl											
	Antuka 2. skupiny			Mykorhiza 1. skupiny			Mykorhiza 2. skupiny			Biouhel 1. skupiny		
Etapa →	3	4	Vše	3	4	Vše	3	4	Vše	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny												
Mykorhiza 2. skupiny												
Biouhel 1. skupiny												
Biouhel 2. skupiny												
Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace										Pozn.: Hladina významnosti 0,05		

Tab. 7.35: Signifikantní rozdíly v koncentracích TSS

Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda:
	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
Etapa →													▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1												Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05
	2												
	3												

Tab. 7.36: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování TSS (mezi etapami)

7.17 Zákal

Průměr všech hodnot zákalu naměřených v průběhu celého experimentu (resp. v průběhu druhé, třetí a čtvrté etapy) pro šedou vodu dosahoval hodnoty 32,84 NTU a směrodatná odchylka činila 15,51 NTU. Kontrolní skupiny filtrů (tzv. defaulty) v 1. skupině při snižování koncentrací zákalu dosahovaly průměrné účinnosti $87,72 \pm 8,45 \%$ (průměrná hodnota na odtoku filtrů $3,28 \pm 1,72$ NTU) a ve 2. skupině $69,76 \pm 18,41 \%$ ($9,75 \pm 5,82$ NTU). Relativně konstantní průběh naměřených hodnot zákalu během experimentu poté pro všechny materiály 1. a 2. skupiny zachycují Příloha 104 a Příloha 105, přičemž obě skupiny vykazovaly pro všechny filtry nižší průměrné hodnoty zákalu ve všech etapách oproti šedé vodě.

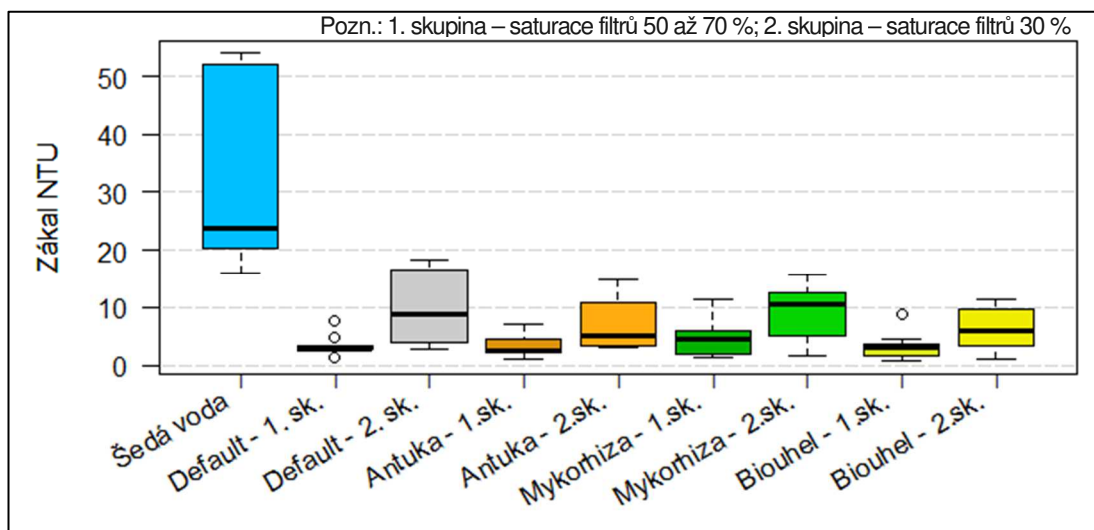
Přísada antuky významně neovlivnila účinnost filtrů při odstraňování zákalu, neboť filtry s obsahem antuky v 1. skupině vykazovaly o $-0,67 \%$ nižší účinnost vzhledem k příslušnému defaultu. Ve 2. skupině poté antuka vykazovala o $9,59 \%$ vyšší účinnost v porovnání s příslušným defaultem. Naměřená průměrná hodnota zákalu na odtoku filtrů s obsahem antuky byla pro 1. skupinu $3,37 \pm 1,89$ NTU (průměrná účinnost $87,05 \pm 9,49 \%$) a skupinu 2. $6,94 \pm 4,02$ NTU (průměrná účinnost $79,35 \pm 5,42 \%$).

Ani přísada mykorhizy významně neovlivnila účinnost filtrů při odstraňování zákalu, neboť filtry s obsahem mykorhizy v 1. skupině dosahovaly o $-6,28 \%$ nižší účinnosti při porovnání s příslušným defaultem a ve 2. skupině filtrů o $0,46 \%$ vyšší účinnosti. Naměřená průměrná hodnota zákalu na odtoku z filtrů s obsahem mykorhizy byla pro 1. skupinu $4,72 \pm 2,81$ NTU (průměrná účinnost $81,44 \pm 18,84 \%$) a skupinu 2. $9,37 \pm 4,70$ NTU (průměrná účinnost $70,22 \pm 13,35 \%$).

Také přísada biouhlu významně neovlivnila účinnost filtrů při odstraňování zákalu, neboť filtry s obsahem biouhlu v 1. skupině dosahovaly o $-0,30 \%$ nižší účinnosti při porovnání s příslušným defaultem a ve 2. skupině o $10,16 \%$ vyšší účinnosti. Naměřená průměrná hodnota zákalu na odtoku filtrů s obsahem biouhlu byla pro 1. skupinu $3,25 \pm 2,17$ NTU (průměrná účinnost $87,42 \pm 10,27 \%$) a skupinu 2. $6,34 \pm 3,52$ NTU (průměrná účinnost $79,92 \pm 10,97 \%$).

Hodnoty zákalu v jednotlivých etapách zachycují příslušené krabicové grafy (Příloha 106 až Příloha 108), přičemž v průběhu druhé a třetí etapy (saturace filtrů pro 1. skupinu 30, respektive 70 %, pro 2. skupinu konstantních 30 %) signifikantně nižší koncentrace vůči šedé vodě vykazovaly všechny materiály, zatímco v průběhu čtvrté etapy (saturace filtrů pro 1. skupinu 50 %, pro 2. skupinu 30 %) statisticky významný rozdíl nevykazoval žádný materiál. V případě nerozlišování jednotlivých

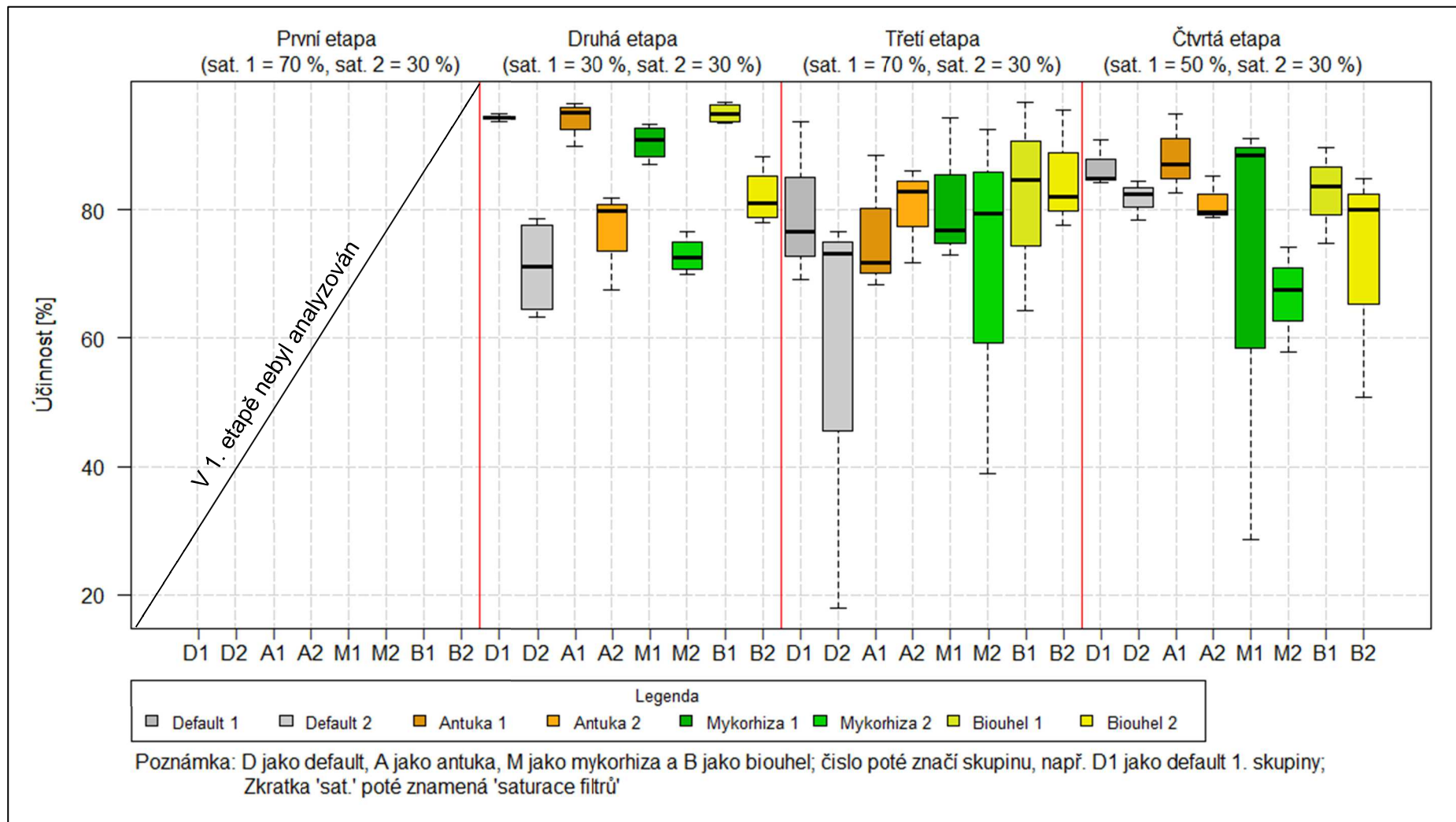
etap, resp. při vyhodnocení všech etap současně (Graf 7.39), všechny materiály, vyjma defaultu či mykorhizy 2. skupiny, vykazovaly signifikantně nižší hodnoty zákalu vůči šedé vodě a všechny nalezené signifikantní rozdíly poté souhrnně zachycuje Tab. 7.37.



Graf 7.39: Přehled hodnot zákalu naměřených v průběhu 2., 3. a 4. etapy

V rámci hledání vlivu hydraulické zatížení filtrů na jejich účinnost při snižování zákalu, ani v rámci pozorování stárnutí systému, nebyly shledány žádné statisticky významné rozdíly, jak zachycuje Tab. 7.38. Grafickým znázorněním dosažených účinností v rámci etap je poté Graf 7.40.

V konečném důsledku se ukázalo, že hydraulické zatížení filtrů či stárnutí filtrů, nemá prokazatelný vliv na jejich účinnost při snižování hodnot zákalu a nejvyšší celkové průměrné účinnosti (za obě skupiny) dosahoval biouhel ($83,67 \pm 11,27$ %), následovaný antukou ($83,20 \pm 8,64$ %), defaultem ($78,74 \pm 16,91$ %) a mykorhizou ($75,83 \pm 17,27$ %).



Graf 7.40: Účinnost filtrů při snižování hodnot zákalu

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl															
	Šedá voda				Default 1. skupiny				Default 2. skupiny				Antuka 1. skupiny			
Etapa →	2	3	4	Vše	2	3	4	Vše	2	3	4	Vše	2	3	4	Vše
Default 1. skupiny	▼	▼		▼												
Default 2. skupiny	▼	▼			▲			▲								
Antuka 1. skupiny	▼	▼		▼					▼			▼				
Antuka 2. skupiny	▼	▼		▼	▲								▲			
Mykorhiza 1. skupiny	▼	▼		▼					▼							
Mykorhiza 2. skupiny	▼	▼			▲			▲					▲			▲
Biouhel 1. skupiny	▼	▼		▼					▼			▼				
Biouhel 2. skupiny	▼	▼		▼	▲				▼				▲			

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl															
	Antuka 2. skupiny				Mykorhiza 1. skupiny				Mykorhiza 2. skupiny				Biouhel 1. skupiny			
Etapa →	2	3	4	Vše	2	3	4	Vše	2	3	4	Vše	2	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny	▼															
Mykorhiza 2. skupiny					▲											
Biouhel 1. skupiny	▼								▼			▼				
Biouhel 2. skupiny																

Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace Pozn.: Hladina významnosti 0,05

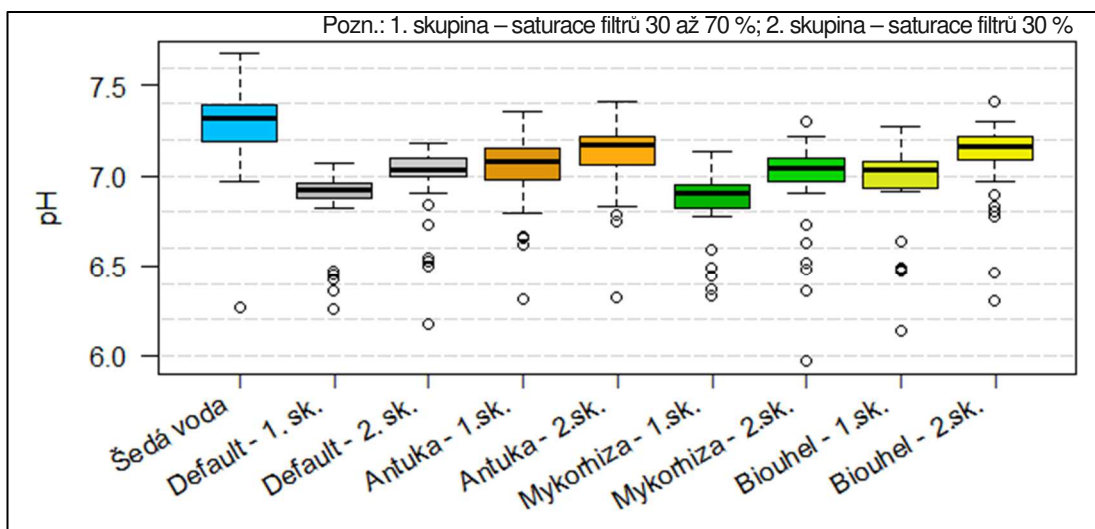
Tab. 7.37: Signifikantní rozdíly v hodnotách zákalu

Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda: ▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05
Etapa →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1												
	2												
	3												

Tab. 7.38: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování zákalu (mezi etapami)

7.18 pH

Průměrná hodnota pH neošetřené šedé vody činila $7,3 \pm 0,2$; přičemž obě skupiny vykazovaly nižší průměrné hodnoty pH. Průměrná hodnota pH v 1. skupině pro default činila $6,9 \pm 0,2$; antuku $7,0 \pm 0,2$; mykorhizu $6,9 \pm 0,2$ a biouhel $7,0 \pm 0,2$. Ve 2. skupině filtrů materiály vykazovaly obdobné průměrné hodnoty pH, konkrétně $7,0 \pm 0,2$ pro default, $7,1 \pm 0,2$ pro antuku, $7,0 \pm 0,3$ pro mykorhizu a $7,1 \pm 0,2$ pro biouhel. Průběh hodnot pH během experimentu pro 1. skupinu zachycuje Příloha 109 a pro 2. skupinu Příloha 110. Hodnoty pH v jednotlivých etapách zachycují příslušené krabicové grafy (Příloha 111 až Příloha 114) a průběh pH hodnot zachycuje Graf 7.41. Signifikantní rozdíly mezi skupinami filtrů a vůči šedé vodě poté souhrnně zachycuje Tab. 7.39.



Graf 7.41: Přehled pH hodnot naměřených v průběhu všech etap

Z Tab. 7.40 vyplývá, že hydraulické zatížení filtrů či stárnutí filtrů, nemá prokazatelný vliv na ovlivňování pH hodnot a nejvíce (průměrně za obě skupiny) hodnoty pH snižovala mykorhiza (o $4,91 \pm 2,47$ %), následovaná defaultem (o $4,75 \pm 2,40$ %), biouhlem (o $3,30 \pm 2,53$ %) a antukou (o $2,62 \pm 2,29$ %).

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Šedá voda					Default 1. skupiny					Default 2. skupiny					Antuka 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Default 1. skupiny	▼	▼			▼															
Default 2. skupiny	▼	▼			▼	▲				▲										
Antuka 1. skupiny	▼	▼			▼		▲			▲		▲								
Antuka 2. skupiny	▼				▼	▲	▲			▲		▲			▲					
Mykorhiza 1. skupiny	▼	▼			▼						▼	▼			▼		▼			▼
Mykorhiza 2. skupiny	▼	▼			▼	▲	▲			▲										
Biouhel 1. skupiny	▼	▼			▼		▲			▲										
Biouhel 2. skupiny	▼				▼	▲	▲			▲		▲			▲	▲				

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Antuka 2. skupiny					Mykorhiza 1. skupiny					Mykorhiza 2. skupiny					Biouhel 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny	▼	▼			▼															
Mykorhiza 2. skupiny		▼			▼	▲	▲			▲										
Biouhel 1. skupiny	▼	▼			▼		▲			▲										
Biouhel 2. skupiny						▲	▲			▲		▲			▲	▲	▲	▲		▲

Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace Pozn.: Hladina významnosti 0,05

Tab. 7.39: Signifikantní rozdíly v hodnotách pH

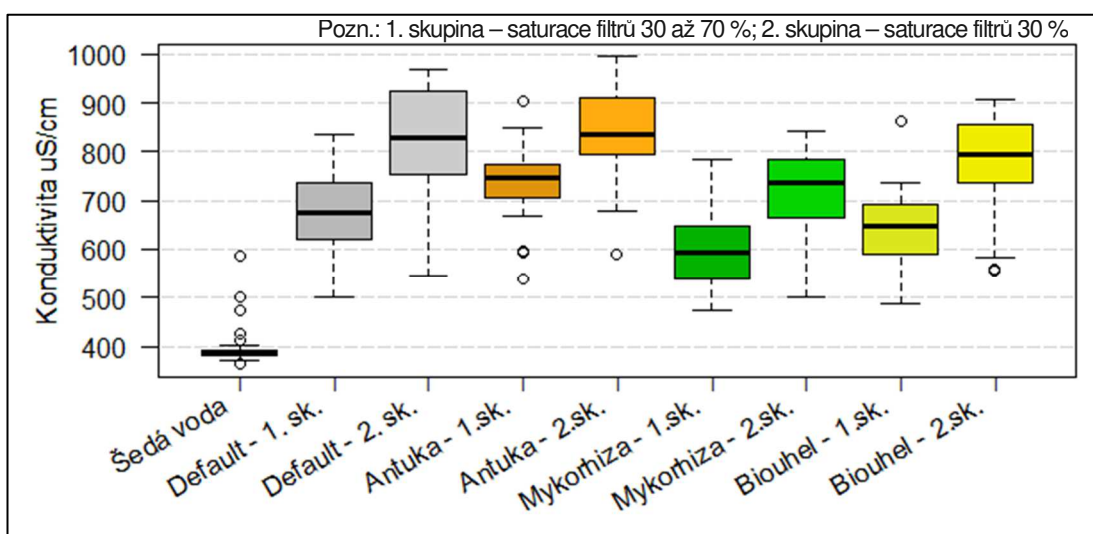
Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda: ▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05
Etapa →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1			▼									
	2												
	3												

Tab. 7.40: Signifikantní rozdíly účinností při snižování hodnot pH (mezi etapami)

7.19 Konduktivita

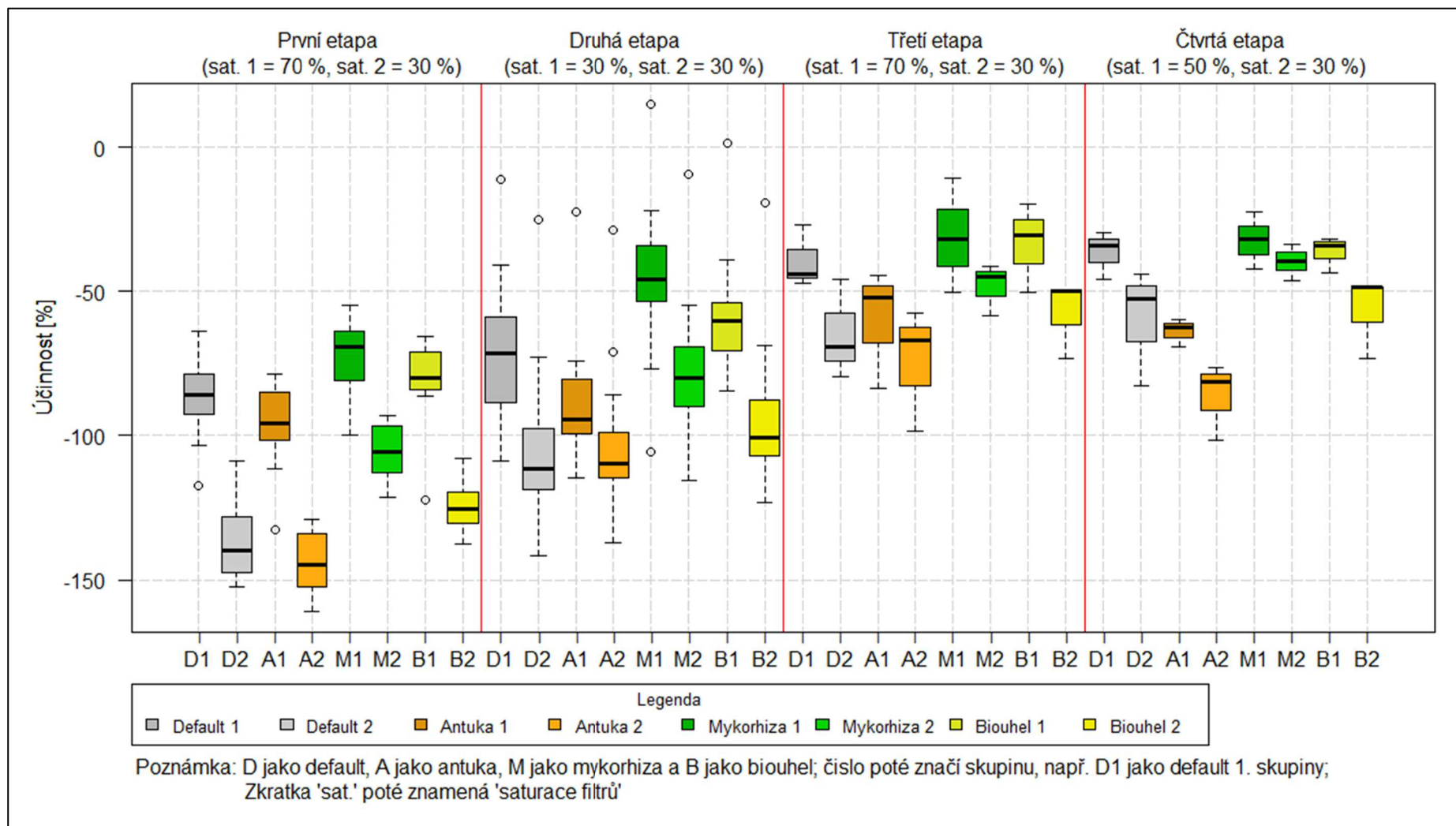
Průměrná hodnota konduktivity v neošetřené šedé vodě činila 397 ± 40 uS/cm, přičemž obě skupiny vykazovaly vyšší průměrné hodnoty konduktivity. Průměrná hodnota konduktivity v 1. skupině pro default činila 670 ± 84 uS/cm; antuku 738 ± 70 uS/cm; mykorhizu 599 ± 78 uS/cm a biouhel 638 ± 76 uS/cm, přičemž 2. skupina vykazoval mírně vyšší průměrné hodnoty, konkrétně 823 ± 114 ; 842 ± 93 ; 714 ± 91 ; respektive 779 ± 94 uS/cm. Pro obě skupiny je poté během třetí a čtvrté etapy pozorovatelný klesající trend konduktivity především pro biouhel a mykorhizu. Průběh hodnot konduktivity během experimentu pro 1. skupinu zachycuje Příloha 115 a pro 2. skupinu Příloha 116.

Hodnoty konduktivity v jednotlivých etapách zachycují příslušené krabicové grafy (Příloha 117 až Příloha 120), přičemž v průběhu první či druhé etapy (saturace filtrů pro 1. skupinu 70, respektive 30 %, pro 2. skupinu konstantních 30 %) vykazovaly všechny materiály, vyjma mykorhizy 1. skupiny, signifikantně vyšší hodnoty konduktivity vůči šedé vodě. V průběhu třetí etapy (saturace filtrů pro 1. skupinu 70 %, pro 2. skupinu 30 %) signifikantně vyšší hodnotu konduktivity vůči šedé vodě vykazovala pouze antuka 2. skupina a v průběhu čtvrté etapy (saturace filtrů 1. skupiny 50 %, 2. skupiny 30 %) či při vyhodnocení všech etap současně (Graf 7.42) již všechny materiály vykazovaly signifikantně vyšší hodnoty konduktivity vůči šedé vodě. Všechny nalezené signifikantní rozdíly poté souhrnně zachycuje Tab. 7.41.



Graf 7.42: Přehled hodnot konduktivity naměřených v průběhu všech etap

Z Tab. 7.42. vyplývá, že hydraulické zatížení filtrů nemá prokazatelný vliv na snižování hodnot konduktivity, neboť shledané signifikantní rozdíly byly pravděpodobně důsledkem stárnutí systému, resp. postupného vyplavování polutantů z filtrů, jako jsou chloridy, dusičnany, sulfáty, fosforečnany a další, případně důsledkem postupného zvyšování účinnosti filtrů při odstraňování těchto mikropolutantů ovlivňujících konduktivitu ošetřené šedé vody. Přesto všechny materiály zvyšovaly konduktivitu ošetřené šedé vody vůči šedé vodě na vstupu do filtrů a nejméně ji (za obě skupiny) navyšovala mykorhiza (o $66,42 \pm 29,84$ %), následovaná biouhlem (o $79,61 \pm 31,99$ %), defaultem (o $89,12 \pm 35,53$ %) a antukou (o $100,12 \pm 29,47$ %), což pro jednotlivé skupiny a materiály zachycuje Graf 7.43.



Graf 7.43: Účinnost filtrů při snižování hodnot konduktivity

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Šedá voda					Default 1. skupiny					Default 2. skupiny					Antuka 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Default 1. skupiny	▲	▲		▲	▲															
Default 2. skupiny	▲	▲		▲	▲	▲	▲			▲										
Antuka 1. skupiny	▲	▲		▲	▲				▲	▲	▼				▼					
Antuka 2. skupiny	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲		▲	▲				▲		▲				▲
Mykorhiza 1. skupiny				▲	▲						▼	▼		▼	▼		▼		▼	▼
Mykorhiza 2. skupiny	▲	▲		▲	▲							▼			▼					▼
Biouhel 1. skupiny	▲	▲		▲	▲						▼	▼			▼		▼		▼	▼
Biouhel 2. skupiny	▲	▲		▲	▲	▲	▲			▲										

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Antuka 2. skupiny					Mykorhiza 1. skupiny					Mykorhiza 2. skupiny					Biouhel 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny	▼	▼		▼	▼															
Mykorhiza 2. skupiny	▼	▼		▼	▼	▲	▲			▲										
Biouhel 1. skupiny	▼	▼		▼	▼										▼					
Biouhel 2. skupiny				▼		▲	▲		▲	▲						▲	▲			▲

Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace Pozn.: Hladina významnosti 0.05

Tab. 7.41: Signifikantní rozdíly v hodnotách konduktivity

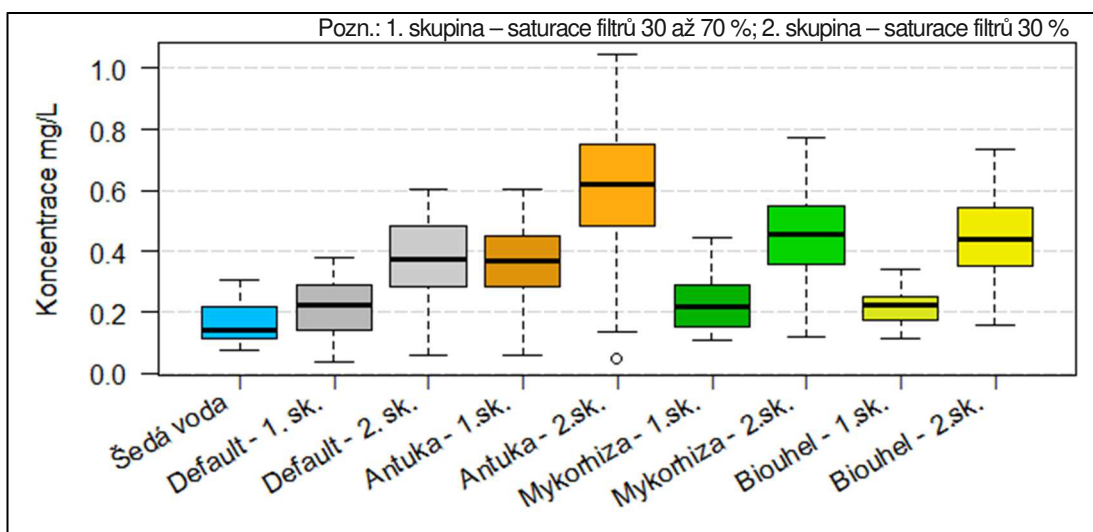
Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda:	
Etapa →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4		
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1	↑	▲↑	▲↑	↑	↑	↑			↑	↑	↑	▲↑	▲↑
	2													
	3													

Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05

Tab. 7.42: Signifikantní rozdíly účinností při snižování hodnot konduktivity (mezi etapami)

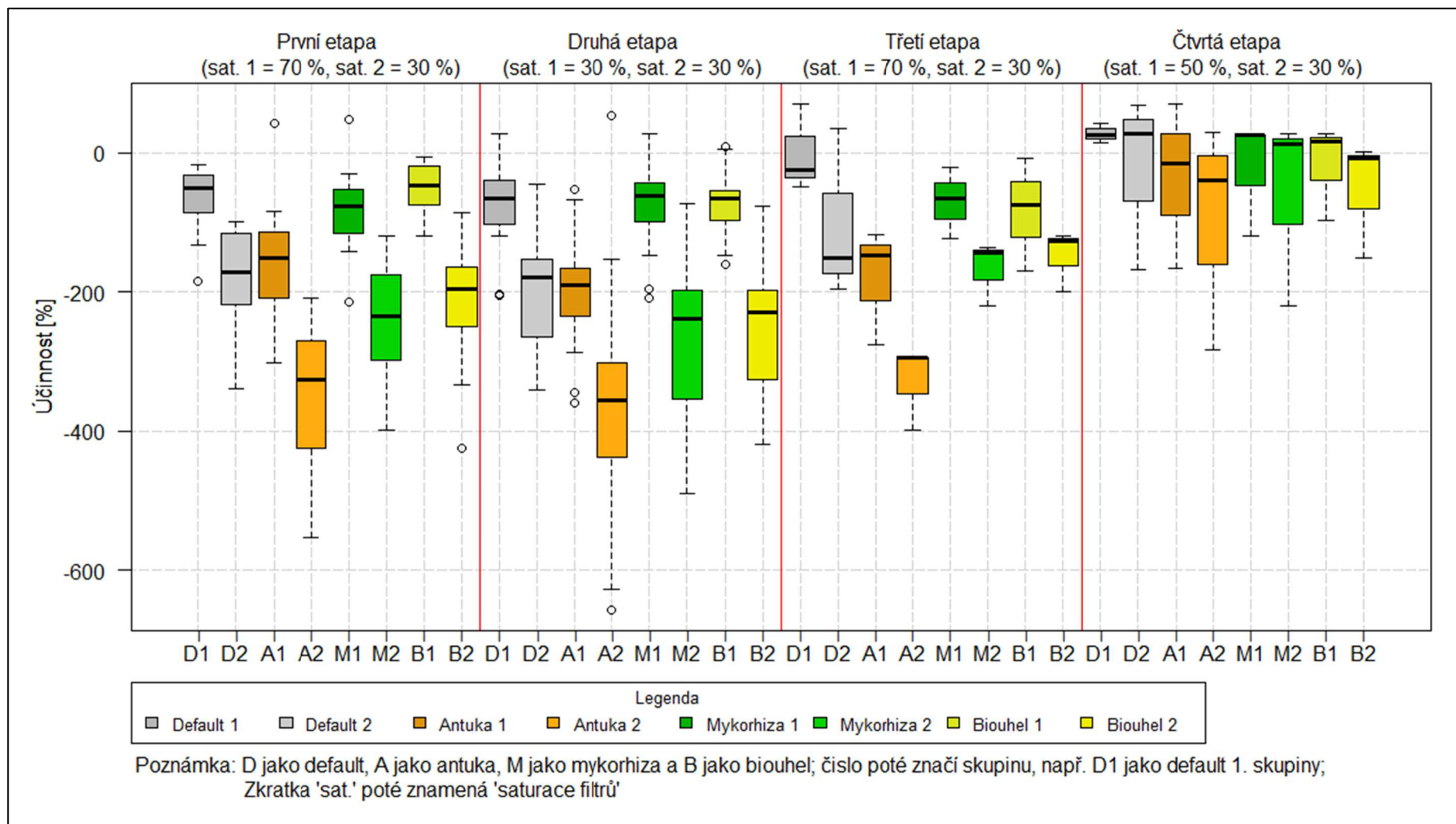
7.20 Fluoridy (F⁻)

Průměr všech koncentrací fluoridů naměřených v průběhu celého experimentu pro šedou vodu byl $0,17 \pm 0,07$ mg/l. Materiály nebyly schopny účinného snížení koncentrací fluoridů v ošetřované šedé vodě a průběh naměřených koncentrací fluoridů během experimentu pro všechny materiály 1. skupiny zachycuje Příloha 121 a pro 2. skupinu Příloha 122. Průběh koncentrací fluoridů nesl pro obě skupiny během první i druhé etapy klesající trend, zatímco během třetí a čtvrté etapy nesl pro obě skupiny výrazně kolísavý charakter bez zjevného trendu. Testovaná aditiva ovlivňovala koncentrace na odtoku filtrů v porovnání s defaultní skupinou, avšak statisticky významný vliv byl prokázán pouze pro antuku, která na odtoku filtrů prokazatelně navýšovala koncentrace fluoridů oproti defaultní skupině. Koncentrace fluoridů v jednotlivých etapách zachycují příslušené krabicové grafy (Příloha 123 až Příloha 126) a souhrnně Graf 7.44, signifikantní rozdíly poté zachycuje Tab. 7.43.



Graf 7.44: Přehled koncentrací fluoridů naměřených v průběhu všech etap

V konečném důsledku se ukázalo, že hydraulické zatížení filtrů či stárnutí filtrů (Tab. 7.44), nemá prokazatelný vliv na snižování koncentrací fluoridů a nejméně znečišťoval ošetřovanou šedou vodu oproti šedé vodě neošetřené (za obě skupiny) default (o $111,08 \pm 100,99$ %), následovaný biouhlem, mykorhizou a antukou (o $137,61 \pm 114,59$ %; o $152,34 \pm 125,96$ %; respektive o $248,44 \pm 156,44$ %), což pro jednotlivé skupiny a etapy zachycuje Graf 7.45.



Graf 7.45: Účinnost filtrů při snižování koncentrací fluoridů

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Šedá voda					Default 1. skupiny					Default 2. skupiny					Antuka 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Default 1. skupiny																				
Default 2. skupiny	▲	▲			▲	▲	▲			▲										
Antuka 1. skupiny	▲	▲			▲		▲			▲										
Antuka 2. skupiny	▲	▲	▲		▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲			▲	▲	▲			▲
Mykorhiza 1. skupiny					▲						▼	▼			▼		▼			▼
Mykorhiza 2. skupiny	▲	▲			▲	▲	▲			▲										
Biouhel 1. skupiny											▼	▼			▼	▼	▼			▼
Biouhel 2. skupiny	▲	▲			▲	▲	▲			▲										

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Antuka 2. skupiny					Mykorhiza 1. skupiny					Mykorhiza 2. skupiny					Biouhel 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny	▼	▼			▼															
Mykorhiza 2. skupiny						▲	▲			▲										
Biouhel 1. skupiny	▼	▼			▼						▼	▼			▼					
Biouhel 2. skupiny						▲	▲			▲						▲	▲			▲

Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace Pozn.: Hladina významnosti 0,05

Tab. 7.43: Signifikantní rozdíly v koncentracích fluoridů

Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda:
Etapa →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1												▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace
	2												Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05
	3												

Tab. 7.44: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování fluoridů (mezi etapami)

7.21 Chloridy (Cl⁻)

Průměr všech koncentrací chloridů naměřených v průběhu celého experimentu pro šedou vodu byl 32,85 mg/l a směrodatná odchylka činila 5,57 mg/l. Kontrolní skupina filtrů (tzv. default) v 1. skupině nedosahovala účinného odstraňování chloridů, neboť navyšovala koncentrace v ošetřené vodě vůči šedé vodě neošetřené o $10,68 \pm 53,24$ % (průměrná koncentrace na odtoku filtrů $35,69 \pm 13,52$ mg/l). Ve 2. skupině již default dosáhl účinného snižování koncentrací chloridů, resp. průměrné účinnosti $7,18 \pm 13,24$ % ($30,70 \pm 4,52$ mg/l). Průběh naměřených koncentrací chloridů během experimentu pro všechny materiály 1. skupiny zachycuje Příloha 127 a pro 2. skupinu Příloha 128, přičemž koncentrace v ošetřené vodě se pohybovaly v blízkosti průměrné koncentrace chloridů v šedé vodě, avšak obě skupiny doprovázely výkyvy a pro default 1. skupiny byly charakteristické výraznější výkyvy než pro ostatní materiály. Záporná účinnost defaultu 1. skupiny poté pravděpodobně pramení z již zmiňovaných výkyvů, neboť maximální naměřená koncentrace chloridů (třetí etapa) na jeho odtoku dosahovala téměř trojnásobku průměrné koncentrace v šedé vodě. Vzhledem k faktu, že opakované výkyvy provázely především default, nejedná se pravděpodobně o chybné měření či náhodnou kontaminaci vzorků, ani vytvoření preferenčních cest proudění ošetřované šedé vody filtrem, neboť naměřené koncentrace v průběhu výkyvu násobně převyšují koncentrace v šedé vodě. Jako pravděpodobné vysvětlení se nabízí akumulace chloridů ve filtračních materiálech a zvýšená koncentrace na odtoku filtrů v daný den jako důsledek jejich uvolnění v jednom, případně vícero filtrech.

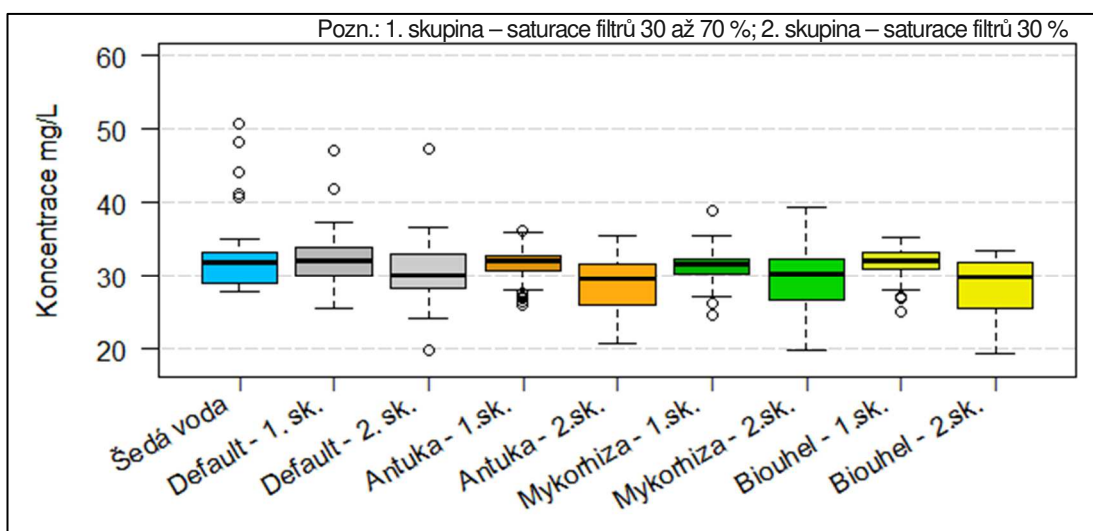
Přísada antuky přispěla ke zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování chloridů, neboť filtry s obsahem antuky v 1. skupině dosahovaly oproti příslušnému defaultu o 14,23 % vyšší účinnosti a ve 2. skupině o 6,41 % vyšší účinnosti vzhledem k příslušné defaultní skupině. Přesto však nebyl prokázán statisticky významný vliv aditiva antuky na účinnost filtrů. Naměřená průměrná koncentrace chloridů na odtoku filtrů s obsahem antuky byla pro 1. skupinu $31,54 \pm 2,44$ mg/l (průměrná účinnost $3,55 \pm 12,80$ %) a skupinu 2. $28,58 \pm 3,92$ mg/l (průměrná účinnost $13,59 \pm 13,94$ %).

I přísada mykorhizy přispěla ke zvýšení účinnosti filtrů, avšak ani pro mykorhizu nebyl prokázán její statisticky významný vliv na účinnost filtrů. Mykorhiza v 1. skupině dosahovala oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 14,40 % vyšší účinnosti a ve 2. skupině o 3,71 % vyšší účinnosti. Naměřená průměrná koncentrace chloridů na odtoku filtrů s obsahem mykorhizy byla pro 1. skupinu $31,40 \pm 2,66$ mg/l (průměrná

účinnost $3,72 \pm 15,83$ %) a skupinu 2. $29,50 \pm 3,94$ mg/l (průměrná účinnost $10,89 \pm 13,95$ %).

Ani pro přísadu biouhlu nebyl prokázán její statisticky významný vliv na účinnost čištění, ačkoliv přispěla ke zvýšení účinnosti filtrů. Biouhel v 1. skupině dosahoval oproti příslušné defaultní skupině filtrů o 14,48 % vyšší účinnosti a ve 2. skupině o 6,31 % vyšší účinnosti. Naměřená průměrná koncentrace chloridů na odtoku filtrů s obsahem biouhlu byla pro 1. skupinu $31,56 \pm 2,32$ mg/l (průměrná účinnost $3,80 \pm 13,03$ %) a skupinu 2. $28,73 \pm 3,75$ mg/l (průměrná účinnost $13,49 \pm 12,81$ %).

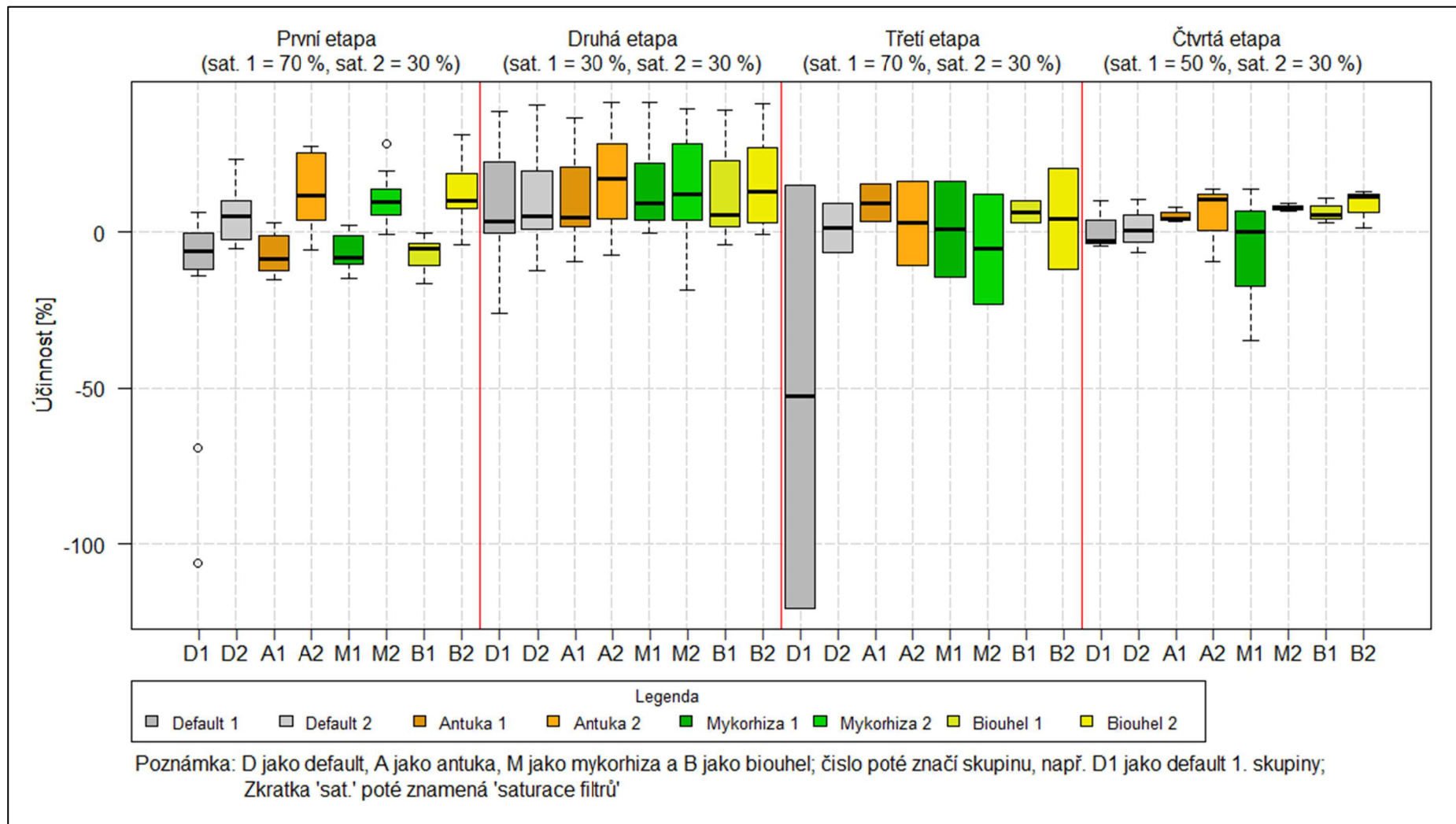
Koncentrace chloridů v jednotlivých etapách zachycují příslušené krabicové grafy (Příloha 129 až Příloha 132), přičemž v průběhu první etapy (saturace filtrů pro 1. skupinu 70 %, pro 2. skupinu 30 %) antuka a biouhel 1. skupiny vykazovaly signifikantně vyšší koncentrace vůči šedé vodě. V průběhu druhé etapy (saturace filtrů pro obě skupiny 30 %) naopak signifikantně nižší koncentrace vůči šedé vodě vykazovala mykorhiza či biouhel obou skupin a antuka 2. skupiny, zatímco v průběhu třetí a čtvrté etapy (saturace filtrů 1. skupiny 70, respektive 50 %, 2. skupiny konstantních 30 %) nebyly shledány žádné statisticky významné rozdíly. V případě nerozlišování jednotlivých etap, resp. při vyhodnocení všech etap současně (Graf 7.46), pouze antuka, mykorhiza či biouhel 2. skupiny vykazovaly signifikantně nižší koncentrace chloridů vůči šedé vodě a všechny nalezené signifikantní rozdíly poté souhrnně zachycuje Tab. 7.45.



Graf 7.46: Přehled koncentrací chloridů naměřených v průběhu všech etap

V rámci sledování vlivu hydraulické zatížení filtrů (1. skupiny) na účinnost filtrů při snižování koncentrací chloridů pomocí daného aditiva, byla pro antuku, mykorhizu a biouhel v průběhu druhé etapy (saturace filtrů 30 %) prokázána signifikantně vyšší účinnost, než v průběhu etapy první (saturace filtrů 70 %), jak zachycuje Tab. 7.46. V rámci pozorování stárnutí systému nebyly shledány žádné statisticky významné rozdíly. Grafickým znázorněním dosažených účinností v rámci etap je poté Graf 7.47.

V konečném důsledku byl prokázán signifikantní vliv hydraulického zatížení filtrů (vyjma defaultu) na jejich účinnost při odstraňování chloridů (s rostoucím hydraulickým zatížením klesá účinnost čištění), protože se ukázalo, že výše zmiňovaný signifikantní vliv saturace filtrů není důsledkem stárnutí systému.



161 Graf 7.47: Účinnost filtrů při snižování koncentrací chloridů

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Šedá voda					Default 1. skupiny					Default 2. skupiny					Antuka 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Default 1. skupiny																				
Default 2. skupiny																				
Antuka 1. skupiny	▲										▲									
Antuka 2. skupiny		▼			▼	▼	▼			▼						▼				▼
Mykorhiza 1. skupiny		▼									▲									
Mykorhiza 2. skupiny		▼			▼	▼				▼						▼				▼
Biouhel 1. skupiny	▲	▼									▲									
Biouhel 2. skupiny		▼			▼	▼				▼						▼				▼
Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Antuka 2. skupiny					Mykorhiza 1. skupiny					Mykorhiza 2. skupiny					Biouhel 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny	▲				▲															
Mykorhiza 2. skupiny						▼														
Biouhel 1. skupiny	▲				▲						▲				▲					
Biouhel 2. skupiny						▼				▼						▼				▼
Legenda:	▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace															Pozn.: Hladina významnosti 0,05				

Tab. 7.45: Signifikantní rozdíly v koncentracích chloridů

Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda: ▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05
Etapa →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1			▲			▲			▲			
	2												
	3												

Tab. 7.46: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování chloridů (mezi etapami)

7.22 Bromidy (Br)

Průměr všech koncentrací bromidů naměřených v průběhu celého experimentu pro šedou vodu byl 0,02 mg/l a směrodatná odchylka činila 0,03 mg/l. Kontrolní skupiny filtrů (tzv. defaulty) v 1. skupině nedosahovaly účinného odstraňování bromidů, neboť navyšovaly koncentrace v ošetřené šedé vodě vůči šedé vodě neošetřené o $102,26 \pm 319,76$ % (průměrná koncentrace na odtoku filtrů $0,04 \pm 0,12$ mg/l), zatímco ve 2. skupině již dosahovaly účinného snižování s průměrnou účinností $17,51 \pm 72,79$ % ($< 0,02 \pm 0,01$ mg/l). Průběh naměřených koncentrací bromidů během experimentu pro všechny materiály 1. skupiny zachycuje Příloha 133 a pro 2. skupinu Příloha 134, přičemž pro 1. skupinu měl průběh koncentrací mírně kolísavý charakter s ojedinělými, avšak výraznými výkyvy (biouhel v první etapě či default v etapě čtvrté). Průběh koncentrací 2. skupiny provázely výkyvy (řádově menší, nežli u 1. skupiny), vyjma biouhlu, jehož koncentrace se konstantně pohybovaly pod detekčním limitem přístroje (0,02 mg/l). V konečném důsledku filtry 1. skupiny nebyly schopny účinného snižování koncentrací bromidů, zatímco všechny filtry ve 2. skupině je účinně snižovaly.

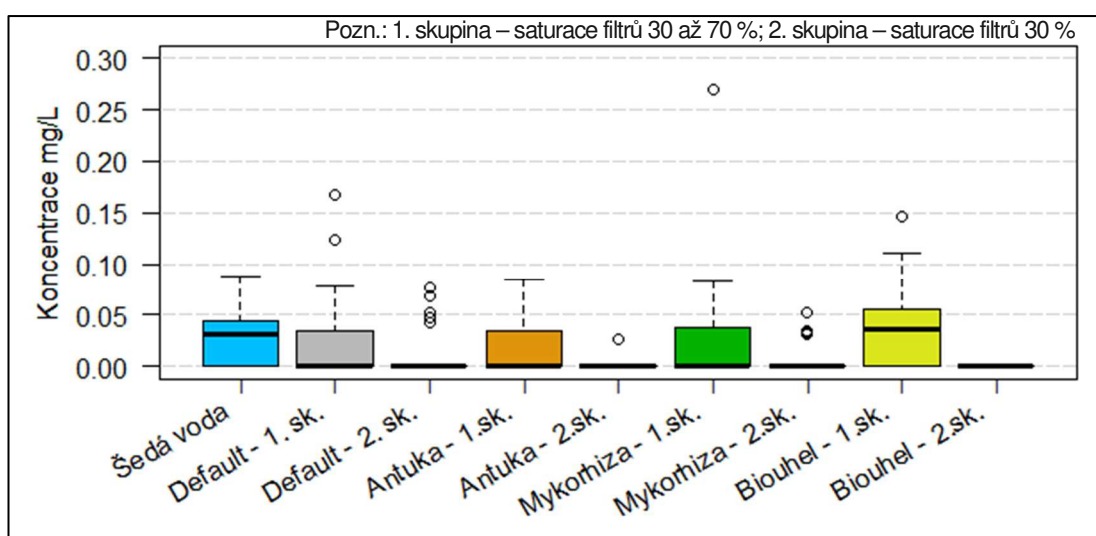
Přísada antuky ve 2. skupině přispěla ke zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování bromidů, neboť filtry s obsahem antuky oproti příslušné defaultní skupině dosahovaly o 31,46 % vyšší účinnosti. Pro aditivum antuky však nebyl prokázán jeho statisticky významný vliv na účinnost čištění. Naměřená průměrná koncentrace bromidů na odtoku filtrů s obsahem antuky byla pro 2. skupinu $< 0,02 \pm 0,00$ mg/l (průměrná účinnost $48,97 \pm 23,11$ %).

Také přísada mykorhizy ve 2. skupině přispěla ke zvýšení účinnosti filtrů při odstraňování bromidů, protože v porovnání s defaultem dosahovala o 24,32 % vyšší účinnosti. Přesto však ani pro aditivum mykorhizy nebyl prokázán jeho statisticky významný vliv na účinnost filtrů. Naměřená průměrná koncentrace bromidů na odtoku filtrů 2. skupiny byla $< 0,02 \pm 0,00$ mg/l (průměrná účinnost $41,83 \pm 30,30$ %).

Ani pro přísadu biouhlu ve 2. skupině, která v porovnání s příslušným defaultem vykazovala o 35,88 % vyšší účinnost, nebyl prokázán její statisticky významný vliv na účinnost filtrů. Naměřená průměrná koncentrace bromidů na odtoku filtrů s obsahem biouhlu byla pro 2. skupinu $< 0,02 \pm 0,00$ mg/l (průměrná účinnost $53,39 \pm 13,09$ %).

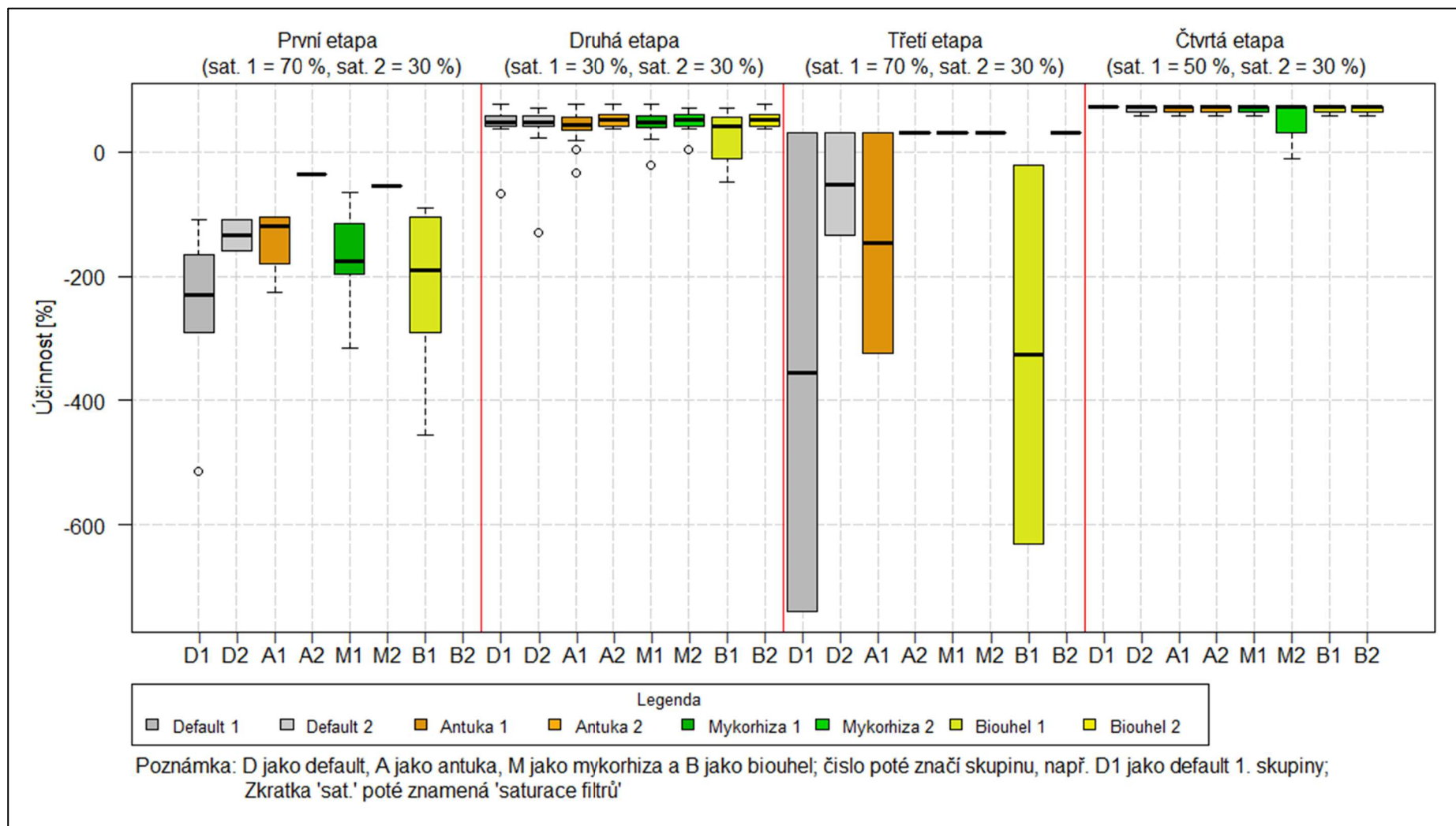
Koncentrace bromidů v jednotlivých etapách zachycují příslušené krabicové grafy (Příloha 135 až Příloha 138), přičemž v průběhu první etapy (saturace filtrů

pro 1. skupinu 70 %, pro 2. skupinu 30 %) vykazoval default, mykorhiza a biouhel 1. skupiny signifikantně vyšší koncentrace vůči šedé vodě. V průběhu druhé etapy (saturace filtrů pro obě skupiny 30 %) vykazovaly signifikantně nižší koncentrace vůči šedé vodě všechny materiály, v průběhu třetí (saturace filtrů pro 1. skupinu 70 %, pro 2. skupinu 30 %) žádný materiál a v průběhu čtvrté etapy (saturace filtrů pro 1. skupinu 50 %, pro 2. skupinu 30 %) opět všechny materiály, vyjma defaultu 1. skupiny či mykorhizy 2. skupiny. Při vyhodnocení všech etap současně (Graf 7.48) všechny materiály, vyjma defaultu, mykorhizy či biouhlu 1. skupiny, vykazovaly signifikantně nižší koncentrace bromidů vůči šedé vodě (viz Tab. 7.47).



Graf 7.48: Přehled koncentrací bromidů naměřených v průběhu všech etap

V rámci hledání vlivu hydraulické zatížení filtrů na jejich účinnost při snižování koncentrací bromidů byla pro default, mykorhizu a biouhel v průběhu druhé etapy (saturace filtrů 30 %) prokázána signifikantně vyšší účinnost, než v průběhu etapy první (saturace filtrů 70 %). V průběhu čtvrté etapy (saturace filtrů 50 %) byla prokázána signifikantně vyšší účinnost, než v etapě první (saturace filtrů 70 %) ještě pro mykorhizu a biouhel. Pro biouhel byla také v průběhu čtvrté etapy prokázána signifikantně vyšší účinnost, než v etapě třetí (saturace filtrů 70 %), jak zachycuje Tab. 7.48. V rámci pozorování stárnutí systému nebyly shledány žádné statisticky významné rozdíly. Grafickým znázorněním dosažených účinností v rámci etap je poté Graf 7.49. Signifikantní vliv hydraulického zatížení filtrů na jejich účinnost při odstraňování bromidů (s rostoucím hydraulickým zatížením roste účinnost čištění) byl tedy prokázán, protože se ukázalo, že výše zmiňovaný signifikantní vliv saturace filtrů není důsledkem stárnutí systému.



Graf 7.49: Účinnost filtrů při snižování koncentrací bromidů

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Šedá voda					Default 1. skupiny					Default 2. skupiny					Antuka 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Default 1. skupiny	▲	▼																		
Default 2. skupiny		▼		▼	▼															
Antuka 1. skupiny		▼		▼	▼															
Antuka 2. skupiny		▼		▼	▼					▼										
Mykorhiza 1. skupiny	▲	▼		▼																
Mykorhiza 2. skupiny		▼		▼																
Biouhel 1. skupiny	▲	▼		▼		▲				▲	▲					▲	▲			▲
Biouhel 2. skupiny		▼		▼	▼	▼				▼										▼

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Antuka 2. skupiny					Mykorhiza 1. skupiny					Mykorhiza 2. skupiny					Biouhel 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny	▲				▲															
Mykorhiza 2. skupiny						▼														
Biouhel 1. skupiny	▲	▲			▲					▲	▲				▲					
Biouhel 2. skupiny						▼				▼						▼	▼			▼

Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace Pozn.: Hladina významnosti 0,05

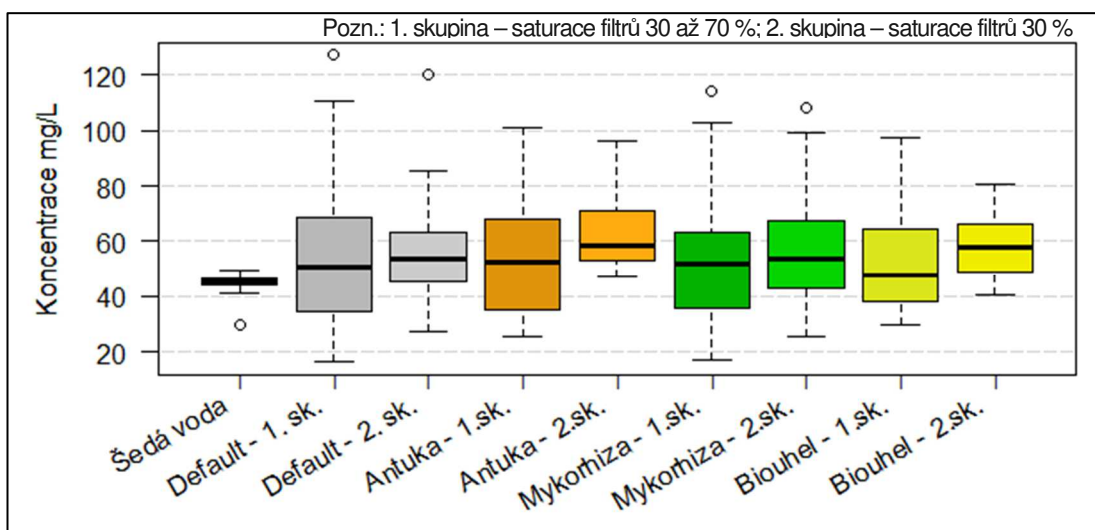
Tab. 7.47: Signifikantní rozdíly v koncentracích bromidů

Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda:
Etapa →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1	▲				▲	▲		▲	▲		▲	▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace
	2												Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05
	3											▲	

Tab. 7.48: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování bromidů (mezi etapami)

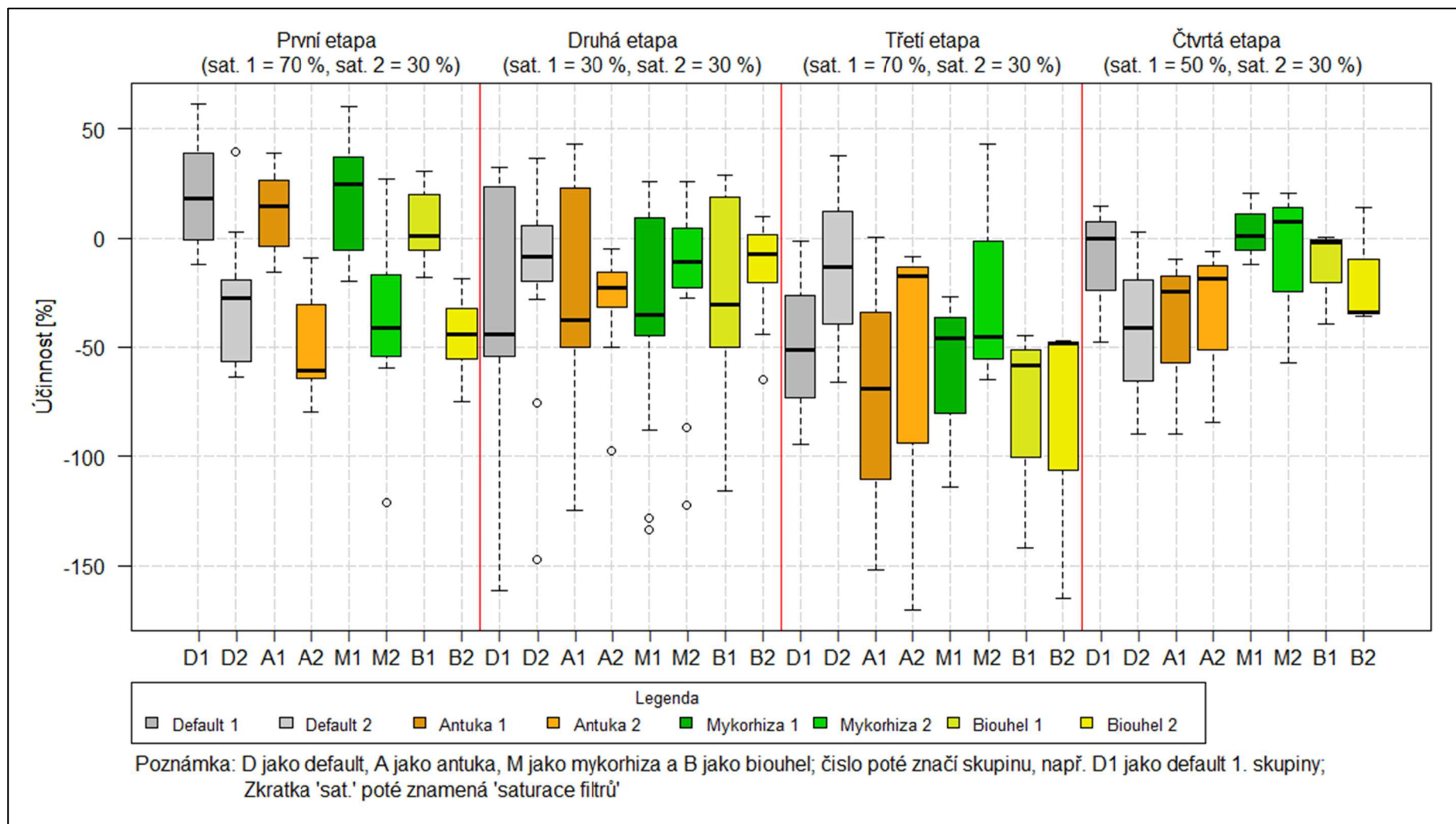
7.23 Síraný (SO_4^{3-})

Průměr všech koncentrací síranů naměřených v průběhu celého experimentu pro šedou vodu byl 44,80 mg/l a směrodatná odchylka činila 3,25 mg/l. Průběh naměřených koncentrací síranů během experimentu pro všechny materiály 1. skupiny zachycuje Příloha 139 a pro 2. skupinu Příloha 140, přičemž průběh koncentrací obou skupin vykazoval kolísavý charakter a většinou převyšoval průměrné koncentrace síranů v šedé vodě, tzn. materiály nebyly schopny účinného snižování koncentrací síranů v ošetřované šedé vodě. Aditiva výrazně neovlivňovala koncentrace na odtoku filtrů v porovnání s defaultní skupinou a koncentrace síranů v jednotlivých etapách zachycují příslušné krabicové grafy (Příloha 141 až Příloha 144), případně souhrnně (Graf 7.50) a signifikantní rozdíly zachycuje Tab. 7.49.



Graf 7.50: Přehled koncentrací síranů naměřených v průběhu všech etap

V konečném důsledku se ukázalo, že hydraulické zatížení filtrů či stárnutí filtrů (Tab. 7.50), nemá prokazatelný vliv na snižování koncentrací síranů a nejméně navyšoval koncentrace v ošetřované šedé vodě (za obě skupiny) default (o $19,24 \pm 46,09$ %), následovaný mykorhizou (o $19,36 \pm 44,25$ %), biouhlem (o $23,96 \pm 38,37$ %) a antukou (o $28,99 \pm 43,39$ %), což pro jednotlivé skupiny a etapy zachycuje Graf 7.51.



Graf 7.51: Účinnost filtrů při snižování koncentrací síranů

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Šedá voda					Default 1. skupiny					Default 2. skupiny					Antuka 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Default 1. skupiny																				
Default 2. skupiny					▲	▲														
Antuka 1. skupiny											▼									
Antuka 2. skupiny	▲				▲					▲						▲				▲
Mykorhiza 1. skupiny											▼									
Mykorhiza 2. skupiny	▲				▲	▲										▲				
Biouhel 1. skupiny											▼									
Biouhel 2. skupiny	▲				▲	▲										▲				

Předmět statistické analýzy ↓	Předmět statistické analýzy, ke kterému je uváděn signifikantní rozdíl																			
	Antuka 2. skupiny					Mykorhiza 1. skupiny					Mykorhiza 2. skupiny					Biouhel 1. skupiny				
Etapa →	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše	1	2	3	4	Vše
Mykorhiza 1. skupiny	▼				▼															
Mykorhiza 2. skupiny						▲														
Biouhel 1. skupiny	▼				▼						▼									
Biouhel 2. skupiny						▲										▲				

Legenda: ▲ – signifikantně vyšší koncentrace; ▼ – signifikantně nižší koncentrace Pozn.: Hladina významnosti 0,05

Tab. 7.49: Signifikantní rozdíly v koncentracích síranů

Předmět statistické analýzy →	Default			Antuka			Mykorhiza			Biouhel			Legenda: ▲↑ - signifikantně vyšší koncentrace ▼↓ - signifikantně nižší koncentrace Poznámka: ▲▼ 1. skupina; ↑↓ 2. skup.; hladina významnosti 0,05
Etapa →	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
Etapa, vůči které je uváděn signifikantní rozdíl	1												
	2												
	3												

Tab. 7.50: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování síranů (mezi etapami)

8. Diskuse

Biouhlem, využitým ve skladbě filtru jako filtračního média při čištění šedé či odpadní vody se v minulosti zabývala již celá řada experimentů, zatímco vliv antuky či mykorhizy stále nebyl důkladně prozkoumán. Předcházející bakalářská práce (*Hladký, 2021*) již nastínila schopnosti těchto materiálů při odstraňování některých polutantů z šedé vody, avšak není pravidlem, že si testované materiály, resp. filtry tyto materiály zahrnující, své vlastnosti zachovají i v průběhu opakovaných experimentů či během kontinuálního dlouhotrvajícího provozu, jak naznačují následující odstavce. Na shodných fyzikálních modelech zasakovacích pásů *Pechač (2022)* a *Hamdan (2022)* ověřovali také vhodnost aditiva antuky a biouhlu, respektive biouhlu a mykorhizy, přičemž některé jimi sledované parametry jsou shodné s touto prací.

8.1 Odstraňování farmak a aniontových tenzidů

Při odstraňování Flukonazolu biouhel jako jediné aditivum dosahoval prokazatelně vyšší účinnosti (průměrná účinnost 89 %) než kontrolní (defaultní, bez aditiva) skupina a konstantnosti v porovnání s ostatními materiály. Mykorhiza či antuka poté výrazně neovlivňovaly účinnost filtrů a dosahovaly průměrné účinnosti 35 %; respektive 26 %. K vyššímu odstraňování Ibuprofenu již prokazatelně nepřispělo žádné aditivum, neboť mykorhiza či antuka (průměrná účinnosti 74 %, respektive 58 %) výrazně neovlivňovaly účinnost čištění a ani pro biouhel, ačkoliv přispěl ke zvýšení účinnosti o více jak 13 % (jeho průměrná účinnost 85 %) nebyl prokázán jeho statisticky významný vliv na účinnost čištění. Při odstraňování farmak rovněž nebyl prokázán vliv hydraulického zatížení či stárnutí filtrů na jejich účinnost.

Kolísavé koncentrace Ibuprofenu či Flukonazolu v neošetřené šedé vodě jsou poté pravděpodobně způsobeny jejich rozkladem (nižší koncentrace vzhledem k cílené koncentraci), či případným srážením vlivem slunečního záření v IBC kontejneru, kde šedá voda byla připravována, ačkoliv pro minimalizaci tohoto efektu byl obalen černou neprůsvitnou fólií. V konečném důsledku tedy pravděpodobně záleželo na tom, jaké množství sraženin v daný den bylo odebráno do vzorku šedé vody (ačkoliv odběr probíhal vždy ve stejný čas a stejným způsobem).

Všechny filtry s obsahem aditiv vykazovaly vysokou účinnost (> 99 %) a konstantnost při odstraňování aniontových tenzidů, výrazně a prokazatelně účinnost však aditiva neovlivňovala, protože ke zvýšení účinnosti oproti defaultní skupině přispěla pouze v rámci desetin procent. Vliv hydraulického zatížení či stárnutí

filtrů na jejich účinnost také nebyl v průběhu experimentu prokázán. Pro biouhel poté bylo dosaženo o 4,17 % vyšší účinnosti, pro mykorhizu o 3,63 % vyšší účinnosti a pro antuku o 14,47 % vyšší účinnosti, než které dosáhl Hladký (2021). Vyšší účinnosti filtrů v tomto experimentu poté mohou být důsledkem opakovaného užívání filtrů, kdy došlo k postupnému ustálení a navýšení jejich účinností při odstraňování aniontových tenzidů. Tuto myšlenku podporují i výsledky dosažené v práci *Pechač (2022)*, neboť dosáhl shodných účinností pro biouhel a antuku (průměrná účinnost 99,47 %; respektive 99,12 %). Případně se částečně mohlo projevit nehomogenní složení přípravků osobní hygieny a pracího prostředku a v konečném důsledku vyšší koncentrace aniontových tenzidů v šedé vodě (vzhledem ke koncentracím naměřených v experimentu autora *Hladký (2021)*) vedly k vyšší účinnosti filtrů, resp. jejich potenciál se více projevil (existuje možnost, že určitou minimální koncentraci nedokážou účinně odstraňovat).

8.2 Odstraňování kovů (B, Cu, Ni a Zn)

Ani při snižování koncentrací kovů, jako je B, Cu a Ni nemělo hydraulické zatížení filtrů či jejich stárnutí prokazatelný vliv na jejich účinnost. Stárnutí filtrů se však projevilo při odstraňování Zn, neboť filtrům od druhé etapy mírně poklesla účinnost a konstantnost. Pro bor poté nebylo testovanými aditivami dosaženo jeho účinného odstraňování, což se shoduje s pracemi *Pechač (2022)* či *Hamdan (2022)*. Zvýšení koncentrací boru v ošetřované vodě při průchodu filtry vypovídá o jeho výluhu z filtračních materiálů, neboť je běžnou součástí půdy či se může nacházet v kompostu (*Brdar-Jokanović, 2021; Hejátková, 2020; Keren, 1996*), který byl rovněž ve filtrační loži filtrů testovaných v této práci obsažen. Při odstraňování mědi, niklu a zinku již bylo dosaženo vysokých účinností (> 95 %; > 95 %; respektive > 93 %), avšak žádné aditivum nedokázalo významně ovlivnit účinnost filtrů při porovnání s defaultní skupinou.

Dosažené účinnosti lze považovat za shodné, kterých pro biouhel a antuku dosáhl *Pechač (2022)* či pro biouhel a mykorhizu *Hamdan (2022)*, neboť jimi dosažené účinnosti se nelišily více jak o 3 %. Filtry obsahovaly také kompost a vykazovaly podstatně vyšší účinnost, než které dosáhl *Aslam & kol. (2007)* pro filtry obsahující pouze kompost při odstraňování mědi či zinku z odpadní vody (dosáhl účinnosti 56 %, respektive 61 %).

8.3 Odstraňování uhlíku (TOC, IC, TC)

Při snižování koncentrací celkového organického uhlíku všechna aditiva přispěla ke zvýšení účinnosti filtrů (v porovnání s příslušným defaultem) až o téměř 16 % v případě biouhlu, ačkoliv tento vliv nebyl statisticky prokázán. Dosažená průměrná účinnost pro biouhel poté byla 64 %, pro mykorhizu 54 % a antuku 53 %. Rovněž výsledky naznačují, že při nepřetržitém provozu filtrů jejich účinnost při odstraňování TOC narůstá, zatímco v případě delší odstávky se opět navrácí k nižším hodnotám účinnosti, což může souviset s postupným vyplavováním organických sloučenin, resp. s rozkladem odumřelých rostlin (*Shimadzu, ©2023; Vodní Info, ©2022*). V průběhu experimentu totiž docházelo k postupnému hnilobnému rozkladu odumřelého travního porostu, přičemž k největšímu odumírání a následnému rozkladu travního porostu docházelo přibližně v 1. měsíci experimentu daný rok (tedy v první, respektive třetí etapě). Při zimní a jarní odstávce filtrů se travní porost plně zotavil (mezi druhou a třetí etapou experimentu), tudíž opět odumíral i na počátku třetí etapy a účinnost filtrů zde znovu poklesla a postupně se v průběhu času zvyšovala. Vliv hydraulického zatížení na účinnost čištění prokázán nebyl. Při odstávce filtrů mohlo také docházet i k nárůstům bakteriálních společenstev, případně i řas na dně filtrů (ačkoliv vzhledem k omezenému přístupu světla se tato varianta nejeví příliš pravděpodobnou) a při opětovném provozu filtrů mohlo docházet rovněž k jejich rozkladu a následnému vyplavování.

Výsledná účinnost biouhlu při snižování koncentrací celkového organického uhlíku je pro biouhel nižší o 13 % vzhledem k účinnosti, které dosáhl *Kaetzl & kol. (2018)*. Rovněž se dosažené účinnosti všemi aditivami liší až o 19 % vzhledem k účinnostem, kterých dosáhla *Hamdan (2022)*, *Hladký (2021)* či *Pechač (2022)*. Tento rozdíl lze rovněž přisoudit odumírání rostlinného pokryvu, resp. mírně odlišné intenzitě odumírání, neboť i v rámci tohoto experimentu byl mezi druhou a třetí etapou (tedy po obnovení travního porostu) rozdíl v účinnostech až 18 %. Ve filtračním loži filtrů (testovaných v této diplomové práci) byl obsažen také písek a default dosahoval výrazně nižší účinnosti (o 27 %) než filtry obsahující pouze písek v experimentu autora *Dalahmeh & kol. (2012)*. Při vyhodnocování účinnosti biologického čištění je však třeba brát na zřetel, že koncentrace celkového organického uhlíku jsou pouze kyslíkové ekvivalenty a nepředstavují skutečnou koncentraci organických látek v ošetřované vodě (*Pitter, 2015*).

Účinného snižování anorganického či celkového uhlíku nebylo dosaženo a rovněž ani nebyl prokázán signifikantní vliv aditiv na koncentrace v ošetřené šedé vodě v porovnání s defaultní skupinou. Byl však prokázán vliv stárnutí filtrů na jejich účinnost, resp. že s opakovaným užíváním filtrů se jejich účinnost zvyšovala (ačkoliv stále ošetřená šedá voda vykazovala vyšší koncentrace vůči šedé vodě neošetřené), což vypovídá o postupném vyplavování anorganických sloučenin, resp. sloučenin obsahujících uhlík, k čemuž se přiklání i *Hladký (2021)* či *Pechač (2022)*.

8.4 Odstraňování dusíku (TN, NO₂⁻, NO₃⁻ a NH₄-N)

Všechna aditiva dokázala nepatrně přispět ke zvýšení účinností při odstraňování celkového dusíku v porovnání s defaultními filtry, ačkoliv jejich vliv nebyl statisticky prokázán. Biouhel dosahoval průměrné účinnosti 80 %, antuka 77 % a mykorhiza 76 %. Rovněž výsledky naznačují, že při nepřetržitém provozu filtrů jejich účinnost při odstraňování TN narůstá, zatímco v případě delší odstávky se opět navrací k nižším hodnotám účinnosti, což může opět souviset s vyplavováním sloučenin obsahujících dusík či se může promítat i složení dešťové vody, jež může obsahovat dusitany i dusičnany (*Radojević, 1967; Shaw, 2017*) a v průběhu odstávky se mohou ve filtračním loži akumulovat. Jako pravděpodobnější vysvětlení se však jeví, že v průběhu odstávky filtrů mohla nad společenstvy anaerobních mikroorganismů, zodpovědných za proces amonifikace (který je podrobně popsán níže), převažovat jiná aerobní společenstva mikroorganismů (neboť nedocházelo k aplikaci šedé vody) a návrat anaerobních společenstev při opětovném provozu filtrů není okamžitý. Vliv hydraulického zatížení na účinnost čištění poté prokázán nebyl.

Dosažená účinnost filtrů při odstraňování celkového dusíku byla v případě biouhlu přibližně o 20 %, antuky o 29 % a mykorhizy o 42 % vyšší, než které pro tyto materiály ve svém experimentu dosáhl *Hladký (2021)* což může rovněž souviset s postupným vyplavováním sloučenin obsahujících dusík či se vznikem anaerobních společenstev mikroorganismů, neboť tento experiment probíhal na již dříve provozovaných filtrech, zatímco zmiňovaný experiment v roce 2020 probíhal na nově vybudovaných filtrech (tzn. na počátku tohoto experimentu již mohly být částečně sloučeniny vyplaveny). Tuto myšlenku podporují i dosažené účinnosti v práci *Pechač (2022)*, neboť také na již dříve provozovaných filtrech dosáhl pro biouhel a antuku dokonce vyšších účinností o 9 %, respektive o 2 %, v porovnání s tímto experimentem, přičemž tento rozdíl lze rovněž přisoudit odumírání rostlinného pokryvu, resp. mírně odlišené intenzitě odumírání, případně i vlivu složení dešťové vody, viz výše. Dosažená účinnost biouhlem byla zároveň o 11 % nižší, než které

ve svém experimentu dosáhl Berger (2012), o 28 % vyšší oproti biouhlu z tvrdého dřeva a o 11 % nižší oproti biouhlu z vrbového dřeva, kterými se ve svém experimentu zabýval Dalahmeh (2016), případně o 11 % nižší než účinnost, které pro biouhel dosáhl Moges & kol. (2015). Biouhlem při odstraňování celkového dusíku se zabýval i Sidibe (2014), který ve svém experimentu účinného odstraňování celkového dusíku nedosáhl. Ve filtračním loži filtrů (testovaných v této diplomové práci) byl obsažen také písek a default dosahoval o 67 % vyšších účinností při odstraňování celkového dusíku, než které dosáhl Dalahmeh & kol. (2012) ve filtrech obsahujících pouze písek.

Při odstraňování dusitanů aditivum antuky či biouhlu rovněž dokázalo přispět ke zvýšení účinnosti filtrů, ačkoliv tento vliv nebyl statisticky prokázán. Mykorhiza přispět nedokázala a neúčinněji se jevila antuka s průměrnou účinností 91 %, následovaná biouhlem (88 %) a mykorhizou (83 %). Vliv hydraulického zatížení či stárnutí filtrů nebyl na jejich účinnost prokázán. *Hladký (2021)* poté pro biouhel dosáhl o 3 % vyšší účinnosti, pro antuku shodné účinnosti (resp. o 0,10 vyšší účinnosti) a pro mykorhizu o 7 % nižší účinnosti, přičemž tento rozdíl může být způsoben shodnými faktory jako v případě TN.

Hydraulické zatížení filtrů však prokazatelně ovlivňovalo účinnost filtrů při odstraňování dusičnanů (s rostoucím hydraulickým zatížením roste účinnost čištění), k čemuž došel i *Hladký (2021)*. V 1. skupině (proměnlivá saturace filtrů od 70 do 30 %) všechny materiály dosahovaly průměrné účinnosti 95 % a ve 2. skupině (konstantní saturace 30 %) dosahovaly ještě vyšších účinností a neúčinnější byla antuka (98 %), následovaná biouhlem a mykorhizou (97 %). Porovnání dosažených účinností 1. a 2. skupinou však v konečném důsledku naznačuje, že více než hydraulické zatížení filtrů negativně ovlivňuje jejich účinnost právě samotná změna hydraulického zatížení, která filtrům neprospívá a jako vhodnější provozní režim filtrů se jeví konstantní hydraulické zatížení bez výkyvů, přesto však pouze antuka s konstantní saturací dokázala vykazovat signifikantně vyšší účinnost vzhledem k antuce s proměnlivou saturací.

Dosažená účinnost filtrů 1. a 2. skupiny při odstraňování dusičnanů byla v případě mykorhizy o 25 a 27 %, antuky o 1 a 4 % či biouhlu o 7 a 10 % vyšší, než které pro tyto materiály ve svém experimentu dosáhl *Hladký (2021)*. Tento rozdíl opět může být způsoben shodnými faktory jako u celkového dusíku a tuto myšlenku opět podporují i dosažené účinnosti v práci *Pechač (2022)*, neboť na již dříve provozovaných filtrech dosáhl pro biouhel a antuku dokonce shodných účinností (97 %, respektive 96 %). Účinností biouhlu při odstraňování dusičnanů z šedé vody

se ve svém experimentu zabýval také *Moges & kol. (2015)*, který dosáhl o 17 až 19 % nižší účinnosti, případně *Berger (2012)* dosáhl dokonce o 75 až 77 % nižší účinnosti. *Dalahmeh (2016)* poté pro biouhel vyrobený z tvrdého či vrbového dřeva nedosáhl účinného odstraňování dusičnanů vůbec. Biouhlem při odstraňování dusičnanů se zabýval i *Sidibe (2014)*, který ve svém experimentu dosáhl záporných účinností (koncentrace v ošetřené šedé vodě byly vyšší, nežli v samotné šedé vodě na vstupu do filtrů). Také *Reddy & kol. (2014)* se zabýval účinností biouhlu při filtraci syntetické dešťové vody a dosáhl o 11 % nižší účinnosti, než které bylo dosaženo v tomto experimentu. Ve filtračním loži filtrů (testovaných v této diplomové práci) byl obsažen také písek a default dosahoval vyšších účinností při odstraňování koncentrací dusičnanů, než kterých dosáhl ve svém experimentu *El-Taweel & Ali (2000)* na pouze pískových filtrech, neboť jím zjištěná účinnost byla 61,5 %.

Účinného odstraňování amoniakálního dusíku nebylo dosaženo a aditiva signifikantně neovlivnila účinnost filtrů. Rovněž nebyl vzhledem k vysoce variabilním koncentracím na odtoku filtrů prokázán vliv jejich hydraulického zatížení filtrů či stárnutí na jejich účinnost. Relativně vysoké účinnosti, které byly dosaženy při odstraňování dusitanů i dusičnanů, respektive celkového dusíku však naznačují, že ve filtrech docházelo k amonifikaci, což je proces, ve kterém anaerobní mikroorganismy přeměňují organické sloučeniny dusíku na amoniak, respektive amoniakální dusík (*Hopkinson & Giblin, 2008; Komendová, 2017; Romillac, 2019*), což by vysvětlovalo zvýšené koncentrace amoniakálního dusíku v ošetřené šedé vodě v porovnání s šedou vodou neostřenou. Rostoucí trend koncentrací amoniakálního dusíku v průběhu první etapy pro 1. skupinu (saturace filtrů 70 %) a jejich prokazatelně vyšší koncentrace v porovnání s 2. skupinou (saturace filtrů 30 %) také poukazují na možnou souvislost hydraulického zatížení, resp. saturace filtrů, s koncentracemi na odtoku filtrů – tedy že při saturaci filtrů 70 % dochází k masivnějšímu procesu amonifikace (neboť přítomnost anaerobních mikroorganismů je podmíněna anaerobním prostředím, tedy prostředím bez přítomnosti vzdušného kyslíku). Rovněž procesu amonifikace nasvědčuje i fakt, že po poklesu saturace filtrů 1. skupiny na 30 % opět koncentrace amoniakálního dusíku na odtoku filtrů poklesly (tedy v menší části filtru bylo anaerobní prostředí).

Na dosažení vysokých účinností při odstraňování dusitanů, dusičnanů a celkového dusíku se také mohla podílet i denitrifikace, což je proces, ve kterém díky bakteriím v anaerobním prostředí dochází k přeměně dusičnanů a dusitanů v konečném důsledku na dusík, respektive N_2 (*Zumft, 1997*), který se mohl volně uvolňovat do atmosféry (*Bernhard, 2010*).

8.5 pH, konduktivita, zákal a odstraňování TSS

Průměrná hodnota pH neošetřené šedé vody činila 7,3; přičemž obě skupiny vykazovaly nižší průměrné hodnoty pH. Průměrná hodnota pH v 1. skupině pro default činila $6,9 \pm 0,2$; antuku $7,0 \pm 0,2$; mykorhizu $6,9 \pm 0,2$ a biouhel $7,0 \pm 0,2$. Ve 2. skupině filtrů materiály vykazovaly obdobné průměrné hodnoty pH, konkrétně $7,0 \pm 0,2$ pro default, $7,1 \pm 0,2$ pro antuku, $7,0 \pm 0,3$ pro mykorhizu a $7,1 \pm 0,2$ pro biouhel. Hydraulické zatížení filtrů či jejich stárnutí významně neovlivňovalo hodnoty pH v ošetřované šedé vodě. V průběhu třetí a čtvrté etapy (rok 2022) však byl zaznamenán klesající trend pH hodnot na odtoku všech filtrů (ačkoliv tyto hodnoty nebyly statisticky odlišené od pH šedé vody). Tento klesající trend mohl být způsoben rozkladem organické hmoty, včetně odumřelého travního porostu, přičemž tento proces je doprovázen tvorbou huminových látek, resp. huminových a dalších kyselin (Agropress, ©2015 Gautam & kol., 2021; evniprodukt © 2018) které mohou ovlivňovat kyselost ošetřené šedé vody.

Průměrná hodnota konduktivity v neošetřené šedé vodě poté činila 397 uS/cm, přičemž obě skupiny vykazovaly vyšší průměrné hodnoty konduktivity (599 až 823 uS/cm). Vliv hydraulického zatížení filtrů na ovlivňování konduktivity prokázán nebyl, avšak v rámci stárnutí filtrů, resp. jejich opakovaného používání, prokazatelně docházelo ke snižování jejich hodnot (tzn. klesající trend hodnot konduktivity v průběhu experimentu). Což je pravděpodobně způsobeno postupným vyplavováním polutantů z filtrů, jako jsou chloridy, dusičnany, sulfáty, fosfáty a další anionty či kationty (*vod-da.cz*, ©2016), případně důsledkem postupného zvyšování účinnosti filtrů při odstraňování polutantů ovlivňujících konduktivitu ošetřené šedé vody, jak je u některých parametrů v této práci pozorovatelné.

Při odstraňování zákalu žádné aditivum nedokázalo významně ovlivnit účinnost čištění (v porovnání s defaultem, který dosahoval průměrné účinnosti 79 %) a rovněž nebyl prokázán statisticky významný vliv hydraulického zatížení či stárnutí filtrů na jejich účinnost. Biouhel dosahoval průměrné účinnosti 84 %, antuka 83 % a mykorhiza 76 %. Dosažená účinnost odstraňování zákalu pomocí biouhlu se jeví jako shodná s účinností 84,37 %, které ve svém experimentu dosáhl *Moges & kol. (2015)* a nižší vzhledem k účinnosti 93 %, které dosáhl *Kaetzl & kol. (2018)*. Ve filtračním loži filtrů (testovaných v této diplomové práci) byl obsažen také písek a default dosahoval nižší účinnosti až o 28 % vzhledem k účinnostem dosažených v experimentech s filtry obsahujícími pouze písek (92,3; respektive 94,8 až 97,6 %) při čištění povrchové či šedé vody (*El-Taweel & Ali, 2000; Shaikh & Ahammed, 2021*).

Také při odstraňování koncentrací celkových nerozpuštěných látek dokázala všechna aditiva zvýšit účinnost filtrů v porovnání s defaultní skupinou (mykorhiza až o 74 %), avšak jejich vliv nebyl statisticky prokázán, což je způsobeno nízkým počtem analyzovaných vzorků, $n=6$). Hydraulické zatížení filtrů či jejich stárnutí nemá prokazatelný vliv na jejich účinnost při snižování koncentrací TSS a nejvyšší celkové průměrné účinnosti dosahovala mykorhiza (63 %), následovaná biouhlem (31 %) a antukou (13 %). Kolísavý charakter koncentrací v ošetřené i neošetřené vodě je poté pravděpodobně důsledkem nepřesnosti měření, případně vypovídá o nehomogenním složení přípravků osobní hygieny a pracího prostředku, ze kterých byla šedá voda připravována (jak už naznačují dosažené výsledky u tenzidů), neboť křivky koncentrací celkových nerozpuštěných látek mají téměř shodný průběh pro všechny testované materiály (resp. výkyvy o podobném rozsahu nastávaly u všech materiálů ve stejné dny) a filtry již nebyly od určité koncentrace TSS schopny účinného odstraňování. Dosažená účinnost při snižování koncentrací TSS biouhlem je o 62 % nižší než účinnost, které ve svém experimentu dosáhl autor *Yaseen & kol. (2019)*. Také *Reddy & kol. (2014)* se zabýval účinností biouhlu při filtraci syntetické dešťové vody a dosáhl o 55 % vyšší účinnosti, než které bylo dosaženo v tomto experimentu. Ve filtračním loži filtrů (testovaných v této diplomové práci) byl obsažen také kompost, pro který v umělém mokřadu *Aslam & kol. (2007)* dosáhl účinnosti 48,5 %, což je vyšší účinnost, než byla v rámci tohoto experimentu dosažena všemi testovanými materiály, vyjma mykorhizy. *Abdel-Shafy & kol. (2014)* poté pro filtry obsahující pouze písek dosáhl účinnosti 48 až 74 %.

8.6 Další anionty (PO_4^{3-} , Cl^- , Br^- , F^- , SO_4^{2-})

Odstraňování fosforečnanů se přidáním antuky či biouhlu výrazně neovlivňovalo (v porovnání s defaultní skupinou, která dosahovala průměrné účinnosti 28 %), zatímco přidání mykorhizy přispělo ke zvýšení účinnosti filtrů, avšak ani tento vliv nebyl statisticky prokázán. Mykorhiza dosahovala průměrné účinnosti 44 %, antuka 36 % a biouhel 13 %. Vliv hydraulického zatížení filtrů či jejich stárnutí nemělo prokazatelný vliv na účinnost čištění. Směrodatné odchylky koncentrací na odtoku filtrů, případně v samotné šedé vodě, převyšují samotnou hodnotu průměrné koncentrace, což vypovídá o zásadní rozkolísanosti naměřených koncentrací v průběhu experimentu. V konečném důsledku směrodatná odchylka, resp. výkyvy v koncentracích na odtoku filtrů svědčí o částečné schopnosti filtrů při snižování koncentrací fosforečnanů, avšak od určité koncentrace již pravděpodobně filtry nedokáží účinně snižovat koncentrace fosforečnanů, a proto koncentrace na odtoku filtrů kolísají společně s koncentracemi v šedé vodě.

Samotná nekonstantnost koncentrací fosforečnanů v šedé vodě je pravděpodobně způsobena nehomogenním (resp. proměnlivým) složením přípravků osobní hygieny či pracího prostředku, ze kterých byla samotná šedá voda připravována, obdobně jako u parametru TSS.

Dosažená účinnost filtrů při odstraňování fosforečnanů byla v případě mykorhizy přibližně o 31 %, antuky o 50 % či biouhlu o 61 % nižší, než které pro tyto materiály ve svém experimentu dosáhl *Hladký (2021)*, což lze rovněž připsat nehomogenitě přípravků osobní hygieny a pracího prostředku, neboť i v jeho experimentu filtry vykazovaly relativně vysoké směrodatné odchylky (až 46 %). Účinností biouhlu při odstraňování fosforečnanů z šedé vody se zabýval také *Moges & kol. (2015)*, která dosáhl účinnosti 19,72 % a případně i *Berger (2012)*, jenž dosáhl účinnost 85,87 %. *Dalahmeh (2016)* poté dosáhl účinnosti 62 % pro biouhel vyrobený z tvrdého dřeva a 86 % pro biouhel ze dřeva vrbového. Také *Reddy & kol. (2014)* se zabýval účinností biouhlu při filtraci syntetické dešťové vody a pro fosforečnany dosáhl účinnosti 47 %. Ve filtračním loži filtrů (testovaných v této diplomové práci) byl obsažen také písek a default dosahoval nižších účinností při odstraňování fosforečnanů, než kterých dosáhli *Abdel-Shafy & kol. (2014)*, *Dalahmeh & kol. (2012)* či *Shaikh & Ahammed (2021)* ve filtrech obsahujících pouze písek.

Při odstraňování chloridů všechna aditiva dokázala přispět ke zvýšení účinnosti filtrů, avšak tento vliv nebyl statisticky prokázán. Rovněž byl prokázán statisticky významný vliv hydraulického zatížení na účinnost filtrů, tedy že s rostoucím hydraulickým zatížením klesá účinnost čištění, k čemuž došel i *Hladký (2021)*. V 1. skupině (proměnlivá saturace filtrů od 30 do 70 %) aditiva dosahovala průměrné účinnosti 4 %, zatímco ve 2. skupině (konstantní saturace filtrů 30 %) antuka vykazovala průměrnou účinnost 14 %, biouhel 13 % a mykorhiza 11 %. Dosažená účinnost filtrů 1. skupiny při odstraňování koncentrací chloridů byla v případě biouhlu, mykorhizy a antuky přibližně o 3 %; 4 % a 2 % nižší, než které pro tyto materiály ve svém experimentu dosáhl *Hladký (2021)*. U 2. skupiny poté byla dosažená účinnost pro biouhel, mykorhizu a antuku přibližně o 6 %; 2 % a 8 % vyšší.

Vliv hydraulického zatížení byl rovněž prokázán při odstraňování bromidů, kde pouze 2. skupina (s konstantní saturací 30 %) dokázala účinně snižovat jeho koncentrace (nižší hydraulické zatížení filtrů = vyšší účinnost filtrů). Ve 2. skupině si nejlépe vedl biouhel s průměrnou účinností 53 %, následovaný antukou (49 %) a mykorhizou (42 %). Dosažená účinnost filtrů 2. skupiny při odstraňování

koncentrací bromidů byla v případě antuky, mykorhizy a biouhlu přibližně o 9 % vyšší a o 3 %, respektive o 17 % nižší, než které dosáhl *Hladký (2021)*.

Účinného snižování koncentrací fluoridů a síranů poté dosaženo nebylo a aditiva neměla signifikantní vliv na účinnost filtrů v porovnání s defaultem, resp. pouze antuka prokazatelně ještě více navyšovala koncentrace fluoridů v ošetřované šedé vodě v porovnání s defaultem. Rovněž nebyl prokázán signifikantní vliv hydraulického zatížení či stárnutí filtrů na jejich účinnost. Stejného výsledku dosáhl i *Hladký (2021)*.

8.7 Vliv srážek

V rámci analýzy dat byly také sledovány denní srážkové úhrny, průměrné denní teploty a denní úhrn slunečního svitu, přičemž pro žádný ze sledovaných parametrů nebyl shledán prokazatelný a definovatelný vliv právě těchto faktorů na účinnost čištění. Ačkoliv tyto faktory teoreticky mohou ovlivňovat účinnost čištění, procesy probíhající uvnitř filtrů, proměnlivá koncentrace polutantů v ošetřované šedé vodě, odchylky při jejím dávkování a odběru vzorků, případně chyby při analýze vzorků (to vše ve smyslu nepřesností způsobených lidským faktorem, či faktorem prostředí) pravděpodobně znemožňují pozorovat jejich vliv při provádění experimentů tohoto rozsahu a provedení.

8.8 Konfrontace dosažených výsledků s přípustnými koncentracemi

Pro některé parametry, které byly sledovány v této práci, existují přípustné limity stanovené českými technickými normami, případně limity doporučené Světovou zdravotnickou organizací, a to s ohledem na způsob opětovného využití recyklované šedé vody. Jedním z takových parametrů je například zákal, pro které *ČSN EN 16941-2* stanovuje maximální přípustnou hodnotu 10 NTU při využití pro vysokotlaké mytí, postřik zahrad, mytí automobilů, splachování WC či praní, a ačkoliv syntetická šedá voda na vstupu do filtrů tuto podmínku nesplňovala, vhodným využitím testovaných aditiv bylo dosaženo splnění požadovaného limitu. *ČSN EN 16941-2* také stanovuje požadované pH ošetřené vody (5 až 9,5), což naplňovala ošetřená i neošetřená šedá voda.

Dalším z parametrů jsou celkové nerozpuštěné látky, pro které příručka WHO-EM/CEH/125/E (*WHO, 2006*) uvádí požadovanou koncentraci ≤ 10 mg/l pro využití ke splachování toalet, případně ≤ 20 mg/l pro zavlažování zeleniny, u níž je předpokládána konzumace bez tepelné úpravy, nebo ≤ 140 mg/l pro zavlažování okrasných rostlin, ovocných stromů a pícein. Ačkoliv syntetická šedá voda na vstupu

do filtrů nespĺňovala podmínku pro zavlařování zeleniny určené ke konzumaci, vhodným využitím testovaných aditiv bylo dosařeno splnění požadovaného limitu. Pořadovanou koncentraci pro využití recyklované ředé vody ke splachování toalet se vřak pomocí testovaných materiálů nepodařilo dosáhnout. ČSN EN 16941-2 poté požadavek pro nerozpuřtěné látky definuje slovně jako “Vizuálně čistá, bez plovoucích nečistot“, což vřak ořetřená ředá voda nenapĺňovala.

ČSN ISO 16075-1 stanovuje maximální koncentrace chloridů dle tolerantnosti rostlin, přičemř i neořetřená ředá voda splňovala nejpřísnějši pořadavky (koncentrace chloridů <250 mg/l) pro citlivé rostliny. Zmiňovaná česká technická norma hovořĩ také o přípustné koncentraci celkového dusĩku (<25 mg/l), kterou opět napĺňovala i neořetřená ředá voda. Přípustné koncentrace celkového dusĩku ale zmiňují také Pokyny pro bezpečné používání odpadních vod, exkrementů a ředých vod – svazek 2 (WHO, 2013), které v nejpřísnějši kategorii vyřadují koncentrace <5 mg/l, což neořetřená ředá voda nenapĺňovala, ale ořetřením bylo dosařeno vyhovujících koncentrací.

Dalřím z parametrů, jsou koncentrace mědi, pro které WHO (2013), nebo ČSN ISO 16075-1 stanovují maximální doporučenou koncentraci 0,20 mg/l při využití pro závlahy. Neořetřená ředá voda tuto podmínku pro měď nespĺňovala, avřak po ořetření ji spolehlivě napĺňovala. Pro koncentrace niklu a zinku poté uvedené zdroje uvádĩ doporučenou koncentraci 0,2 mg/l, respektive 2 mg/l, což napĺňovala i samotná neořetřená ředá voda, avřak dosařené účinnosti při odstraňování koncentrací niklu i zinku jasně vypovídají o účinném sniřování jejich koncentrací. Zmiňují také požadované koncentrace boru, avřak v rámci tohoto experimentu nebylo dosařeno jejich účinného sniřování. ČSN ISO 16075-1 hovořĩ i o koncentracích fluoridů, ale pro ty také nebylo dosařeno účinného sniřování.

Na základě kapitoly 3.2 (složení ředé vody) lze v současné legislativě České republiky pro opětovné využívání ředé vody upozornit na chybějící koncentrační limity farmak, resp. jejich metabolitů, neboť díky zavlařování zeleniny a ovoce určeného ke konzumaci (recyklovanou) ředou vodou se farmaka mohou dostat do potravy člověka.

9. Závěr

V experimentálních podmínkách bylo ve filtračním loži fyzikálních modelů zasakovacích pásů, resp. filtrů, testováno aditivum antuky, mykorhizy a biouhlu (nadále označovány jako “antuka“, “mykorhiza“ a “biouhel“) za účelem vyhodnocení vlivu těchto materiálů na odstraňování mikropolutantů nacházejících se v šedých vodách. Rovněž probíhalo testování účinnosti fyzikálních modelů zasakovacích pásů bez aditiva (nadále označovány jako “default“), aby bylo možné určit skutečný přínos daného aditiva na účinnost čištění.

Již samotné defaultní filtry dosahovaly uspokojivých výsledků při odstraňování celé řady polutantů, avšak v rámci experimentu bylo dosaženo účinného snižování (tzn. koncentrace v ošetřené šedé vodě byla signifikantně nižší než v šedé vodě neošetřené, na hladině významnosti 0,05) pouze koncentrací aniontových tenzidů (průměrná účinnost 98,89 %), mědi (95,96 %), niklu (95,19 %), zinku (94,95 %), celkového organického uhlíku (48,20 %), celkového dusíku (72,50 %), dusitanů (85,98 %), dusičnanů (v závislosti na hydraulickém zatížení 95,46 až 97,36 %) a případně i bromidů (při saturaci filtrů 30 % činila průměrná účinnost 17,51 %). Pro ostatní parametry nebylo dosaženo statisticky průkazného snižování koncentrací, respektive pro anorganický a celkový uhlík, nebo pro amoniakální dusík, fluoridy, sírany či bor nebylo dosaženo účinného odstraňování vůbec, neboť docházelo k výluhu polutantů z filtračních materiálů či filtry nebyly schopny účinného snižování koncentrací v ošetřované šedé vodě.

Statisticky významný vliv aditiva na účinnost čištění ($p < 0,05$) byl prokázán pouze 2x, konkrétně biouhel dokázal prokazatelně zvyšovat účinnost filtrů oproti defaultní skupině při odstraňování Flukonazolu (biouhel dosahoval průměrné účinnosti 89 %, což bylo o 58 % více než default) a antuka poté prokazatelně navyšovala koncentrace fluoridů v ošetřované šedé vodě v porovnání s defaultem (tzn. negativně ovlivňovala účinnost filtrů), avšak ani ostatní materiály nedosahovaly účinného odstraňování fluoridů. Aditiva dokázala také nepatrně zvýšit účinnost filtrů (tzn. filtry s obsahem aditiva vykazovaly vyšší účinnost o 5 % a více v porovnání s defaultem, avšak tento rozdíl nebyl vyhodnocen jako signifikantní, $p > 0,05$) při odstraňování dalších parametrů. Konkrétně se jednalo o odstraňování Ibuprofenu (biouhel zvýšil účinnost o 18 % vzhledem k defaultu), celkového organického uhlíku (biouhel, mykorhiza a antuka zvýšily účinnost o 16 %; 6 %; respektive 5 %), celkového dusíku (biouhel zvýšil účinnost o 7 %, mykorhiza a antuka o 5 %), dusitanů (biouhel a antuka zvýšily účinnost o 2 %, respektive 5 %), celkových nerozpuštěných látek

(biouhel, mykorhiza a antuka zvýšily účinnost o 42 %; 74 %; respektive 24 %), fosforečnanů (mykorhiza zvýšila účinnost o 17 %), chloridů (v závislosti na hydraulickém zatížení filtrů biouhel a mykorhiza zvýšily účinnost až o 14 %, či antuka až o 6 %) a bromidů (opět v závislosti na hydraulickém zatížení filtrů biouhel, mykorhiza a antuka zvýšily účinnost až o 36 %; 24 %; respektive 31 %).

Rovněž byl prokázán statistický vliv hydraulického zatížení na účinnost filtrů, jak již bylo naznačeno výše. Konkrétně při odstraňování dusičnanů s rostoucím hydraulickým zatížením roste účinnost filtrů, zatímco při odstraňování chloridů či bromidů s rostoucím hydraulickým zatížením filtrů jejich účinnost klesá. Také byla pozorována zvyšující se účinnost filtrů při konstantním provozu filtrů, která byla prokázána při snižování koncentrací celkového organického uhlíku a celkového dusíku. Při odstraňování zinku bylo poté v průběhu experimentu zaznamenáno mírné poklesnutí účinnosti, avšak stále filtry vykazovaly vysokou účinnost. Aditiva rovněž přispěla ke splnění některých přípustných limitů stanovených českými technickými normami, případně ke splnění limitů doporučených Světovou zdravotnickou organizací, a to s ohledem na způsob opětovného využití recyklované šedé vody.

I přesto, že v rámci této práce byly ověřeny a potvrzeny některé výsledky, kterých bylo dosaženo v bakalářské práci (Hladký, 2021), stále přetrvává nedostatečná relevance dosažených výsledků, neboť se jednalo pouze o fyzikální modely zasakovacích pásů, které nebyly zatěžovány ve skutečném provozu se skutečnou šedou vodou. Přesto však z této práce vyplývá prokazatelný potenciál biouhlu, případně neprokázaný potenciál antuky či mykorhizy, při odstraňování některých mikropolutantů z šedé vody, který nabádá k dalším experimentům zaměřeným na tyto materiály. V konečném důsledku filtrace testovanými materiály sama o sobě pravděpodobně nedokáže splnit všechny kvalitativní požadavky na užitkovou vodu, resp. recyklovanou šedou vodu, k čemuž došel i Hladký (2021), případně Thompson & kol. (2020) pro biouhel.

Z ekonomického hlediska však mykorhiza, vzhledem ke své pořizovací ceně, doposud neprokázala svůj potenciál a pravděpodobně ho ani v parametrech sledovaných v této práci neprokáže, neboť (neprokazatelně, $p > 0,05$) vyšších účinností než ostatní aditiva či default dosáhla pouze při odstraňování fosforečnanů, nebo celkových nerozpuštěných látek. Vhodnost aditiva antuky a biouhlu z ekonomického hlediska zůstává otevřena, avšak úloha biouhlu byla při odstraňování Flukonazolu nezastupitelná, jak je již vyřčeno výše.

10. Seznam literatury

10.1 Odborné publikace

- Abdel-Shafy, H. I., El-Khateeb, M. A., Shehata, M., 2014: Greywater treatment using different designs of sand filters. *Desalination and Water Treatment* 52(28-30), 5237-5242.
- Abudi, N. Z., 2011: The effect of sand filter characteristics on removal efficiency of organic matter from grey water. *Al-Qadisiyah Journal for Engineering Sciences* 4(2), 143-155.
- Alcala Jr., M., Jones, K. D., Ren, J., Andreassen, T. E., 2009: Compost product optimization for surface water nitrate treatment in biofiltration applications. *Bioresource Technology* 100(17), 3991-3996.
- Alderlieste, M. C., Langeveld, J. G., 2005: Wastewater planning in Djenné, Mali. A pilot project for the local infiltration of domestic wastewater. *Water Science and Technology* 51(2), 57-64.
- Al-Hamaiedeh, H., Bino, M., 2010: Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants. *Desalination* 256(1-3), 115-119.
- Al-Jayyousi, O. R., 2003: Greywater reuse: towards sustainable water management. *Desalination* 156(1-3), 181-192.
- Alsulaili, A. D., Hamoda, M. F., 2015: Quantification and characterization of greywater from schools. *Water Science and Technology* 72(11), 1973-1980.
- Aonghusa, C.N., Gray, N.F., 2002: Laundry detergents as a source of heavy metals in Irish domestic wastewater. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering* 37(1), 1-6.
- Ashfaq, A., Pathan, A., Mahar, R. B., Ansari, A. K., 2011: Preliminary Study of Greywater Treatment through Rotating Biological Contactor. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology* 30(3), 531-538.
- Aslam, M. M., Malik, M., Baig, M. A., Qazi, I. A., Iqbal, J., 2007: Treatment performances of compost-based and gravel-based vertical flow wetlands operated identically for refinery wastewater treatment in Pakistan. *Ecological Engineering* 30(1), 34-42.
- Ayers, R. S., Westcot, D. W. , 1985: Water quality for agriculture. Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 186 s.
- 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), 60-64.
- Bernhard, A. , 2010: The Nitrogen Cycle: Processes, Players, and Human Impact. *Nature Education Knowledge* 3(10), 25.

- Boano, F., Caruso, A., Costamagna, E., Ridolfi, L., Fiore, S., Demichelis, F., Galvão, A., Piseiro, J., Rizzo, A., Masi, F., 2019: A review of nature-based solutions for greywater treatment: applications, hydraulic design, and environmental benefits. *Science of The Total Environment* 134731, 1-82.
- Boyjoo, Y., Pareek, V. K., Ang, M., 2013: A review of greywater characteristics and treatment processes. *Water Science and Technology* 67, 1403-1424.
- Brdar-Jokanović, M., 2020: Boron Toxicity and Deficiency in Agricultural Plants. *International Journal of Molecular Sciences* 21(4), 1424: 1-20.
- Capriel, P., 2008: Hydrophobicity of organic matter in arable soils: influence of management. *European Journal of Soil Science* 48(3), 457-462.
- Ciabattia, I., Cesaro, F., Faralli, L., Fatarella, E., Tognotti, F., 2009: Demonstration of a treatment system for purification and reuse of laundry wastewater. *Desalination* 245, 451-459.
- 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, & Soil Pollution* 223(7), 3657-3671.
- Dalahmeh, S. S., Ahrens, L., Gros, M., Wiberg, K., Pell, M., 2018: Potential of biochar filters for onsite sewage treatment: Adsorption and biological degradation of pharmaceuticals in laboratory filters with active, inactive and no biofilm. *Science of The Total Environment* 612, 192-201.
- Del Porto, D., Steinfeld, C., 2000: *The Composting Toilet System Book: A Practical Guide to Choosing, Planning and Maintaining Composting Toilet Systems, a Water-saving, Pollution-preventing Alternative*. Center for Ecological Pollution Prevention (CEPP), Massachusetts, 235 s.
- Devi, R., Alemayehu, E., Singh, V., Kumar, A., Mengistie, E., 2008: Removal of fluoride, arsenic and coliform bacteria by modified homemade filter media from drinking water. *Bioresource Technology* 99(7), 2269-2274.
- Edwin, G. A., Gopalsamy, P., Muthu, N., 2013: Characterization of domestic gray water from point source to determine the potential for urban residential reuse: a short review. *Applied Water Science* 4(1), 39-49.
- El-Taweel, G. E., Ali, G. H., 2000: Evaluation of Roughing and Slow Sand Filters for Water Treatment. , 120(1-2), 21-28.
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., Ledin, A., 2002: Characteristics of grey wastewater. *Urban Water* 4(1), 85-104.
- Eriksson, E., Andersen, H. R., Madsen, T.S., Ledin, A., 2009: Greywater pollution variability and loadings. *Ecological Engineering* 35, 661-669.
- Faucette, L. B., Sefton, K. A., Sadeghi, A. M., Rowland, R. A., 2008: Sediment and phosphorus removal from simulated storm runoff with compost filter socks and silt fence. *Journal of Soil and Water Conservation* 63(4), 257-264

- Faucette, L. B., Cardoso-Gendreau, F. A., Codling, E., Sadeghi, A. M., Pachepsky, Y. A., Shelton, D. R., 2009: Storm Water Pollutant Removal Performance of Compost Filter Socks. *Journal of Environment Quality* 38(3), 1233-1239.
- Friedler, E., 2004: Quality of Individual Domestic Greywater Streams and its Implication for On-Site Treatment and Reuse Possibilities. *Environmental Technology* 25(9), 997-1008.
- Friedler, E., Hadari, M., 2006: Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings. *Desalination* 190(1-3), 221-234.
- Gautam, R. K., Navaratna, D., Muthukumar, S., Singh, A., More, I., More, N., 2021: Humic Substances: Its Toxicology, Chemistry and Biology Associated with Soil, Plants and Environment. In: Makan, A. (ed.): *Humic Substance*. IntechOpen, London: 1-13.
- Gross, A., Azulai, N., Oron, G., Ronen, Z., Arnold, M., Nejdat, A., 2005: Environmental impact and health risks associated with greywater irrigation: a case study. *Water Science and Technology* 52(8), 161-169.
- Gross, A., Wiel-Shafran, A., Bondarenko, N., Ronen, Z., 2008: Reliability of small scale greywater treatment systems and the impact of its effluent on soil properties. *International Journal of Environmental Studies* 65(1), 41-50.
- Gross, A., Maimon, A., Alfiya, Y., Friedler, E., 2015: *Greywater reuse*. CRC Press, Florida, 276 s.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Fujita, M., 2012: Plant Response to Salt Stress and Role of Exogenous Protectants to Mitigate Salt-Induced Damages. *Ecophysiology and Responses of Plants Under Salt Stress* (2), 25-87.
- Hopkinson, Ch. S., Giblin, A. E., 2008: Nitrogen dynamics of coastal salt marshes. In: Capone, D. G., Bronk, D. A., Mulholland, M. R., Carpenter, E. J. (eds.): *Nitrogen in the Marine Environment (Second Edition)*. Academic Press, Cambridge: 991-1036.
- Christova-Boal, D., Eden, R. E., McFarlane, S., 1996: An investigation into greywater reuse for urban residential properties. *Desalination* 106(1-3), 391-397.
- Jefferson, B., Laine, A., Parsons, S., Stephenson, T., Judd, S., 2000: Technologies for domestic wastewater recycling. *Urban Water* 1(4), 285-292.
- Jefferson, B., Burgess, J. E., Pichon, A., Harkness, J., Judd, S. J., 2001: Nutrient addition to enhance biological treatment of greywater. *Water Research* 35(11), 2702-2710.
- Jenkins, D., Russell, L. L., 1994: Heavy metals contribution of household washing products to municipal wastewater. *Water Environment Research* 66(6), 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), 818

- Keren, R., 1996: Boron. In: Sparks, D.L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H. (eds.): *Methods of soil analysis, Part 3: Chemical methods*. John Wiley & Sons, Hoboken: 603-626.
- Lazarova, V., Hills, S., Birks, R., 2003: Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing. *Water Science and Technology: Water Supply* 3(4), 69-77.
- Leal, L. H., Grietje, Z., Hardy, T., Buisman, C., 2007: Characterization and Biological Treatment of Grey Water. *Water science and technology* 56. 193-200.
- Lubbe E., Rodda, N., Naidoo, S., 2016: Effects of greywater irrigation on germination, growth and photosynthetic characteristics in selected African leafy vegetables. *Water SA* 42(2), 203-2012.
- Mandal, D., Labhasetwar, P., Dhone, S., Dubey, A. S., Shinde, G., Wate, S., 2011: Water conservation due to greywater treatment and reuse in urban setting with specific context to developing countries. *Resources, Conservation and Recycling* 55 (3), 356-361.
- March, J. ., Gual, M., Orozco, F., 2004: Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain). *Desalination* 164(3), 241-247.
- Merz, C., Scheumann, R., El Hamouri, B., Kraume, M., 2007: Membrane bioreactor technology for the treatment of greywater from a sports and leisure club. *Desalination* 215, 37-43.
- Metternicht, G. I., Zinck, J. A., 2003: Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment* 85(1), 1-20.
- 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), 607-625.
- Morel, A., Diener, S., 2006: Greywater management in low and middle-income countries: review of different treatment systems for households or neighbourhoods. *Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf*, 107 s.
- Muñoz, I., Rodríguez, A., Rosal, R., Fernández-Alba, A. R., 2009: Life Cycle Assessment of urban wastewater reuse with ozonation as tertiary treatment. *Science of The Total Environment* 407(4), 1245-1256.
- Nolde, E., 2000: Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings - over ten years experience in Berlin. *Urban Water* 1(4), 275-284.
- Okun, D. A., 1997: Distributing reclaimed water through dual systems. *Journal - American Water Works Association* 89(11), 52-64.

- Oppel, J., Broll, G., Loffler, D., Meller, M., Rombke, J., Ternes, T., 2004: Leaching behaviour of pharmaceuticals in soil-testing-systems: a part of an environmental risk assessment for groundwater protection. *Science of The Total Environment* 328(1-3), 265-273.
- Otterpohl, R., Albold, A., Oldenburg, M., 1999: Source control in urban sanitation and waste management: Ten systems with reuse of resources. *Water Science and Technology* 39(5), 153-160.
- Ottoson, J., Stenström, T. A., 2003: Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. *Water Research* 37, 645-655.
- Palacios, Y. M., Winfrey, B. K., 2020: Three mechanisms of mycorrhizae that may improve stormwater biofilter performance. *Ecological Engineering* 159: 106085, 1-8.
- Palmquist, H., Hanæus, J., 2005: Hazardous substances in separately collected grey- and blackwater from ordinary Swedish households. *Science of The Total Environment* 348, 151-163.
- Paulo, P. L., Begosso, L., Pansonato, N., Shrestha, R. R., Boncz, M. A., 2009: Design and configuration criteria for wetland systems treating greywater. *Water Science and Technology* 60(8), 2001-2007.
- Pitter, P., 2015: *Hydrochemie 5. vydání. VŠCHT Praha, Praha. 792 s.*
- Prathapar, S. A., Jamrah, A., Ahmed, M., Al Adawi, S., Al Sidairi, S., Al Harassi, A., 2005: Overcoming constraints in treated greywater reuse in Oman. *Desalination* 186, 177-186.
- Radjenovic, J., Petrovic, M., Barceló, D., 2006: Analysis of pharmaceuticals in wastewater and removal using a membrane bioreactor. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 387(4), 1365-1377.
- Radojević, M., 1967: Nitrite in rainwater. *Atmospheric Environment* 20(6), 1309-1310.
- Ramprasad, C., Philip, L., 2016: Surfactants and personal care products removal in pilot scale horizontal and vertical flow constructed wetlands while treating greywater. *Chemical Engineering Journal* 284, 458-468.
- Reddy, K. R., Xie, T., Dastgheibi, S., 2014: Evaluation of Biochar as a Potential Filter Media for the Removal of Mixed Contaminants from Urban Storm Water Runoff. *Journal of Environmental Engineering* 140(12): 04014043, 1-10.
- Rock, Ch., 2009: Gray Water: Too Precious to Waste. *Backyards & Beyond* 3(1), 11-12.
- Rodda, N., Salukazana, L., Jackson, S. A. F., Smith, M. T., 2011: Use of domestic greywater for small-scale irrigation of food crops: Effects on plants and soil. *Physics and Chemistry of the Earth* 36(14-15), 1051-1062.

- Romillac, N., 2019: Ammonification. *Encyclopedia of Ecology (Second Edition)* (2), 256-263.
- Seenirajan, M., Sasikumar, S., Antony, E., 2018: Design of Grey Water Treatment Units. *International Research Journal of Engineering and Technology* 5(5), 4243-4250.
- Shafran, A. W., Gross, A., Ronen, Z., Weisbrod, N., Adar, E., 2005: Effects of surfactants originating from reuse of greywater on capillary rise in the soil. *Water Science and Technology* 52(10-11), 157-166.
- Shaikh, I. N., Ahammed, M. M., 2021: Effect of operating mode on the performance of sand filters treating greywater. *Environmental Science and Pollution Research* 28, 38209-38223.
- Shi, K.-W., Wang, C.-W., Jiang, S. C. 2018: Quantitative microbial risk assessment of Greywater on-site reuse. *Science of The Total Environment* 635, 1507-1519.
- Singh, J., Kalamdhad, A. S., 2011: Effects of heavy metals on soil, plants, human health and aquatic life. *Int J Res Chem Environ* 1(2), 15-21.
- Stover, R. C., Sommers, L. E., Silveira, D. J., 1976: Evaluation of Metals in Wastewater Sludge. *Journal (Water Pollution Control Federation)* 48(9), 2165-2175.
- Thompson, K. A., Valencia, E. W., Summers, R. S., Cook, S. M., 2020: Sorption, coagulation, and biodegradation for graywater treatment. *Water Science and Technology* 81(10), 2152-2162.
- Turner, R. D. R., Warne, M. S. J., Dawes, L. A., Vardy, S., Will, G. D., 2016: Irrigated greywater in an urban sub-division as a potential source of metals to soil, groundwater and surface water. *Journal of Environmental Management* 183, 806-817.
- Ushijima, K., Ito, K., Ito, R., Funamizu, N., 2013: Greywater treatment by slanted soil system. *Ecological Engineering* 50, 62-68.
- Vuppaladadiyam, A. K., Merayo, N., Prinsen, P., Luque, R., Blanco, A., Zhao, M., 2019: A review on greywater reuse: quality, risks, barriers and global scenarios. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 18, 77-99.
- Wiel-Shafran, A., Ronen, Z., Weisbrod, N., Adar, E., Gross, A., 2006: Potential changes in soil properties following irrigation with surfactant-rich greywater. *Ecological Engineering* 26(4), 348-354.
- Wilderer, P. A., 2004: Applying sustainable water management concepts in rural and urban areas: some thoughts about reasons, means and needs. *Water Science and Technology* 49(7), 7-16.
- Winward, G. P., Avery, L. M., Frazer-Williams, R., Pidou, M., Jeffrey, P., Stephenson, T., Jefferson, B., 2008: A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse. *Ecological Engineering* 32(2), 187-197.

Yaseen, Z. M., Zigale, T. T., Tiyasha, Kumar, R. D., Salih, S. Q., Awasthi, S., Tung, T. M., Al-Ansari, N., Bhagat, S. K., 2019: Laundry wastewater treatment using a combination of sand filter, bio-char and teff straw media. Scientific reports 9: 18709, 1-11.

Zumft, W. G., 1997: Cell biology and molecular basis of denitrification. Microbiology and Molecular Biology Reviews 61(4), 533-616.

10.2 Legislativní zdroje

ČSN 75 6780: Využití šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2021. 40s

ČSN EN 16323: Slovník technických termínů v oblasti odpadních vod. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2018. 94s

ČSN EN 16941-2: Zařízení pro využití nepitné vody na místě - Část 2: Zařízení pro využití čištěné šedé vody. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2021. 32s

ČSN ISO 16075-1: Směrnice pro využití čištěných odpadních vod pro projekty závlah - Část 1: Základ projektu opětovného využití pro závlahy. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2021. 36s

10.3 Internetové zdroje

Agropress, ©2015: Huminové látky (online) [cit. 2023.03.20], dostupné z <www.agropress.cz/huminove-latky/>.

Bartáček, J., Dolejš, P., Kabelková, I., Matějů, L., Stránský, D., Šátková, B., 2021: Studie problematiky recyklace šedých vod v sídlech ČR (online) [cit. 2022-01-20], dostupné z <[www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/prioritni_osa_6_seznam_projektu/\\$FILE/ofeu-studie_sede_vody-20210517.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/prioritni_osa_6_seznam_projektu/$FILE/ofeu-studie_sede_vody-20210517.pdf)>.

Bartoník, A., Plotěný, K., 2012: Čištění šedých vod a možnost využití energie z nich (online) [cit. 2022.11.05], dostupné z <www.asio.cz/cz/153.cisteni-sedych-vod-a-moznost-vyuziti-energie-z-nich>.

Bílý, V., 2022: Informace o stavu zásobování pitnou vodou a o jakosti dodávané vody (online) [cit. 2022.11.04], dostupné z <www.eagri.cz/public/web/mze/tiskovy-servis/tiskove-zpravy/x2022_jakost-pitne-vody-v-cr-se-stale-zlepsuje.html>.

European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (EMCDDA), ©2021: Wastewater analysis and drugs — a European multi-city study (online) [cit. 2022.12.29], dostupné z <www.emcdda.europa.eu/publications/html/pods/waste-water-analysis_en>.

- European Environment Agency (EEA), ©2023: Water scarcity conditions in Europe (Water exploitation index plus) (online) [cit. 2023.03.9], dostupné z <www.eea.europa.eu/ims/use-of-freshwater-resources-in-europe-1>.
- enviprodukt, ©2018: Huminové kyseliny (online) [cit. 2023.03.20], dostupné z <www.enviprodukt.cz/clanek/huminove-kyseliny>.
- Hejátková, K., 2020: Živiny v kompostu (online) [cit. 2023.03.18], dostupné z <www.zeraagency.eu/file/669/z-i-v.pdf>.
- Kuru, B., Luettgen, M., 2012: Is gray-water reuse ready for prime time? (online) [cit. 2023.03.18], dostupné z <www.us.kohler.com/webassets/kpna/pressreleases/2012/KOHLER-GRAYWATER_111412.pdf, Accessed date: 3 September 2017>.
- McCarthy, N., 2019: Where Europeans Consume The Most Tap Water (online) [cit. 2022.12.28], dostupné z <www.statista.com/chart/19591/average-consumption-of-tap-water-per-person-in-the-eu/>.
- Preciuk, A., 2018: Spotřeba vody v Evropě - množství a kvalita představují velké výzvy (online) [cit. 2023.03.9], dostupné z <www.eea.europa.eu/cs/signaly/signaly-2018/clanky/spotreba-vody-v-evrope-2013>.
- SčVK - Severočeské vodovody a kanalizace, ©2020: Spotřeba vody (online) [cit. 2022.11.16], dostupné z <www.scvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody>.
- Shaw, E., 2017: "Why Do Plants & Animals Need Nitrogen? (online) [cit. 2023.03.19], dostupné z <sciencing.com/do-plants-animals-need-nitrogen-5869687.html>.
- Shimadzu, ©2023 (online) [cit. 2023.03.18], dostupné z <www.shimadzu.com/an/products/total-organic-carbon-analysis/en/what/01.html>.
- Small lake Praha s.r.o., ©2020: Zdroje vody (online) [cit. 2022.12.28], dostupné z <www.zavlazovaci-systemy.net/clanek/35/zdroje-vody/>.
- US EPA, ©2021: Indicators: Enterococci (online) [cit. 2023.02.02], dostupné z <www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-enterococci>.
- Úsporné Závlahy s.r.o., ©2020: Ekologické zavlažování (online) [cit. 2022.12.28], dostupné z <www.usporne-zavlahy.cz/ekologicke-zavlazovani/>.
- vodavdome.cz, ©2016: Co je to šedá voda? (online) [cit. 2022.11.13], dostupné z <www.vodavdome.cz/co-je-to-seda-voda>.
- vod-da.cz, ©2016: Informace o vodě (online) [cit. 2023.03.18], dostupné z <www.vo-da.cz/encyklopedie-wiki/informace-o-vode/>.
- Vodní Info, ©2022: Vyšel vám v rozboru vody vysoký celkový organický uhlík (TOC)? Co s tím? (online) [cit. 2023.03.18], dostupné z <vodniinfo.cz/problemy-vody/vysel-vam-v-rozboru-vody-vysoky-celkovy-organicky-uhlik-toc-co-s-tim/>.

10.4 Ostatní zdroje

- ANZECC/ARMCANZ, 2000: National Water Quality Management Strategy, Paper No. 4, Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality, volume 1, The guidelines (chapters 1-7), Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand. Canberra ACT, Australia, 314 s.
- Allen, L., Christian-Smith, J., Palaniappan, M., 2010: Overview of Greywater Reuse: The Potential of Greywater Systems to Aid Sustainable Water Management. Pacific Institute, Oakland, 41 s.
- Australian Government National Water Commission (NWC), 2008: Urban Greywater Design and Installation Handbook. Australian Government NWC, Turner, 98 s.
- Berger, C., 2012: Biochar and activated carbon filters for greywater treatment: comparison of organic matter and nutrient removal. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Energy and Technology, Uppsala. 45 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. SLU Swedish University of Agricultural Sciences.
- Dalahmeh, S. S., 2016: Capacity of biochar filters for wastewater treatment in onsite systems – Technical Report. SLU report 2016:090, SLU – Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 47 s.
- Department of Water Affairs and Forestry (DWAf), 1996: South African Water Quality Guidelines, Volume 4: Agricultural use: Irrigation. DWAf, Pretoria, 195 s.
- Diaper, C., Toifl, M., Storey, M., 2008: Greywater Technology Testing Protocol. CSIRO: Water for a Healthy Country National Research Flagship, Canberra, 45 s.
- Eriksson, E. H., 2002: Potential and problems related to reuse of water in households. Technical University of Denmark, Department of Environmental Engineering, Denmark. 51 s. (disertační práce). „nepublikováno“. Dep. DTU Orbit.
- Feyen, L., Ciscar, J. C., Gosling, S., Ibarreta, D., Soria, A. (eds.), 2020: Climate change impacts and adaptation in Europe. JRC PESETA IV final report. Publications Office of the European Union, Lucemburk, 71 s.
- Hamdan, B., 2022: Greywater infiltration treatment efficiency for the chemical load removal in different hydraulic loads using different biofilters. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. 85 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- Hawaii State Department of Health, 2009: Guidelines for the reuse of gray water. Hawai'i DOH, Honolulu, 78 s.

- Hečková, P., 2018: Fyzikální a hydraulické vlastnosti technogenní půdy pro dešťové zahrady. České vysoké učení technické, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Praha. 89 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. ČVUT DSpace.
- Hladký, R., 2021: Ověření vhodnosti různých filtračních materiálů pro čištění šedých vod zasakovacím pásem. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. 98 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- Kettnerová, M., 2018: Případová studie využití srážkových a šedých vod v budově základní školy. České vysoké učení technické, Katedra technických zařízení budov, Praha. 89 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. ČVUT DSpace.
- Komendová, D., 2017: Studie moderní kořenové čistírny pro obec Hlína. Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Brno. 68 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. Digitální knihovna VUT v Brně.
- Molaei, R., 2014: Pathogen and indicator organisms removal in artificial greywater subjected to aerobic treatment. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Energy and Technology, Uppsala. 55 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. SLU Swedish University of Agricultural Sciences.
- Natural Resource Management Ministerial Council (NRMMC), Environment Protection and Heritage Council (EPHC), Australian Health Ministers' Conference, 2006: Australian guidelines for water recycling: managing health and environmental risks (Phase 1). MRMMC, EPHC, Australia, 415 s.
- Pacific Institute, 2010: Overview of Greywater Reuse: The Potential of Greywater Systems to Aid Sustainable Water Management, 41 s.
- Pechač, M., 2022: Vliv typu filtračního materiálu na účinnost čištění šedých vod. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. 108 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- Sharvelle, S., Roesner, L. A., Qian, Y., Stromberger, M., Azar, M. N., 2012: Long-term-Study on Landscape Irrigation Using Household Graywater. WERF, Colorado, 153 S.
- Sidibe, M., 2014: Comparative study of bark, bio-char, activated charcoal filters for upgrading grey-water. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Energy and Technology, Uppsala. 35 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. SLU Swedish University of Agricultural Sciences.
- WHO, 2006: Overview of greywater management health considerations. Regional Office for the Eastern Mediterranean, Amman, 49 s.
- WHO, 2013: Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater - Volume 2. WHOPress, Geneva, 222 s.

WWAP 2018: The United Nations World Water Development Report 2018: Naturebased Solutions. UNESCO, Paris, 154 s.

WWAP, 2021: The United Nations world water development report 2021: valuing water. UNESCO, Paris, 206 s.

Younes D. E, Rod J. S. and Steven R. R., 2010: A Review of Salinity and Sodicity in Irrigation. CRC for Irrigation Futures, Queensland, 70 s.

11. Seznam grafů

Graf 7.1: Průběh koncentrací Flukonazolu (1. skupina)	80
Graf 7.2: Průběh koncentrací Flukonazolu (2. skupina)	80
Graf 7.3: Přehled koncentrací Flukonazolu naměřených v průběhu všech etap	81
Graf 7.4: Účinnost filtrů při snižování koncentrací Flukonazolu	83
Graf 7.5: Průběh koncentrací Ibuprofenu (1. skupina).....	86
Graf 7.6: Průběh koncentrací Ibuprofenu (2. skupina).....	86
Graf 7.7: Přehled koncentrací Ibuprofenu naměřených v průběhu 1. a 2. etapy	87
Graf 7.8: Účinnost filtrů při snižování koncentrací Ibuprofenu	88
Graf 7.9: Přehled koncentrací tenzidů naměřených v průběhu všech etap.....	91
Graf 7.10: Účinnost filtrů při snižování koncentrací aniontových tenzidů	92
Graf 7.11: Přehled koncentrací boru naměřených v průběhu všech etap	94
Graf 7.12: Účinnost filtrů při snižování koncentrací boru	95
Graf 7.13: Přehled koncentrací mědi naměřených v průběhu všech etap	98
Graf 7.14: Účinnost filtrů při snižování koncentrací mědi.....	99
Graf 7.15: Přehled koncentrací niklu naměřených v průběhu všech etap.....	102
Graf 7.16: Účinnost filtrů při snižování koncentrací niklu	103
Graf 7.17: Přehled koncentrací zinku naměřených v průběhu všech etap.....	106
Graf 7.18: Účinnost filtrů při snižování koncentrací zinku	107
Graf 7.19: Přehled koncentrací TOC naměřených v průběhu všech etap.....	110
Graf 7.20: Účinnost filtrů při snižování koncentrací TOC.....	112
Graf 7.21: Přehled koncentrací IC naměřených v průběhu všech etap.....	114
Graf 7.22: Účinnost filtrů při snižování koncentrací IC.....	115
Graf 7.23: Přehled koncentrací TC naměřených v průběhu všech etap	117
Graf 7.24: Účinnost filtrů při snižování koncentrací TC	118
Graf 7.25: Přehled koncentrací TN naměřených v průběhu všech etap	121
Graf 7.26: Účinnost filtrů při snižování koncentrací TN	123
Graf 7.27: Přehled koncentrací dusitanů naměřených v průběhu všech etap.....	126
Graf 7.28: Účinnost filtrů při snižování koncentrací dusitanů	127
Graf 7.29: Přehled koncentrací dusičnanů naměřených v průběhu všech etap	130
Graf 7.30: Účinnost filtrů při snižování koncentrací dusičnanů	131
Graf 7.31: Přehled koncentrací NH ₄ -N naměřených v průběhu všech etap	133
Graf 7.32: Účinnost filtrů při snižování koncentrací amoniakálního dusíku	134
Graf 7.33: Přehled koncentrací fosforečnanů naměřených v průběhu všech etap	137
Graf 7.34: Účinnost filtrů při snižování koncentrací fosforečnanů.....	138
Graf 7.35: Průběh koncentrací TSS (1. skupina).....	141
Graf 7.36: Průběh koncentrací TSS (2. skupina).....	141
Graf 7.37: Přehled koncentrací TSS naměřených v průběhu všech etap	142

Graf 7.38: Účinnost filtrů při snižování koncentrací TSS	143
Graf 7.39: Přehled hodnot zákalu naměřených v průběhu 2., 3. a 4. etapy	146
Graf 7.40: Účinnost filtrů při snižování hodnot zákalu	147
Graf 7.41: Přehled pH hodnot naměřených v průběhu všech etap	149
Graf 7.42: Přehled hodnot konduktivity naměřených v průběhu všech etap	151
Graf 7.43: Účinnost filtrů při snižování hodnot konduktivity	153
Graf 7.44: Přehled koncentrací fluoridů naměřených v průběhu všech etap.....	155
Graf 7.45: Účinnost filtrů při snižování koncentrací fluoridů.....	156
Graf 7.46: Přehled koncentrací chloridů naměřených v průběhu všech etap.....	159
Graf 7.47: Účinnost filtrů při snižování koncentrací chloridů.....	161
Graf 7.48: Přehled koncentrací bromidů naměřených v průběhu všech etap	164
Graf 7.49: Účinnost filtrů při snižování koncentrací bromidů	165
Graf 7.50: Přehled koncentrací síranů naměřených v průběhu všech etap	167
Graf 7.51: Účinnost filtrů při snižování koncentrací síranů	168

12. Seznam tabulek

Tab. 3.1: Obsah těžkých kovů a dalších prvků v šedé vodě (1./2).....	8
Tab. 3.2: Obsah těžkých kovů a dalších prvků v šedé vodě (2./2).....	9
Tab. 3.3: Další vybrané charakteristiky šedé vody (1./2).....	10
Tab. 3.4: Další vybrané charakteristiky šedé vody (2./2).....	11
Tab. 3.5: Toxicita vybraných elementů pro zemědělské plodiny.....	17
Tab. 4.1: Přípustné limity pro opětovné použití šedé vody dle WHO-EM/CEH/125/E (WHO, 2006).....	22
Tab. 4.2: Maximální doporučené koncentrace vybraných elementů v odpadní vodě pro závlahy zemědělských plodin s ohledem na toxicitu dle WHO (2013).....	23
Tab. 4.3: Přípustné limity pro opětovné použití odpadní vody v zemědělství pro závlahy dle WHO (2013).....	24
Tab. 4.4: Celkový a mikrobiologický monitoring dle ČSN EN 16941-2.....	26
Tab. 4.5: Zkušební metody a druhy vnitřního vodovodu dle ČSN EN 16941-2 pro jednotlivé ukazatele celkového a mikrobiologického monitoringu.....	27
Tab. 4.6: Příklad maximálních koncentrací vybraných parametrů v čištěné odpadní vodě využitě pro závlahy dle ČSN ISO 16075-1.....	28
Tab. 4.7: Příklad maximálních úrovní faktorů solnosti v čištěné odpadní vodě využitě pro závlahy dle ČSN ISO 16075-1.....	29
Tab. 5.1: Účinnost biouhlu při odstraňování vybraných polutantů z šedé vody (Moges & kol., 2015).....	31
Tab. 5.2: Přehled vybraných parametrů kvality šedé vody a účinnost čištění pomocí biouhlu (Berger, 2012).....	32
Tab. 5.3: Účinnost biouhlu při odstraňování koncentrací vybraných parametrů z šedé vody (Sidibe, 2014).....	34
Tab. 5.4: Vybrané parametry šedé vody na vtoku a odtoku filtrů obsahujících biouhel (Yaseen & kol., 2019).....	35
Tab. 5.5: Suroviny pro výrobu biouhlu a způsob pyrolýzy (Thompson & kol., 2020).....	36
Tab. 5.6: Přehled vybraných parametrů kvality odpadní vody před a po filtraci pomocí biouhlu (Kaetzl & kol., 2018).....	37
Tab. 5.7: Přehled vybraných parametrů kvality odpadní vody před a po filtraci pomocí biouhlu z tvrdého či vrbového dřeva (Dalahmeh, 2016).....	38
Tab. 5.8: Přehled koncentrací vybraných parametrů před a po filtraci pomocí biouhlu (Dalahmeh & kol., 2018).....	39
Tab. 5.9: Koncentrace farmaceuticky aktivní sloučeniny v odpadní vodě a na odtoku filtrů (Dalahmeh & kol., 2018).....	39
Tab. 5.10: Účinnost biouhlu při odstraňování vybraných parametrů (Hladký, 2021).....	40
Tab. 5.11: Vybrané parametry a účinnost jejich odstraňování z vody pomocí biouhlu.....	41

Tab. 5.12: Koncentrace vybraných parametrů v šedé vodě a účinnost jejich odstraňování při použití drcených cihel (<i>Ushijima & kol., 2013</i>)	42
Tab. 5.13: Příspěvek odstranění vybraných parametrů při využití drcených cihel (<i>Devi & kol., 2008</i>)	43
Tab. 5.14: Účinnost antuky při odstraňování vybraných parametrů (<i>Hladký, 2021</i>)	44
Tab. 5.15: Účinnost mykorhizy při odstraňování vybraných parametrů (<i>Hladký, 2021</i>)	45
Tab. 5.16: Účinnost pískového filtru při odstraňování vybraných parametrů a jejich koncentrace v šedé vodě (<i>Dalahmeh & kol., 2012</i>).....	46
Tab. 5.17: Účinnost pískových filtrů při odstraňování vybraných parametrů (<i>Abdel-Shafy & kol., 2014</i>)	47
Tab. 5.18: Charakteristiky šedé vody po sedimentaci a na odtoku z filtrů během 1. etapy, případně účinnosti filtrů (<i>Shaikh & Ahammed, 2021</i>).....	49
Tab. 5.19: Účinnost pískového filtru při odstraňování vybraných parametrů a výčet jejich koncentrací v surové vodě (<i>El-Taweel & Ali, 2000</i>).....	50
Tab. 5.20: Účinnost pískových filtrů v oblasti biologických charakteristik (<i>El-Taweel & Ali, 2000</i>)	51
Tab. 5.21: Vybrané parametry a účinnost jejich odstraňování z vody pomocí písku	51
Tab. 5.22: Složení odpadní vody a průměrná účinnost mokřadů při odstraňování vybraných parametrů (<i>Aslam & kol., 2007</i>)	53
Tab. 5.23: Účinnosti odstraňování polutantů z dešťové vody pomocí filtračních ponožek naplněných kompostem (<i>Faucette & kol., 2009</i>).....	54
Tab. 5.24: Procentuální zastoupení frakcí v kompostových filtračních médiích (<i>Faucette & kol., 2008</i>)	55
Tab. 5.25: Průměrné účinnosti odstraňování vybraných polutantů z dešťové vody pomocí filtračních ponožek naplněných kompostem (<i>Faucette & kol., 2008</i>)	56
Tab. 6.1: Objemové složení technogenní půdy s příměsí aditiva	60
Tab. 6.2: Orientační cena aditiv a objemové zastoupení aditiv.....	61
Tab. 6.3: Produkty osobní hygieny a prací prostředek použité pro přípravu syntetické šedé vody	62
Tab. 6.4: Složení šedé vody – množství kontaminantů na 1 litr.....	63
Tab. 6.5: Složení šedé vody – množství kontaminantů na 1 litr.....	64
Tab. 6.6: Saturace filtrů.....	66
Tab. 6.7: Množství kontaminantů na barel dle saturace	67
Tab. 6.8: Tabulární souhrn etap.....	69
Tab. 6.9: Detekční limity a rozsahy měření jednotlivých přístrojů	71
Tab. 7.1: Koncentrace (průměr \pm směrodatná odchylka) polutantů v šedé a ošetřené vodě pro 1. skupinu filtrů (všechny etapy).....	75
Tab. 7.2: Koncentrace (průměr \pm směrodatná odchylka) polutantů v šedé a ošetřené vodě pro 2. skupinu filtrů (všechny etapy).....	76

Tab. 7.3: Účinnost (průměr ± směrodatná odchylka) jednotlivých filtrů v 1. skupině při odstraňování polutantů z šedé vody (všechny etapy).....	77
Tab. 7.4: Účinnost (průměr ± směrodatná odchylka) jednotlivých filtrů ve 2. skupině při odstraňování polutantů z šedé vody (všechny etapy).....	78
Tab. 7.5: Signifikantní rozdíly v koncentracích Flukonazolu	84
Tab. 7.6: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování Flukonazolu (mezi etapami).....	84
Tab. 7.7: Signifikantní rozdíly v koncentracích Ibuprofenu.....	89
Tab. 7.8: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování Ibuprofenu (mezi etapami).....	89
Tab. 7.9: Signifikantní rozdíly v koncentracích aniontových tenzidů.....	93
Tab. 7.10: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování aniontových tenzidů (mezi etapami).....	93
Tab. 7.11: Signifikantní rozdíly v koncentracích boru.....	96
Tab. 7.12: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování boru (mezi etapami).....	96
Tab. 7.13: Signifikantní rozdíly v koncentracích mědi.....	100
Tab. 7.14: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování mědi (mezi etapami).....	100
Tab. 7.15: Signifikantní rozdíly v koncentracích niklu.....	104
Tab. 7.16: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování niklu (mezi etapami).....	104
Tab. 7.17: Signifikantní rozdíly v koncentracích zinku.....	108
Tab. 7.18: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování zinku (mezi etapami).....	108
Tab. 7.19: Signifikantní rozdíly v koncentracích TOC.....	113
Tab. 7.20: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování TOC (mezi etapami).....	113
Tab. 7.21: Signifikantní rozdíly v koncentracích IC.....	116
Tab. 7.22: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování IC (mezi etapami).....	116
Tab. 7.23: Signifikantní rozdíly v koncentracích TC.....	119
Tab. 7.24: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování TC (mezi etapami).....	119
Tab. 7.25: Signifikantní rozdíly v koncentracích TN.....	124
Tab. 7.26: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování TN (mezi etapami).....	124
Tab. 7.27: Signifikantní rozdíly v koncentracích dusitanů.....	128
Tab. 7.28: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování dusitanů (mezi etapami).....	128
Tab. 7.29: Signifikantní rozdíly v koncentracích dusičnanů.....	132

Tab. 7.30: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování dusičnanů (mezi etapami).....	132
Tab. 7.31: Signifikantní rozdíly v koncentracích amoniakálního dusíku.....	135
Tab. 7.32: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování amoniakálního dusíku (mezi etapami).....	135
Tab. 7.33: Signifikantní rozdíly v koncentracích fosforečnanů.....	139
Tab. 7.34: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování fosforečnanů (mezi etapami).....	139
Tab. 7.35: Signifikantní rozdíly v koncentracích TSS.....	144
Tab. 7.36: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování TSS (mezi etapami).....	144
Tab. 7.37: Signifikantní rozdíly v hodnotách zákalu.....	148
Tab. 7.38: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování zákalu (mezi etapami).....	148
Tab. 7.39: Signifikantní rozdíly v hodnotách pH.....	150
Tab. 7.40: Signifikantní rozdíly účinností při snižování hodnot pH (mezi etapami)..	150
Tab. 7.41: Signifikantní rozdíly v hodnotách konduktivity.....	154
Tab. 7.42: Signifikantní rozdíly účinností při snižování hodnot konduktivity (mezi etapami).....	154
Tab. 7.43: Signifikantní rozdíly v koncentracích fluoridů.....	157
Tab. 7.44: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování fluoridů (mezi etapami).....	157
Tab. 7.45: Signifikantní rozdíly v koncentracích chloridů.....	162
Tab. 7.46: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování chloridů (mezi etapami).....	162
Tab. 7.47: Signifikantní rozdíly v koncentracích bromidů.....	166
Tab. 7.48: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování bromidů (mezi etapami).....	166
Tab. 7.49: Signifikantní rozdíly v koncentracích síranů.....	169
Tab. 7.50: Signifikantní rozdíly v účinnostech filtrů při odstraňování síranů (mezi etapami).....	169

13. Seznam obrázků

Obr. 6.1: Barely, resp. filtry na experimentální ploše ČZU (Radim Hladký, 2022).....	59
Obr. 6.2: Řez fyzikálním modelem zasakovacího pásu – kótováno v mm (Radim Hladký, 2022)	59
Obr. 6.3: (Zprava) Produkty osobní hygieny, prací prostředek a výsledná směs pro přípravu syntetické šedé vody (Radim Hladký, 2022)	61
Obr. 6.4: Navážené sloučeniny pro přípravu roztoku s kovy (Radim Hladký, 2022)	62
Obr. 6.5: IBC kontejner o objemu 1000 l (Radim Hladký, 2022).....	63
Obr. 6.6: Detail rozstřikovače při aplikaci šedé vody (Radim Hladký, 2022).....	64
Obr. 6.7: Rozmístění rozstřikovačů ve filtru (Radim Hladký, 2022)	64
Obr. 6.8: Vypouštění filtrů dne 23.9.2022 (Radim Hladký, 2022).....	65
Obr. 6.9: Identifikace skupin filtrů (Radim Hladký, 2022).....	65
Obr. 6.10: Příprava směšného vzorku (Radim Hladký, 2021).....	66
Obr. 6.11: Odebrané vzorky pro analýzu (Radim Hladký, 2022)	66
Obr. 6.12: Měření (zleva) pH, konduktivity a zákalu (Radim Hladký, 2022).....	69
Obr. 6.13: Analýza šedé vody – přefiltrované vzorky (Radim Hladký, 2022)	70

14. Seznam příloh

Příloha 1: Naměřené koncentrace (průměr ± směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 1. skupinu filtrů (první etapa)	207
Příloha 2: Naměřené koncentrace (průměr ± směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 2. skupinu filtrů (první etapa)	208
Příloha 3: Dosažené účinnosti (průměr ± směrodatná odchylka) materiálů v 1. skupině filtrů během první etapy	209
Příloha 4: Dosažené účinnosti (průměr ± směrodatná odchylka) materiálů ve 2. skupině filtrů během první etapy	210
Příloha 5: Naměřené koncentrace (průměr ± směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 1. skupinu filtrů (druhá etapa)	211
Příloha 6: Naměřené koncentrace (průměr ± směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 2. skupinu filtrů (druhá etapa)	212
Příloha 7: Dosažené účinnosti (průměr ± směrodatná odchylka) materiálů v 1. skupině filtrů během druhé etapy	213
Příloha 8: Dosažené účinnosti (průměr ± směrodatná odchylka) materiálů ve 2. skupině filtrů během druhé etapy	214
Příloha 9: Naměřené koncentrace (průměr ± směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 1. skupinu filtrů (třetí etapa)	215
Příloha 10: Naměřené koncentrace (průměr ± směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 2. skupinu filtrů (třetí etapa)	216
Příloha 11: Dosažené účinnosti (průměr ± směrodatná odchylka) materiálů v 1. skupině filtrů během třetí etapy	217
Příloha 12: Dosažené účinnosti (průměr ± směrodatná odchylka) materiálů ve 2. skupině filtrů během třetí etapy	218
Příloha 13: Naměřené koncentrace (průměr ± směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 1. skupinu filtrů (čtvrtá etapa).....	219
Příloha 14: Naměřené koncentrace (průměr ± směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 2. skupinu filtrů (čtvrtá etapa).....	220
Příloha 15: Dosažené účinnosti (průměr ± směrodatná odchylka) materiálů v 1. skupině filtrů během čtvrté etapy	221
Příloha 16: Dosažené účinnosti (průměr ± směrodatná odchylka) materiálů ve 2. skupině filtrů během čtvrté etapy	222
Příloha 17: Koncentrace a účinnost odstraňování amoniakálního dusíku v jednotlivých etapách.....	223
Příloha 18: Přehled koncentrací Flukonazolu naměřených v průběhu první etapy	224
Příloha 19: Přehled koncentrací Flukonazolu naměřených v průběhu druhé etapy	224
Příloha 20: Přehled koncentrací Flukonazolu naměřených v průběhu třetí etapy ..	224
Příloha 21: Přehled koncentrací Flukonazolu naměřených v průběhu čtvrté etapy	225
Příloha 22: Přehled koncentrací Ibuprofenu naměřených v průběhu první etapy ..	225

Příloha 23: Přehled koncentrací Ibuprofenu naměřených v průběhu druhé etapy	225
Příloha 24: Průběh koncentrací aniontových tenzidů (1. skupina)	226
Příloha 25: Průběh koncentrací aniontových tenzidů (2. skupina)	226
Příloha 26: Přehled koncentrací aniont. tenzidů naměřených v průběhu první etapy	227
Příloha 27: Přehled koncentrací aniont. tenzidů naměřených v průběhu druhé etapy	227
Příloha 28: Přehled koncentrací aniont. tenzidů naměřených v průběhu třetí etapy	227
Příloha 29: Přehled koncentrací aniont. tenzidů naměřených v průběhu čtvrté etapy	228
Příloha 30: Průběh koncentrací boru (1. skupina)	228
Příloha 31: Průběh koncentrací boru (2. skupina)	229
Příloha 32: Přehled koncentrací boru naměřených v průběhu první etapy	229
Příloha 33: Přehled koncentrací boru naměřených v průběhu druhé etapy	230
Příloha 34: Přehled koncentrací boru naměřených v průběhu třetí etapy	230
Příloha 35: Přehled koncentrací boru naměřených v průběhu čtvrté etapy	230
Příloha 36: Průběh koncentrací mědi (1. skupina)	231
Příloha 37: Průběh koncentrací mědi (2. skupina)	231
Příloha 38: Přehled koncentrací mědi naměřených v průběhu první etapy	232
Příloha 39: Přehled koncentrací mědi naměřených v průběhu druhé etapy	232
Příloha 40: Přehled koncentrací mědi naměřených v průběhu třetí etapy	232
Příloha 41: Přehled koncentrací mědi naměřených v průběhu čtvrté etapy	233
Příloha 42: Průběh koncentrací niklu (1. skupina)	233
Příloha 43: Průběh koncentrací niklu (2. skupina)	234
Příloha 44: Přehled koncentrací niklu naměřených v průběhu první etapy	234
Příloha 45: Přehled koncentrací niklu naměřených v průběhu druhé etapy	235
Příloha 46: Přehled koncentrací niklu naměřených v průběhu třetí etapy	235
Příloha 47: Přehled koncentrací niklu naměřených v průběhu čtvrté etapy	235
Příloha 48: Průběh koncentrací zinku (1. skupina)	236
Příloha 49: Průběh koncentrací zinku (2. skupina)	236
Příloha 50: Přehled koncentrací zinku naměřených v průběhu první etapy	237
Příloha 51: Přehled koncentrací zinku naměřených v průběhu druhé etapy	237
Příloha 52: Přehled koncentrací zinku naměřených v průběhu třetí etapy	237
Příloha 53: Přehled koncentrací zinku naměřených v průběhu čtvrté etapy	238
Příloha 54: Průběh koncentrací TOC (1. skupina)	238
Příloha 55: Průběh koncentrací TOC (2. skupina)	239
Příloha 56: Přehled koncentrací TOC naměřených v průběhu první etapy	239
Příloha 57: Přehled koncentrací TOC naměřených v průběhu druhé etapy	240

Příloha 58: Přehled koncentrací TOC naměřených v průběhu třetí etapy.....	240
Příloha 59: Přehled koncentrací TOC naměřených v průběhu čtvrté etapy	240
Příloha 60: Průběh koncentrací IC (1. skupina).....	241
Příloha 61: Průběh koncentrací IC (2. skupina).....	241
Příloha 62: Přehled koncentrací IC naměřených v průběhu první etapy	242
Příloha 63: Přehled koncentrací IC naměřených v průběhu druhé etapy.....	242
Příloha 64: Přehled koncentrací IC naměřených v průběhu třetí etapy.....	242
Příloha 65: Přehled koncentrací IC naměřených v průběhu čtvrté etapy	243
Příloha 66: Průběh koncentrací TC (1. skupina)	243
Příloha 67: Průběh koncentrací TC (2. skupina)	244
Příloha 68: Přehled koncentrací TC naměřených v průběhu první etapy.....	244
Příloha 69: Přehled koncentrací TC naměřených v průběhu druhé etapy	245
Příloha 70: Přehled koncentrací TC naměřených v průběhu třetí etapy	245
Příloha 71: Přehled koncentrací TC naměřených v průběhu čtvrté etapy	245
Příloha 72: Průběh koncentrací TN (1. skupina)	246
Příloha 73: Průběh koncentrací TN (2. skupina)	246
Příloha 74: Přehled koncentrací TN naměřených v průběhu první etapy.....	247
Příloha 75: Přehled koncentrací TN naměřených v průběhu druhé etapy	247
Příloha 76: Přehled koncentrací TN naměřených v průběhu třetí etapy	247
Příloha 77: Přehled koncentrací TN naměřených v průběhu čtvrté etapy	248
Příloha 78: Průběh koncentrací dusitanů (1. skupina).....	248
Příloha 79: Průběh koncentrací dusitanů (2. skupina).....	249
Příloha 80: Přehled koncentrací dusitanů naměřených v průběhu první etapy	249
Příloha 81: Přehled koncentrací dusitanů naměřených v průběhu druhé etapy	250
Příloha 82: Přehled koncentrací dusitanů naměřených v průběhu třetí etapy	250
Příloha 83: Přehled koncentrací dusitanů naměřených v průběhu čtvrté etapy	250
Příloha 84: Průběh koncentrací dusičnanů (1. skupina)	251
Příloha 85: Průběh koncentrací dusičnanů (2. skupina)	251
Příloha 86: Přehled koncentrací dusičnanů naměřených v průběhu první etapy ...	252
Příloha 87: Přehled koncentrací dusičnanů naměřených v průběhu druhé etapy ..	252
Příloha 88: Přehled koncentrací dusičnanů naměřených v průběhu třetí etapy	252
Příloha 89: Přehled koncentrací dusičnanů naměřených v průběhu čtvrté etapy ..	253
Příloha 90: Průběh koncentrací NH ₄ -N (1. skupina)	253
Příloha 91: Průběh koncentrací NH ₄ -N (2. skupina)	254
Příloha 92: Přehled koncentrací NH ₄ -N naměřených v průběhu první etapy	254
Příloha 93: Přehled koncentrací NH ₄ -N naměřených v průběhu druhé etapy	255
Příloha 94: Přehled koncentrací NH ₄ -N naměřených v průběhu třetí etapy	255
Příloha 95: Přehled koncentrací NH ₄ -N naměřených v průběhu čtvrté etapy	255

Příloha 96: Průběh koncentrací fosforečnanů (1. skupina).....	256
Příloha 97: Průběh koncentrací fosforečnanů (2. skupina).....	256
Příloha 98: Přehled koncentrací fosforečnanů naměřených v průběhu první etapy	257
Příloha 99: Přehled koncentrací fosforečnanů naměřených v průběhu druhé etapy	257
Příloha 100: Přehled koncentrací fosforečnanů naměřených v průběhu třetí etapy	257
Příloha 101: Přehled koncentrací fosforečnanů naměřených v průběhu čtvrté etapy	258
Příloha 102: Přehled koncentrací TSS naměřených v průběhu třetí etapy	258
Příloha 103: Přehled koncentrací TSS naměřených v průběhu čtvrté etapy.....	258
Příloha 104: Průběh hodnot zákalu (1. skupina)	259
Příloha 105: Průběh hodnot zákalu (2. skupina)	259
Příloha 106: Přehled hodnot zákalu naměřených v průběhu druhé etapy	260
Příloha 107: Přehled hodnot zákalu naměřených v průběhu třetí etapy	260
Příloha 108: Přehled hodnot zákalu naměřených v průběhu čtvrté etapy.....	260
Příloha 109: Průběh hodnot pH (1. skupina)	261
Příloha 110: Průběh hodnot pH (2. skupina)	261
Příloha 111: Přehled pH hodnot naměřených v průběhu první etapy	262
Příloha 112: Přehled pH hodnot naměřených v průběhu druhé etapy	262
Příloha 113: Přehled pH hodnot naměřených v průběhu třetí etapy	262
Příloha 114: Přehled pH hodnot naměřených v průběhu čtvrté etapy.....	263
Příloha 115: Průběh hodnot konduktivity (1. skupina)	263
Příloha 116: Průběh hodnot konduktivity (2. skupina)	264
Příloha 117: Přehled hodnot konduktivity naměřených v průběhu první etapy	264
Příloha 118: Přehled hodnot konduktivity naměřených v průběhu druhé etapy	265
Příloha 119: Přehled hodnot konduktivity naměřených v průběhu třetí etapy	265
Příloha 120: Přehled hodnot konduktivity naměřených v průběhu čtvrté etapy.....	265
Příloha 121: Průběh koncentrací fluoridů (1. skupina).....	266
Příloha 122: Průběh koncentrací fluoridů (2. skupina).....	266
Příloha 123: Přehled koncentrací fluoridů naměřených v průběhu první etapy	267
Příloha 124: Přehled koncentrací fluoridů naměřených v průběhu druhé etapy.....	267
Příloha 125: Přehled koncentrací fluoridů naměřených v průběhu třetí etapy.....	267
Příloha 126: Přehled koncentrací fluoridů naměřených v průběhu čtvrté etapy	268
Příloha 127: Průběh koncentrací chloridů (1. skupina).....	268
Příloha 128: Průběh koncentrací chloridů (2. skupina).....	269
Příloha 129: Přehled koncentrací chloridů naměřených v průběhu první etapy	269
Příloha 130: Přehled koncentrací chloridů naměřených v průběhu druhé etapy	270

Příloha 131: Přehled koncentrací chloridů naměřených v průběhu třetí etapy	270
Příloha 132: Přehled koncentrací chloridů naměřených v průběhu čtvrté etapy	270
Příloha 133: Průběh koncentrací bromidů (1. skupina)	271
Příloha 134: Průběh koncentrací bromidů (2. skupina)	271
Příloha 135: Přehled koncentrací bromidů naměřených v průběhu první etapy.....	272
Příloha 136: Přehled koncentrací bromidů naměřených v průběhu druhé etapy ...	272
Příloha 137: Přehled koncentrací bromidů naměřených v průběhu třetí etapy	272
Příloha 138: Přehled koncentrací bromidů naměřených v průběhu čtvrté etapy	273
Příloha 139: Průběh koncentrací síranů (1. skupina)	273
Příloha 140: Průběh koncentrací síranů (2. skupina)	274
Příloha 141: Přehled koncentrací síranů naměřených v průběhu první etapy.....	274
Příloha 142: Přehled koncentrací síranů naměřených v průběhu druhé etapy	275
Příloha 143: Přehled koncentrací síranů naměřených v průběhu třetí etapy	275
Příloha 144: Přehled koncentrací síranů naměřených v průběhu čtvrté etapy.....	275

15. Přílohy

V rámci příloh jsou zahrnuty přehledové tabulky pro jednotlivé etapy (Příloha 1 až 16, respektive 17). Rovněž jsou zahrnuty grafy zachycující průběhy hodnot či koncentrací pro všechny sledované parametry, vyjma Flukonazolu, Ibuprofenu a TSS (ty jsou uvedeny přímo u příslušné podkapitoly ve výsledcích). V neposlední řadě přílohy zahrnují i krabicové grafy zachycující naměřené hodnoty či koncentrace v průběhu jednotlivých etap.

Parametr	Jednotky	Šedá voda		Default		Antuka		Mykorhiza		Biouhel	
		Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N
pH	-	7,39 ± 0,11	15	6,93 ± 0,05	11	7,03 ± 0,08	11	6,92 ± 0,07	11	6,99 ± 0,07	11
Konduktivita	uS/cm	386 ± 4	15	721 ± 57	11	758 ± 61	11	662 ± 52	11	697 ± 60	11
TOC	mg/l	66,8 ± 7,98	15	45,09 ± 18,45	11	36,85 ± 3,71	11	37,39 ± 5,28	11	29,46 ± 2,87	11
IC	mg/l	13,66 ± 1,03	15	74,47 ± 11,76	11	81,92 ± 12,73	11	67,86 ± 12,06	11	70,89 ± 10,84	11
TC	mg/l	80,46 ± 8,32	15	119,57 ± 23,19	11	118,77 ± 15,20	11	105,25 ± 15,46	11	100,35 ± 11,25	11
TN	mg/l	7,38 ± 0,50	15	2,66 ± 0,67	11	2,31 ± 0,35	11	2,59 ± 0,77	11	2,40 ± 0,82	11
Fluoridy	mg/l	0,22 ± 0,06	15	0,32 ± 0,04	11	0,48 ± 0,13	11	0,35 ± 0,09	11	0,29 ± 0,03	11
Chloridy	mg/l	29,88 ± 1,69	15	36,09 ± 10,44	11	32,51 ± 1,47	11	32,42 ± 1,55	11	32,72 ± 1,56	11
Dusitany	mg/l	0,09 ± 0,22	15	<0,01	11	0,01 ± 0,02	11	<0,01	11	<0,01	11
Dusičnany	mg/l	24,81 ± 1,18	15	0,46 ± 0,22	11	0,55 ± 0,32	11	0,38 ± 0,19	11	0,34 ± 0,28	11
Bromidy	mg/l	<0,02	15	0,03 ± 0,04	11	0,02 ± 0,02	11	0,03 ± 0,03	11	0,13 ± 0,21	11
Fosforečnany	mg/l	1,20 ± 0,78	15	2,44 ± 1,26	11	1,57 ± 0,51	11	1,99 ± 0,90	11	2,33 ± 1,10	11
Sírany	mg/l	43,96 ± 1,94	15	35,43 ± 10,72	11	39,28 ± 8,68	11	36,20 ± 11,97	11	41,83 ± 8,60	11
Tenzidy	mg/l	99,02 ± 28,19	10	2,18 ± 0,59	6	2,03 ± 0,76	6	1,49 ± 0,59	6	0,80 ± 0,38	6
Bor (B)	mg/l	0,9813 ± 0,1117	13	0,9955 ± 0,1432	10	0,9700 ± 0,1101	10	0,9720 ± 0,2236	10	1,0112 ± 0,1517	10
Měď (Cu)	mg/l	0,1849 ± 0,0482	13	0,009 ± 0,0064	10	0,0069 ± 0,0067	10	0,0070 ± 0,0059	10	0,0104 ± 0,006	10
Nikl (Ni)	mg/l	0,1846 ± 0,0508	13	0,0101 ± 0,0037	10	0,0102 ± 0,0028	10	0,0092 ± 0,0030	10	0,0083 ± 0,0013	10
Zinek (Zn)	mg/l	0,1936 ± 0,0596	13	0,0016 ± 0,0022	10	0,0012 ± 0,0019	10	0,0009 ± 0,0013	10	0,0059 ± 0,0087	10
Flukonazol	ng/l	11176 ± 935	2	3811 ± 1060	2	4291 ± 660	2	3097 ± 768	2	1331 ± 351	2
Ibuprofen	ng/l	10226 ± 66	2	2608 ± 497	2	2979 ± 765	2	1361 ± 355	2	911 ± 249	2
Poznámka: Saturace filtrů (1. skupina) v průběhu etapy 70 %; N jako počet vzorků											

Příloha 1: Naměřené koncentrace (průměr ± směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 1. skupinu filtrů (první etapa)

Parametr	Jednotky	Šedá voda		Default		Antuka		Mykorhiza		Biouhel	
		Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N
pH	-	7,39 ± 0,11	15	7,07 ± 0,08	11	7,14 ± 0,10	11	7,08 ± 0,08	11	7,16 ± 0,11	11
Konduktivita	uS/cm	386 ± 4	15	914 ± 47	11	940 ± 42	11	793 ± 33	11	862 ± 35	11
TOC	mg/l	66,8 ± 7,98	15	44,42 ± 4,92	11	40,32 ± 5,01	11	40,57 ± 7,64	11	29,60 ± 3,95	11
IC	mg/l	13,66 ± 1,03	15	99,36 ± 8,47	11	100,05 ± 9,35	11	81,93 ± 8,16	11	89,80 ± 7,18	11
TC	mg/l	80,46 ± 8,32	15	143,78 ± 12,70	11	140,37 ± 13,70	11	122,50 ± 14,55	11	119,40 ± 9,79	11
TN	mg/l	7,38 ± 0,50	15	2,62 ± 0,38	11	2,34 ± 0,36	11	2,16 ± 0,38	11	1,56 ± 0,18	11
Fluoridy	mg/l	0,22 ± 0,06	15	0,53 ± 0,07	11	0,87 ± 0,12	11	0,66 ± 0,10	11	0,61 ± 0,09	11
Chloridy	mg/l	29,88 ± 1,69	15	28,90 ± 3,07	11	26,47 ± 4,37	11	27,32 ± 2,82	11	26,69 ± 3,41	11
Dusitany	mg/l	0,09 ± 0,22	15	0,02 ± 0,04	11	<0,01 ± 0,01	11	0,04 ± 0,09	11	0,03 ± 0,05	11
Dusičnany	mg/l	24,81 ± 1,18	15	0,44 ± 0,26	11	0,42 ± 0,24	11	0,40 ± 0,16	11	0,38 ± 0,10	11
Bromidy	mg/l	<0,02	15	<0,02 ± 0,01	11	<0,02	11	<0,02	11	<0,02	11
Fosforečnany	mg/l	1,20 ± 0,78	15	0,65 ± 0,20	11	0,65 ± 0,20	11	0,52 ± 0,18	11	0,78 ± 0,27	11
Sírany	mg/l	43,96 ± 1,94	15	58,07 ± 14,46	11	65,87 ± 11,52	11	60,32 ± 17,95	11	64,06 ± 7,36	11
Tenzidy	mg/l	99,02 ± 28,19	10	0,97 ± 0,31	6	0,49 ± 0,07	6	0,54 ± 0,19	6	0,33 ± 0,36	6
Bor (B)	mg/l	0,9813 ± 0,1117	13	0,9733 ± 0,1695	10	1,0556 ± 0,1913	10	0,9120 ± 0,1754	10	0,9759 ± 0,0893	10
Měď (Cu)	mg/l	0,1849 ± 0,0482	13	0,0108 ± 0,0069	10	0,0096 ± 0,0056	10	0,0139 ± 0,0057	10	0,0118 ± 0,0091	10
Nikl (Ni)	mg/l	0,1846 ± 0,0508	13	0,0131 ± 0,0020	10	0,0107 ± 0,0024	10	0,0111 ± 0,0025	10	0,0077 ± 0,0016	10
Zinek (Zn)	mg/l	0,1936 ± 0,0596	13	0,0028 ± 0,0029	10	0,0029 ± 0,0028	10	0,0020 ± 0,0027	10	0,0007 ± 0,0012	10
Flukonazol	ng/l	11176 ± 935	2	3254 ± 483	2	3029 ± 1106	2	2760 ± 437	2	361 ± 13	2
Ibuprofen	ng/l	10226 ± 66	2	755 ± 463	2	242 ± 85	2	239 ± 106	2	33 ± 2	2
Poznámka: Konstantní saturace filtrů (2. skupina) v průběhu experimentu (30 %); N jako počet vzorků											

Příloha 2: Naměřené koncentrace (průměr ± směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 2. skupinu filtrů (první etapa)

Parametr	Účinnost [%] 1. skupiny filtrů (saturace 70 %)			
	Default	Antuka	Mykorhiza	Biouhel
TOC	30,35 ± 30,97	43,47 ± 8,62	42,61 ± 10,50	54,76 ± 7,23
IC	-464,79 ± 97,92	-520,86 ± 104,29	-414,56 ± 98,54	-437,28 ± 89,02
TC	-52,99 ± 35,54	-51,53 ± 25,31	-34,30 ± 24,14	-28,00 ± 19,75
TN	64,11 ± 8,74	68,78 ± 4,83	65,34 ± 9,63	68,00 ± 10,18
Fluoridy	-67,89 ± 50,29	-152,85 ± 90,37	-81,55 ± 64,68	-51,69 ± 37,38
Chloridy	-18,85 ± 33,88	-7,07 ± 6,24	-6,72 ± 5,44	-7,68 ± 5,02
Dusitany*	87,80 ± 10,50	87,80 ± 10,50	78,50 ± 22,90	87,80 ± 10,50
Dusičnany	98,18 ± 0,84	97,84 ± 1,22	98,52 ± 0,72	98,65 ± 1,07
Bromidy*	-262,00 ± 140,24	-142,25 ± 49,37	-168,57 ± 76,00	-543,64 ± 1038,80
Fosforečnany*	-27,03 ± 81,26	8,04 ± 53,87	-6,83 ± 72,41	-20,44 ± 72,84
Sírany	20,47 ± 22,38	11,63 ± 17,48	18,81 ± 24,91	5,97 ± 16,45
Tenzidy	97,95 ± 0,69	98,06 ± 0,87	98,64 ± 0,56	99,20 ± 0,49
Bor (B)	0,19 ± 9,99	4,80 ± 9,62	0,49 ± 14,03	-2,78 ± 7,53
Měď (Cu)	96,32 ± 2,17	97,60 ± 1,51	96,88 ± 2,91	95,27 ± 2,76
Nikl (Ni)	95,48 ± 1,04	95,38 ± 0,55	95,85 ± 0,81	95,97 ± 0,61
Zinek (Zn)	99,21 ± 1,02	99,56 ± 0,73	99,64 ± 0,67	97,40 ± 4,23
Flukonazol	66,46 ± 6,68	61,83 ± 2,71	72,68 ± 4,58	88,27 ± 2,16
Ibuprofen	74,53 ± 4,70	70,92 ± 7,29	86,71 ± 3,39	91,11 ± 2,37
Poznámka:	*Pro účely výpočtu účinnosti filtrů byly nulové koncentrace nahrazeny detekčním limitem přístroje, výsledná účinnost je tedy pouze orientační			

Příloha 3: Dosažené účinnosti (průměr ± směrodatná odchylka) materiálů v 1. skupině filtrů během první etapy

Parametr	Účinnost [%] 2. skupiny filtrů (konstantní saturace 30 %)			
	Default	Antuka	Mykorhiza	Biouhel
TOC	32,07 ± 9,61	38,39 ± 8,82	38,25 ± 11,13	55,18 ± 3,92
IC	-653,37 ± 80,95	-658,62 ± 86,91	-521,29 ± 74,50	-580,50 ± 66,61
TC	-83,06 ± 24,17	-78,78 ± 24,75	-55,69 ± 22,21	-51,47 ± 15,52
TN	64,65 ± 5,62	68,38 ± 5,27	70,79 ± 5,40	79,09 ± 1,71
Fluoridy	-179,37 ± 72,13	-356,74 ± 109,15	-246,01 ± 88,14	-219,99 ± 90,64
Chloridy	5,03 ± 8,57	13,29 ± 11,59	10,20 ± 8,14	12,37 ± 9,14
Dusitany*	60,00 ± 41,21	86,82 ± 9,61	-8,83 ± 136,22	66,56 ± 20,34
Dusičnany	98,24 ± 1,07	98,35 ± 0,93	98,42 ± 0,61	98,51 ± 0,35
Bromidy*	-135,00 ± 25,00	-35,00 ± 0,00	-55,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Fosforečnany*	57,90 ± 29,48	59,42 ± 23,88	66,39 ± 22,44	52,08 ± 31,63
Sírany	-30,71 ± 30,28	-48,33 ± 22,51	-35,85 ± 39,10	-44,80 ± 17,00
Tenzidy	99,11 ± 0,29	99,54 ± 0,12	99,51 ± 0,13	99,71 ± 0,27
Bor (B)	1,48 ± 10,07	-8,29 ± 6,86	9,20 ± 15,06	3,41 ± 5,22
Měď (Cu)	94,59 ± 3,64	95,06 ± 2,89	92,58 ± 3,07	93,74 ± 4,91
Nikl (Ni)	93,41 ± 1,19	94,75 ± 1,38	94,48 ± 1,57	96,10 ± 0,89
Zinek (Zn)	98,81 ± 1,39	98,62 ± 1,30	98,97 ± 1,28	99,64 ± 0,51
Flukonazol	71,05 ± 1,90	73,54 ± 7,68	75,46 ± 1,86	96,74 ± 0,38
Ibuprofen	92,65 ± 4,48	97,64 ± 0,82	97,67 ± 1,02	99,68 ± 0,02
Poznámka:	*Pro účely výpočtu účinnosti filtrů byly nulové koncentrace nahrazeny detekčním limitem přístroje, výsledná účinnost je tedy pouze orientační			

Příloha 4: Dosažené účinnosti (průměr ± směrodatná odchylka) materiálů ve 2. skupině filtrů během první etapy

Parametr	Jednotky	Šedá voda		Default		Antuka		Mykorhiza		Biouhel	
		Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N
pH	-	7,29 ± 0,11	17	6,95 ± 0,07	17	7,15 ± 0,07	17	6,91 ± 0,09	17	7,07 ± 0,08	17
Konduktivita	uS/cm	406 ± 51	17	681 ± 65	17	757 ± 40	17	585 ± 71	17	636 ± 51	17
Zákal	NTU	51,44 ± 3,38	4	2,88 ± 0,10	4	2,89 ± 1,05	4	4,82 ± 1,18	4	2,55 ± 0,75	4
TOC	mg/l	71,75 ± 15,85	14	21,87 ± 5,77	17	23,05 ± 5,34	17	20,93 ± 5,01	17	18,30 ± 3,18	17
IC	mg/l	13,45 ± 1,89	15	55,34 ± 11,45	17	68,18 ± 8,66	17	44,38 ± 10,75	17	53,38 ± 7,97	17
TC	mg/l	85,35 ± 14,81	14	77,21 ± 14,88	17	91,23 ± 9,73	17	65,32 ± 14,09	17	71,68 ± 10,13	17
TN	mg/l	8,83 ± 1,18	15	1,63 ± 0,46	17	1,50 ± 0,54	17	1,50 ± 0,42	17	1,54 ± 0,39	17
Fluoridy	mg/l	0,12 ± 0,02	15	0,20 ± 0,05	17	0,35 ± 0,05	17	0,20 ± 0,05	17	0,20 ± 0,03	17
Chloridy	mg/l	37,13 ± 6,06	15	34,00 ± 4,38	17	32,50 ± 1,27	17	31,15 ± 1,76	17	32,13 ± 1,19	17
Dusitany	mg/l	0,29 ± 0,24	15	<0,01	17	<0,01	17	<0,01	17	<0,01	17
Dusičnany	mg/l	26,80 ± 1,59	15	1,75 ± 1,00	17	2,01 ± 1,31	17	2,13 ± 1,38	17	2,36 ± 1,72	17
Bromidy	mg/l	0,05 ± 0,01	15	<0,02	17	<0,02 ± 0,01	17	<0,02	17	0,02 ± 0,02	17
Fosforečnany	mg/l	0,26 ± 0,32	15	0,55 ± 0,22	17	0,49 ± 0,12	17	0,22 ± 0,21	17	0,60 ± 0,10	17
Sírany	mg/l	46,20 ± 1,12	15	63,35 ± 25,64	17	58,95 ± 21,74	17	62,54 ± 21,69	17	56,63 ± 18,17	17
Tenzidy	mg/l	76,62 ± 16,88	9	0,57 ± 0,28	10	0,59 ± 0,30	10	0,39 ± 0,30	10	0,44 ± 0,16	10
Bor (B)	mg/l	0,9568 ± 0,0760	13	1,0453 ± 0,0721	11	0,9932 ± 0,0614	11	1,0351 ± 0,1205	11	0,9811 ± 0,0921	11
Měď (Cu)	mg/l	0,2214 ± 0,0217	13	0,0092 ± 0,0051	11	0,0086 ± 0,0042	11	0,0091 ± 0,0041	11	0,0097 ± 0,0068	11
Nikl (Ni)	mg/l	0,1948 ± 0,0136	13	0,0062 ± 0,0020	11	0,0069 ± 0,0023	11	0,0061 ± 0,0020	11	0,0059 ± 0,0018	11
Zinek (Zn)	mg/l	0,2604 ± 0,0367	13	0,0233 ± 0,0179	11	0,0273 ± 0,0183	11	0,0198 ± 0,0146	11	0,0292 ± 0,0178	11
Flukonazol	ng/l	15550 ± 150	2	9175 ± 2725	2	9860 ± 1940	2	9005 ± 3795	2	1740 ± 340	2
Ibuprofen	ng/l	2030 ± 1470	2	805 ± 355	2	1290 ± 600	2	560 ± 0	1	1290 ± 0	1

Poznámka: Saturace filtrů (1. skupina) v průběhu etapy 30 %; N jako počet vzorků

Příloha 5: Naměřené koncentrace (průměr ± směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 1. skupinu filtrů (druhá etapa)

Parametr	Jednotky	Šedá voda		Default		Antuka		Mykorhiza		Biouhel	
		Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N
pH	-	7,29 ± 0,11	17	7,05 ± 0,08	17	7,21 ± 0,07	17	7,06 ± 0,11	17	7,19 ± 0,08	17
Konduktivita	uS/cm	406 ± 51	17	825 ± 68	17	823 ± 45	17	712 ± 55	17	780 ± 47	17
Zákal	NTU	51,44 ± 3,38	4	14,73 ± 3,00	4	11,53 ± 2,00	4	13,93 ± 1,56	4	9,15 ± 1,84	4
TOC	mg/l	71,75 ± 15,85	14	27,05 ± 5,79	17	25,02 ± 6,49	17	25,90 ± 6,46	17	21,35 ± 4,05	17
IC	mg/l	13,45 ± 1,89	15	77,96 ± 11,98	17	76,37 ± 9,36	17	66,49 ± 9,01	17	74,92 ± 6,05	17
TC	mg/l	85,35 ± 14,81	14	105,01 ± 15,99	17	101,39 ± 10,98	17	92,39 ± 13,09	17	96,27 ± 8,71	17
TN	mg/l	8,83 ± 1,18	15	1,66 ± 0,49	17	1,39 ± 0,45	17	1,36 ± 0,38	17	1,22 ± 0,39	17
Fluoridy	mg/l	0,12 ± 0,02	15	0,34 ± 0,05	17	0,53 ± 0,14	17	0,42 ± 0,07	17	0,41 ± 0,06	17
Chloridy	mg/l	37,13 ± 6,06	15	32,68 ± 5,12	17	30,32 ± 3,13	17	31,36 ± 3,97	17	30,60 ± 3,41	17
Dusitany	mg/l	0,29 ± 0,24	15	<0,01	17	<0,01	17	<0,01	17	<0,01	17
Dusičnany	mg/l	26,80 ± 1,59	15	0,62 ± 0,31	17	0,47 ± 0,32	17	0,42 ± 0,24	17	0,61 ± 0,36	16
Bromidy	mg/l	0,05 ± 0,01	15	<0,02 ± 0,01	17	<0,02	17	<0,02	17	<0,02	17
Fosforečnany	mg/l	0,26 ± 0,32	15	0,52 ± 0,11	17	0,48 ± 0,07	17	0,36 ± 0,18	17	0,70 ± 0,12	17
Sírany	mg/l	46,20 ± 1,12	15	54,63 ± 20,27	17	59,44 ± 10,69	17	54,55 ± 17,88	17	52,08 ± 9,57	17
Tenzidy	mg/l	76,62 ± 16,88	9	0,52 ± 0,23	10	0,39 ± 0,21	10	0,30 ± 0,20	10	0,22 ± 0,12	10
Bor (B)	mg/l	0,9568 ± 0,0760	13	1,0129 ± 0,0709	11	1,0239 ± 0,0766	11	1,0657 ± 0,1300	11	0,9887 ± 0,1097	11
Měď (Cu)	mg/l	0,2214 ± 0,0217	13	0,0107 ± 0,0054	11	0,0120 ± 0,0071	11	0,0145 ± 0,0081	11	0,0138 ± 0,0061	11
Nikl (Ni)	mg/l	0,1948 ± 0,0136	13	0,0092 ± 0,0033	11	0,0079 ± 0,0042	11	0,0075 ± 0,0022	11	0,0054 ± 0,0015	11
Zinek (Zn)	mg/l	0,2604 ± 0,0367	13	0,0229 ± 0,0144	11	0,0265 ± 0,0090	11	0,0198 ± 0,0101	11	0,0355 ± 0,0094	11
Flukonazol	ng/l	15550 ± 150	2	7200 ± 2420	2	9330 ± 3570	2	6195 ± 2405	2	895 ± 105	2
Ibuprofen	ng/l	2030 ± 1470	2	1063 ± 938	2	1060 ± 820	2	1585 ± 1285	2	378 ± 253	2

Poznámka: Konstantní saturace filtrů (2. skupina) v průběhu experimentu (30 %); N jako počet vzorků

Příloha 6: Naměřené koncentrace (průměr ± směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 2. skupinu filtrů (druhá etapa)

Parametr	Účinnost [%] 1. skupiny filtrů (saturace 30 %)			
	Default	Antuka	Mykorrhiza	Biouhel
Zákal	94,39 ± 0,37	94,24 ± 2,55	90,56 ± 2,47	95,07 ± 1,34
TOC	66,18 ± 11,91	65,25 ± 10,36	67,91 ± 10,45	72,47 ± 7,77
IC	-323,43 ± 72,39	-413,91 ± 75,25	-240,45 ± 64,91	-308,70 ± 58,87
TC	2,60 ± 24,99	-11,89 ± 25,47	17,31 ± 22,62	10,74 ± 19,18
TN	80,04 ± 6,60	81,91 ± 7,40	82,34 ± 5,90	82,62 ± 5,19
Fluoridy	-74,82 ± 65,46	-200,58 ± 83,74	-74,62 ± 66,34	-71,30 ± 46,28
Chloridy	8,09 ± 17,22	10,26 ± 13,10	13,93 ± 13,19	11,34 ± 13,15
Dusitany*	93,62 ± 4,96	93,62 ± 4,96	93,31 ± 4,75	93,52 ± 4,88
Dusičnany	93,43 ± 4,12	92,53 ± 4,99	92,24 ± 5,55	91,65 ± 6,90
Bromidy*	43,36 ± 31,49	40,06 ± 26,69	44,38 ± 22,51	22,99 ± 41,38
Fosforečnany*	-8,54 ± 36,46	0,34 ± 39,64	49,77 ± 47,76	-10,5 ± 33,34
Sírany	-34,95 ± 57,35	-25,27 ± 49,20	-34,22 ± 48,73	-20,78 ± 41,57
Tenzidy	99,16 ± 0,32	99,10 ± 0,37	99,41 ± 0,45	99,35 ± 0,37
Bor (B)	-9,65 ± 12,38	-4,18 ± 11,30	-8,75 ± 17,10	-2,97 ± 13,71
Měď (Cu)	95,82 ± 2,45	96,16 ± 1,85	95,91 ± 1,83	95,74 ± 2,89
Nikl (Ni)	96,79 ± 1,11	96,42 ± 1,24	97,10 ± 1,35	96,99 ± 0,94
Zinek (Zn)	91,46 ± 6,07	89,95 ± 6,23	92,74 ± 4,93	89,23 ± 6,03
Flukonazol	40,82 ± 18,09	36,47 ± 13,09	41,85 ± 24,97	88,79 ± 2,29
Ibuprofen	43,25 ± 23,61	11,39 ± 34,61	80,84 ± 3,16	70,41 ± 7,27
Poznámka:	*Pro účely výpočtu účinnosti filtrů byly nulové koncentrace nahrazeny detekčním limitem přístroje, výsledná účinnost je tedy pouze orientační			

Příloha 7: Dosažené účinnosti (průměr ± směrodatná odchylka) materiálů v 1. skupině filtrů během druhé etapy

Parametr	Účinnost [%] 2. skupiny filtrů (konstantní saturace 30 %)			
	Default	Antuka	Mykorhiza	Biouhel
Zákal	71,13 ± 6,66	77,25 ± 5,64	72,91 ± 2,47	82,07 ± 3,91
TOC	58,80 ± 12,18	62,24 ± 11,23	61,69 ± 10,54	67,91 ± 8,81
IC	-493,56 ± 91,73	-474,98 ± 80,55	-407,54 ± 89,15	-467,27 ± 71,93
TC	-30,71 ± 32,15	-24,70 ± 28,58	-13,42 ± 22,98	-18,20 ± 22,99
TN	80,09 ± 6,71	83,27 ± 6,23	83,77 ± 5,22	85,54 ± 5,24
Fluoridy	-197,59 ± 86,42	-356,73 ± 175,37	-271,07 ± 117,19	-255,90 ± 101,85
Chloridy	10,71 ± 16,23	16,98 ± 14,69	14,21 ± 16,21	16,57 ± 14,48
Dusitany*	93,62 ± 4,96	93,62 ± 4,96	93,62 ± 4,96	93,62 ± 4,96
Dusičnany	97,68 ± 1,31	98,28 ± 1,26	98,49 ± 0,91	97,71 ± 1,35
Bromidy*	37,18 ± 46,20	52,13 ± 11,6	48,47 ± 15,57	52,13 ± 11,60
Fosforečnany*	7,84 ± 28,42	12,56 ± 28,48	41,03 ± 38,74	-26,03 ± 45,03
Sírany	-16,32 ± 42,92	-28,16 ± 21,39	-17,61 ± 37,86	-12,87 ± 20,03
Tenzidy	99,26 ± 0,29	99,48 ± 0,24	99,56 ± 0,31	99,69 ± 0,14
Bor (B)	-6,09 ± 10,63	-7,39 ± 12,24	-11,62 ± 15,49	-3,71 ± 14,95
Měď (Cu)	95,20 ± 2,53	94,49 ± 3,48	93,42 ± 3,76	93,77 ± 2,82
Nikl (Ni)	95,25 ± 1,78	95,91 ± 2,19	96,43 ± 1,58	97,21 ± 0,77
Zinek (Zn)	91,59 ± 4,74	90,00 ± 3,11	92,56 ± 3,71	86,59 ± 2,54
Flukonazol	53,54 ± 16,01	39,77 ± 23,54	60,01 ± 15,85	94,24 ± 0,73
Ibuprofen	60,27 ± 17,41	51,71 ± 5,43	32,21 ± 14,21	79,84 ± 2,16
Poznámka:	*Pro účely výpočtu účinnosti filtrů byly nulové koncentrace nahrazeny detekčním limitem přístroje, výsledná účinnost je tedy pouze orientační			

Příloha 8: Dosažené účinnosti (průměr ± směrodatná odchylka) materiálů ve 2. skupině filtrů během druhé etapy

Parametr	Jednotky	Šedá voda		Default		Antuka		Mykorhiza		Biouhel	
		Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N
pH	-	7,11 ± 0,10	3	6,60 ± 0,24	3	6,84 ± 0,18	3	6,66 ± 0,18	3	6,70 ± 0,20	3
Konduktivita	uS/cm	421 ± 58	3	581 ± 39	3	671 ± 95	3	544 ± 37	3	556 ± 49	3
Zákal	NTU	22,58 ± 1,88	3	4,63 ± 2,57	3	5,35 ± 1,98	3	4,20 ± 2,07	3	4,26 ± 3,45	3
TSS	mg/l	23,1 ± 10,1	3	27,5 ± 24,0	3	22,5 ± 17,9	3	11,1 ± 11,6	3	15,7 ± 13,0	3
TOC	mg/l	43,07 ± 6,41	3	24,86 ± 7,96	3	28,76 ± 8,61	3	22,09 ± 4,10	3	19,71 ± 4,27	3
IC	mg/l	14,04 ± 2,00	3	35,97 ± 7,63	3	56,52 ± 17,61	3	37,22 ± 7,06	3	40,83 ± 8,32	3
TC	mg/l	57,11 ± 4,86	3	60,84 ± 15,15	3	85,28 ± 25,49	3	59,31 ± 10,93	3	60,54 ± 12,09	3
TN	mg/l	6,30 ± 0,43	3	1,76 ± 0,74	3	1,57 ± 0,61	3	1,24 ± 0,36	3	1,16 ± 0,39	3
Fluoridy	mg/l	0,11 ± 0,03	3	0,11 ± 0,07	3	0,33 ± 0,15	3	0,19 ± 0,04	3	0,20 ± 0,05	3
Chloridy	mg/l	29,53 ± 1,66	2	51,17 ± 35,34	3	26,97 ± 0,46	3	29,05 ± 2,85	2	27,60 ± 0,50	2
Dusitany	mg/l	0,21 ± 0,07	3	0,09 ± 0,08	3	0,04 ± 0,04	3	0,09 ± 0,06	3	0,08 ± 0,05	3
Dusičnany	mg/l	21,10 ± 2,94	3	0,31 ± 0,19	3	0,17 ± 0,24	3	0,32 ± 0,21	3	0,29 ± 0,19	3
Bromidy	mg/l	<0,02	3	0,06 ± 0,08	3	0,04 ± 0,04	2	0,09 ± 0,13	3	0,06 ± 0,06	3
Fosforečnany	mg/l	0,58 ± 0,32	3	0,46 ± 0,09	3	0,15 ± 0,21	3	0,28 ± 0,20	3	0,43 ± 0,33	3
Sírany	mg/l	41,19 ± 8,59	3	58,34 ± 7,04	3	67,44 ± 16,83	3	64,04 ± 6,54	3	71,10 ± 0,46	3
Tenzidy	mg/l	95,83 ± 6,54	3	2,36 ± 2,05	3	1,78 ± 0,99	3	2,06 ± 2,04	3	1,13 ± 1,12	3
Bor (B)	mg/l	1,0832 ± 0,0107	2	1,0414 ± 0,1800	3	1,0706 ± 0,2098	3	1,0655 ± 0,2254	3	1,0684 ± 0,1818	3
Měď (Cu)	mg/l	0,2192 ± 0,0149	2	0,0082 ± 0,0062	3	0,0111 ± 0,0058	3	0,0093 ± 0,0051	3	0,0050 ± 0,0037	3
Nikl (Ni)	mg/l	0,2201 ± 0,0028	2	0,0131 ± 0,0100	3	0,0135 ± 0,0041	3	0,0089 ± 0,0027	3	0,0120 ± 0,0030	3
Zinek (Zn)	mg/l	0,2126 ± 0,0137	2	0,0141 ± 0,0089	3	0,0118 ± 0,0062	3	0,0137 ± 0,0062	3	0,0129 ± 0,0065	3
Flukonazol	ng/l	6206 ± 581	3	6946 ± 1050	3	6411 ± 1328	3	6477 ± 1639	3	1293 ± 374	3
Poznámka: Saturace filtrů (1. skupina) v průběhu etapy 70 %; N jako počet vzorků											

Příloha 9: Naměřené koncentrace (průměr ± směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 1. skupinu filtrů (třetí etapa)

Parametr	Jednotky	Šedá voda		Default		Antuka		Mykorhiza		Biouhel	
		Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N
pH	-	7,11 ± 0,10	3	6,77 ± 0,20	3	6,92 ± 0,17	3	6,68 ± 0,16	3	6,87 ± 0,07	3
Konduktivita	uS/cm	421 ± 58	3	697 ± 124	3	732 ± 105	3	623 ± 81	3	660 ± 80	3
Zákal	NTU	22,58 ± 1,88	3	9,55 ± 5,10	3	4,38 ± 1,07	3	6,42 ± 4,48	3	3,41 ± 1,89	3
TSS	mg/l	23,1 ± 10,1	3	21,7 ± 18,9	3	18,2 ± 19,0	3	13,9 ± 12,9	3	16,9 ± 15,3	3
TOC	mg/l	43,07 ± 6,41	3	30,31 ± 11,02	3	23,95 ± 4,96	3	28,20 ± 8,54	3	18,41 ± 4,96	3
IC	mg/l	14,04 ± 2,00	3	60,65 ± 22,47	3	64,51 ± 20,74	3	50,33 ± 19,11	3	54,26 ± 15,37	3
TC	mg/l	57,11 ± 4,86	3	90,96 ± 32,99	3	88,46 ± 25,67	3	78,53 ± 27,60	3	72,68 ± 20,14	3
TN	mg/l	6,30 ± 0,43	3	2,20 ± 0,74	3	1,79 ± 0,44	3	1,91 ± 0,45	3	1,61 ± 0,58	3
Fluoridy	mg/l	0,11 ± 0,03	3	0,23 ± 0,14	3	0,50 ± 0,17	3	0,31 ± 0,11	3	0,29 ± 0,11	3
Chloridy	mg/l	29,53 ± 1,66	2	28,65 ± 0,79	3	27,88 ± 2,10	3	30,09 ± 3,02	3	28,21 ± 2,65	3
Dusitany	mg/l	0,21 ± 0,07	3	0,06 ± 0,05	3	0,02 ± 0,03	3	0,08 ± 0,06	3	0,06 ± 0,06	3
Dusičnany	mg/l	21,10 ± 2,94	3	0,78 ± 0,46	3	0,70 ± 0,99	3	2,26 ± 3,13	3	1,53 ± 1,51	3
Bromidy	mg/l	<0,02	3	0,02 ± 0,02	3	<0,02	3	<0,02	3	<0,02	3
Fosforečnany	mg/l	0,58 ± 0,32	3	<0,01	3	0,30 ± 0,22	3	0,14 ± 0,20	3	0,26 ± 0,19	3
Sírany	mg/l	41,19 ± 8,59	3	44,21 ± 12,05	3	62,06 ± 12,97	3	50,05 ± 23,58	3	72,31 ± 4,86	3
Tenzidy	mg/l	95,83 ± 6,54	3	1,43 ± 1,06	3	0,60 ± 0,47	3	1,11 ± 0,92	3	0,36 ± 0,34	3
Bor (B)	mg/l	1,0832 ± 0,0107	2	1,033 ± 0,2144	3	0,9737 ± 0,2571	3	1,0170 ± 0,2576	3	1,0318 ± 0,2337	3
Měď (Cu)	mg/l	0,2192 ± 0,0149	2	0,0109 ± 0,0063	3	0,0104 ± 0,0064	3	0,0105 ± 0,0034	3	0,0068 ± 0,0027	3
Nikl (Ni)	mg/l	0,2201 ± 0,0028	2	0,0177 ± 0,0084	3	0,0096 ± 0,0039	3	0,0098 ± 0,0038	3	0,0168 ± 0,0152	3
Zinek (Zn)	mg/l	0,2126 ± 0,0137	2	0,0115 ± 0,0060	3	0,0117 ± 0,0123	3	0,0117 ± 0,0104	3	0,0128 ± 0,0063	3
Flukonazol	ng/l	6206 ± 581	3	6061 ± 1350	3	6703 ± 1434	3	5954 ± 1008	3	443 ± 272	3
Poznámka: Konstantní saturace filtrů (2. skupina) v průběhu experimentu (30 %); N jako počet vzorků											

Příloha 10: Naměřené koncentrace (průměr ± směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 2. skupinu filtrů (třetí etapa)

Parametr	Účinnost [%] 1. skupiny filtrů (saturace 70 %)			
	Default	Antuka	Mykorhiza	Biouhel
Zákal	79,78 ± 10,28	76,23 ± 8,82	81,33 ± 9,33	81,89 ± 13,45
TSS	-4,34 ± 59,55	17,12 ± 38,67	63,35 ± 26,17	42,91 ± 27,69
TOC	42,53 ± 14,89	33,62 ± 15,44	48,52 ± 6,81	54,22 ± 7,06
IC	-168,95 ± 89,94	-327,86 ± 177,92	-177,34 ± 86,00	-204,33 ± 95,65
TC	-6,03 ± 23,53	-47,68 ± 39,00	-3,44 ± 15,09	-5,32 ± 16,16
TN	72,60 ± 10,00	75,61 ± 8,06	80,56 ± 4,61	81,75 ± 5,09
Fluoridy	-0,77 ± 51,51	-180,79 ± 69,11	-69,91 ± 41,73	-84,24 ± 66,82
Chloridy	-123,88 ± 138,94	9,33 ± 5,99	0,78 ± 15,22	6,37 ± 3,54
Dusitany*	53,56 ± 44,39	82,67 ± 8,85	57,78 ± 26,45	64,42 ± 21,22
Dusičnany	98,52 ± 0,82	98,76 ± 0,93	98,61 ± 0,89	98,74 ± 0,79
Bromidy*	-354,48 ± 385,52	-146,98 ± 178,02	-606,98 ± 638,02	-325,34 ± 304,66
Fosforečnany*	-5,07 ± 52,67	58,00 ± 56,71	21,73 ± 55,01	-20,41 ± 92,38
Sírany	-49,14 ± 37,96	-73,55 ± 62,41	-62,49 ± 37,43	-81,54 ± 43,07
Tenzidy	97,65 ± 1,91	98,20 ± 0,89	97,97 ± 1,92	98,88 ± 1,06
Bor (B)	-7,53 ± 6,56	-11,84 ± 9,02	-11,86 ± 11,73	-9,83 ± 8,27
Měď (Cu)	98,20 ± 1,14	96,71 ± 0,99	97,37 ± 0,25	98,89 ± 0,11
Nikl (Ni)	92,60 ± 4,80	93,47 ± 2,07	96,24 ± 1,38	95,44 ± 0,64
Zinek (Zn)	96,33 ± 0,12	96,49 ± 0,14	95,59 ± 0,44	95,80 ± 1,97
Flukonazol	-14,43 ± 26,63	-6,17 ± 31,11	-7,62 ± 36,51	78,60 ± 7,14
Poznámka:	*Pro účely výpočtu účinnosti filtrů byly nulové koncentrace nahrazeny detekčním limitem přístroje, výsledná účinnost je tedy pouze orientační			

Příloha 11: Dosažené účinnosti (průměr ± směrodatná odchylka) materiálů v 1. skupině filtrů během třetí etapy

Parametr	Účinnost [%] 2. skupiny filtrů (konstantní saturace 30 %)			
	Default	Antuka	Mykorhiza	Biouhel
Zákal	55,90 ± 26,93	80,26 ± 6,12	70,29 ± 22,77	85,07 ± 7,68
TSS	23,15 ± 41,55	41,12 ± 47,92	50,12 ± 28,73	41,49 ± 38,90
TOC	30,16 ± 21,06	44,65 ± 6,35	35,37 ± 14,39	57,46 ± 8,51
IC	-363,15 ± 222,94	-389,08 ± 208,09	-284,85 ± 187,50	-309,56 ± 163,19
TC	-57,65 ± 53,52	-52,96 ± 38,11	-35,79 ± 43,93	-26,12 ± 30,69
TN	65,59 ± 9,60	71,30 ± 7,68	69,39 ± 8,47	73,95 ± 10,90
Fluoridy	-104,11 ± 99,47	-329,24 ± 49,05	-167,19 ± 37,64	-148,60 ± 35,96
Chloridy	1,30 ± 7,97	2,76 ± 13,34	-5,48 ± 17,61	4,15 ± 16,32
Dusitany*	69,78 ± 16,92	83,89 ± 15,18	60,58 ± 27,86	73,90 ± 15,35
Dusičnany	96,53 ± 1,73	96,98 ± 4,09	90,46 ± 13,04	93,45 ± 6,23
Bromidy*	-51,98 ± 83,02	31,03 ± 0,00	31,03 ± 0,00	31,03 ± 0,00
Fosforečnany*	97,80 ± 0,87	47,31 ± 41,30	84,07 ± 18,54	25,48 ± 52,53
Sírany	-13,8 ± 42,49	-65,51 ± 74,26	-22,56 ± 46,86	-86,77 ± 55,27
Tenzidy	98,56 ± 0,98	99,40 ± 0,43	98,89 ± 0,85	99,64 ± 0,32
Bor (B)	-8,94 ± 7,47	-6,13 ± 8,96	-8,33 ± 16,48	-10,31 ± 5,95
Měď (Cu)	97,07 ± 0,13	96,80 ± 2,37	96,22 ± 0,73	97,67 ± 0,71
Nikl (Ni)	90,34 ± 3,55	94,85 ± 1,59	95,76 ± 2,02	97,22 ± 1,27
Zinek (Zn)	96,38 ± 1,61	98,41 ± 1,59	97,91 ± 0,50	95,94 ± 1,19
Flukonazol	-0,46 ± 31,09	-10,75 ± 33,23	1,83 ± 24,09	92,78 ± 4,51
Poznámka:	*Pro účely výpočtu účinnosti filtrů byly nulové koncentrace nahrazeny detekčním limitem přístroje, výsledná účinnost je tedy pouze orientační			

Příloha 12: Dosažené účinnosti (průměr ± směrodatná odchylka) materiálů ve 2. skupině filtrů během třetí etapy

Parametr	Jednotky	Šedá voda		Default		Antuka		Mykorhiza		Biouhel	
		Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N
pH	-	6,86 ± 0,42	3	6,36 ± 0,09	3	6,53 ± 0,16	3	6,38 ± 0,04	3	6,36 ± 0,16	3
Konduktivita	uS/cm	377 ± 12	3	514 ± 12	3	619 ± 34	3	498 ± 15	3	514 ± 9	3
Zákal	NTU	18,31 ± 2,42	3	2,47 ± 0,77	3	2,02 ± 0,71	3	5,10 ± 4,43	3	3,18 ± 1,15	3
TSS	mg/l	23,6 ± 1,2	3	27,7 ± 11,2	3	21,5 ± 11,7	3	9,2 ± 9,5	3	17,2 ± 11,0	3
TOC	mg/l	44,78 ± 0,96	2	21,58 ± 4,20	3	16,77 ± 4,89	3	17,90 ± 7,45	3	13,63 ± 7,18	3
IC	mg/l	13,50 ± 0,45	2	41,21 ± 4,39	3	52,12 ± 1,32	3	40,09 ± 4,80	3	38,80 ± 4,62	3
TC	mg/l	58,29 ± 0,52	2	62,79 ± 2,85	3	68,89 ± 3,68	3	57,99 ± 6,04	3	52,43 ± 5,56	3
TN	mg/l	7,63 ± 0,18	2	2,32 ± 1,05	3	1,35 ± 0,41	3	1,26 ± 0,43	3	1,14 ± 0,33	3
Fluoridy	mg/l	0,15 ± 0,04	3	0,11 ± 0,04	3	0,17 ± 0,09	3	0,16 ± 0,04	3	0,16 ± 0,04	3
Chloridy	mg/l	28,54 ± 0,31	3	28,28 ± 1,91	3	27,09 ± 0,83	3	30,61 ± 6,14	3	26,70 ± 1,19	3
Dusitany	mg/l	0,28 ± 0,30	3	0,38 ± 0,54	3	<0,01	3	<0,01	3	<0,01	3
Dusičnany	mg/l	24,12 ± 0,22	3	1,78 ± 1,17	3	1,34 ± 0,68	3	1,19 ± 0,16	3	1,72 ± 0,94	3
Bromidy	mg/l	0,06 ± 0,01	3	0,22 ± 0,32	3	<0,02	3	<0,02	3	<0,02	3
Fosforečnany	mg/l	0,94 ± 0,38	3	0,28 ± 0,01	2	0,10 ± 0,13	3	<0,01	3	0,09 ± 0,13	3
Sírany	mg/l	45,57 ± 1,05	3	50,84 ± 13,42	3	64,73 ± 17,48	3	44,14 ± 6,29	3	51,75 ± 7,85	3
Tenzidy	mg/l	105,17 ± 14,35	3	0,56 ± 0,17	3	0,54 ± 0,07	3	0,34 ± 0,10	3	0,30 ± 0,11	3
Bor (B)	mg/l	1,0341 ± 0,0181	3	0,9654 ± 0,1066	3	1,0620 ± 0,1076	3	1,0126 ± 0,0903	2	1,0269 ± 0,0889	3
Měď (Cu)	mg/l	0,2012 ± 0,0075	3	0,0038 ± 0,0027	3	0,0031 ± 0,0023	3	0,0041 ± 0,0041	2	0,0021 ± 0,0017	3
Nikl (Ni)	mg/l	0,2065 ± 0,0046	3	0,0075 ± 0,0032	3	0,0070 ± 0,0015	3	0,0074 ± 0,0030	2	0,0058 ± 0,0044	3
Zinek (Zn)	mg/l	0,1818 ± 0,0088	3	0,0062 ± 0,0068	3	0,0058 ± 0,0082	3	0,0029 ± 0,0029	2	0,0007 ± 0,0006	3
Flukonazol	ng/l	5662 ± 224	3	3632 ± 607	3	4438 ± 732	3	3909 ± 18	3	972 ± 72	3

Poznámka: Saturace filtrů (1. skupina) v průběhu etapy 50 %; N jako počet vzorků

Příloha 13: Naměřené koncentrace (průměr ± směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 1. skupinu filtrů (čtvrtá etapa)

Parametr	Jednotky	Šedá voda		Default		Antuka		Mykorhiza		Biouhel	
		Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N	Koncentrace	N
pH	-	6,86 ± 0,42	3	6,40 ± 0,16	3	6,65 ± 0,23	3	6,27 ± 0,22	3	6,51 ± 0,20	3
Konduktivita	uS/cm	377 ± 12	3	601 ± 46	3	702 ± 23	3	527 ± 20	3	590 ± 31	3
Zákal	NTU	18,31 ± 2,42	3	3,31 ± 0,46	3	3,37 ± 0,21	3	6,25 ± 2,03	3	5,51 ± 3,64	3
TSS	mg/l	23,6 ± 1,2	3	17,5 ± 9,3	3	18,6 ± 15,1	3	14,8 ± 9,1	3	21,1 ± 3,1	3
TOC	mg/l	44,78 ± 0,96	2	17,53 ± 2,01	3	18,11 ± 6,59	3	20,13 ± 7,68	3	11,11 ± 2,51	3
IC	mg/l	13,50 ± 0,45	2	48,83 ± 6,86	3	63,88 ± 5,16	3	40,26 ± 5,93	3	49,00 ± 4,27	3
TC	mg/l	58,29 ± 0,52	2	66,36 ± 7,31	3	81,99 ± 7,41	3	60,39 ± 11,06	3	60,11 ± 6,48	3
TN	mg/l	7,63 ± 0,18	2	1,73 ± 0,69	3	1,22 ± 0,23	3	2,00 ± 0,79	3	0,92 ± 0,26	3
Fluoridy	mg/l	0,15 ± 0,04	3	0,15 ± 0,09	3	0,25 ± 0,11	3	0,20 ± 0,09	3	0,21 ± 0,04	3
Chloridy	mg/l	28,54 ± 0,31	3	28,16 ± 1,93	3	27,11 ± 2,77	3	26,34 ± 0,54	3	26,13 ± 1,31	3
Dusitany	mg/l	0,28 ± 0,30	3	<0,01	3	<0,01	3	<0,01	3	<0,01	3
Dusičnany	mg/l	24,12 ± 0,22	3	1,59 ± 0,80	3	1,02 ± 0,90	3	1,52 ± 0,42	3	1,07 ± 0,09	3
Bromidy	mg/l	0,06 ± 0,01	3	<0,02	3	<0,02	3	0,02 ± 0,02	3	<0,02	3
Fosforečnany	mg/l	0,94 ± 0,38	3	0,23 ± 0,16	3	0,09 ± 0,13	3	0,09 ± 0,13	3	0,13 ± 0,19	3
Sírany	mg/l	45,57 ± 1,05	3	64,72 ± 16,16	3	61,97 ± 14,78	3	49,86 ± 14,99	3	53,75 ± 9,38	3
Tenzidy	mg/l	105,17 ± 14,35	3	0,30 ± 0,09	3	0,22 ± 0,06	3	1,08 ± 0,16	3	0,17 ± 0,08	3
Bor (B)	mg/l	1,0341 ± 0,0181	3	1,0444 ± 0,0918	3	1,0187 ± 0,1061	3	1,0981 ± 0,0812	3	1,0220 ± 0,1008	3
Měď (Cu)	mg/l	0,2012 ± 0,0075	3	0,0042 ± 0,0029	3	0,0043 ± 0,0032	3	0,0017 ± 0,0024	3	0,0029 ± 0,0037	3
Nikl (Ni)	mg/l	0,2065 ± 0,0046	3	0,0055 ± 0,0008	3	0,0046 ± 0,0021	3	0,0048 ± 0,0032	3	0,0021 ± 0,0014	3
Zinek (Zn)	mg/l	0,1818 ± 0,0088	3	0,0135 ± 0,0071	3	0,0031 ± 0,0025	3	0,0007 ± 0,0009	3	0,0073 ± 0,0057	3
Flukonazol	ng/l	5662 ± 224	3	3817 ± 458	3	4188 ± 507	3	3464 ± 374	3	365 ± 24	3
Poznámka: Konstantní saturace filtrů (2. skupina) v průběhu experimentu (30 %); N jako počet vzorků											

Příloha 14: Naměřené koncentrace (průměr ± směrodatná odchylka) sledovaných parametrů pro 2. skupinu filtrů (čtvrtá etapa)

Parametr	Účinnost [%] 1. skupiny filtrů (saturace 50 %)			
	Default	Antuka	Mykorhiza	Biouhel
Zákal	86,76 ± 3,03	88,30 ± 5,12	69,39 ± 28,85	82,74 ± 6,15
TSS	-17,59 ± 46,47	9,40 ± 46,60	62,84 ± 37,67	29,21 ± 42,70
TOC	55,32 ± 10,44	70,21 ± 1,51	71,13 ± 6,82	80,72 ± 3,67
IC	-227,87 ± 22,49	-293,29 ± 15,36	-219,22 ± 33,93	-207,40 ± 36,42
TC	-9,99 ± 5,56	-13,90 ± 1,19	4,11 ± 10,29	14,26 ± 8,47
TN	60,13 ± 3,32	78,62 ± 2,37	80,70 ± 5,80	82,39 ± 3,35
Fluoridy	27,69 ± 11,16	-37,29 ± 97,20	-23,04 ± 68,29	-17,45 ± 56,49
Chloridy	0,92 ± 6,45	5,10 ± 1,98	-7,06 ± 20,37	6,48 ± 3,25
Dusitany*	95,35 ± 3,22	95,35 ± 3,22	95,35 ± 3,22	95,35 ± 3,22
Dusičnany	92,61 ± 4,90	94,41 ± 2,84	95,06 ± 0,68	92,83 ± 3,94
Bromidy*	-395,95 ± 661,82	67,17 ± 6,87	67,17 ± 6,87	67,17 ± 6,87
Fosforečnany*	83,64 ± 9,86	91,12 ± 10,25	98,63 ± 0,77	91,39 ± 9,87
Sírany	-10,96 ± 26,54	-41,25 ± 34,61	3,19 ± 13,41	-13,73 ± 18,25
Tenzidy	99,44 ± 0,22	99,47 ± 0,13	99,66 ± 0,14	99,72 ± 0,07
Bor (B)	6,78 ± 8,66	-2,56 ± 8,65	2,68 ± 6,78	0,81 ± 6,84
Měď (Cu)	98,13 ± 1,32	98,52 ± 1,09	98,06 ± 1,94	99,00 ± 0,82
Nikl (Ni)	96,35 ± 1,60	96,59 ± 0,79	96,40 ± 1,52	97,25 ± 2,04
Zinek (Zn)	96,39 ± 4,03	96,95 ± 4,31	98,31 ± 1,69	99,65 ± 0,31
Flukonazol	36,12 ± 8,34	21,87 ± 11,16	30,86 ± 2,48	82,81 ± 1,48
Poznámka:	*Pro účely výpočtu účinnosti filtrů byly nulové koncentrace nahrazeny detekčním limitem přístroje, výsledná účinnost je tedy pouze orientační			

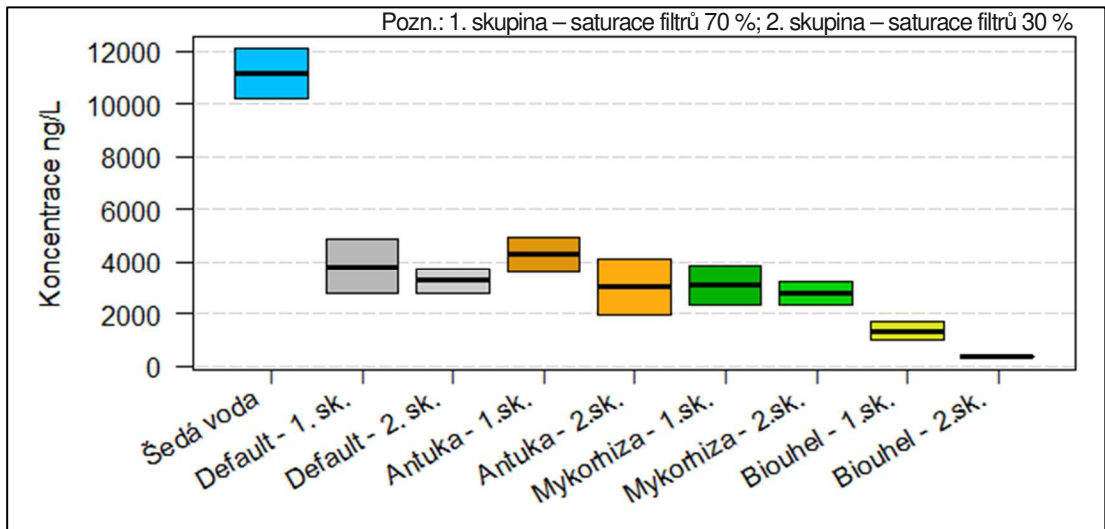
Příloha 15: Dosažené účinnosti (průměr ± směrodatná odchylka) materiálů v 1. skupině filtrů během čtvrté etapy

Parametr	Účinnost [%] 2. skupiny filtrů (konstantní saturace 30 %)			
	Default	Antuka	Mykorhiza	Biouhel
Zákal	81,78 ± 2,57	81,22 ± 2,83	66,57 ± 6,69	71,88 ± 14,98
TSS	27,24 ± 35,16	22,87 ± 59,65	39,06 ± 36,67	9,97 ± 15,72
TOC	63,63 ± 2,07	69,36 ± 6,03	66,15 ± 8,39	77,19 ± 5,53
IC	-279,88 ± 68,30	-390,21 ± 54,66	-204,40 ± 63,34	-267,25 ± 50,6
TC	-15,34 ± 14,08	-36,68 ± 12,84	3,99 ± 18,50	-2,20 ± 12,64
TN	70,99 ± 0,71	82,27 ± 2,48	70,01 ± 11,95	85,66 ± 2,01
Fluoridy	-23,86 ± 103,71	-97,72 ± 134,23	-60,27 ± 112,83	-53,17 ± 69,97
Chloridy	1,32 ± 6,89	4,93 ± 10,38	7,70 ± 0,97	8,41 ± 5,13
Dusitany*	95,35 ± 3,22	95,35 ± 3,22	95,35 ± 3,22	95,35 ± 3,22
Dusičnany	93,38 ± 3,36	95,07 ± 3,67	93,70 ± 1,78	95,55 ± 0,41
Bromidy*	67,17 ± 6,87	67,17 ± 6,87	44,47 ± 38,97	67,17 ± 6,87
Fosforečnany*	80,18 ± 12,30	91,26 ± 10,06	91,59 ± 9,60	88,13 ± 14,48
Sírany	-42,72 ± 37,76	-36,43 ± 34,19	-9,64 ± 33,92	-18,47 ± 22,93
Tenzidy	99,70 ± 0,13	99,78 ± 0,08	98,93 ± 0,28	99,84 ± 0,08
Bor (B)	-0,94 ± 7,94	1,61 ± 8,79	-7,98 ± 6,47	1,27 ± 8,41
Měď (Cu)	97,88 ± 1,54	97,92 ± 1,51	100,00 ± 0,00	98,64 ± 1,76
Nikl (Ni)	97,31 ± 0,39	97,77 ± 1,07	96,91 ± 1,40	98,98 ± 0,68
Zinek (Zn)	92,35 ± 4,40	98,34 ± 1,30	99,42 ± 0,57	95,96 ± 3,02
Flukonazol	32,78 ± 5,47	26,26 ± 6,41	38,73 ± 6,97	93,53 ± 0,68
Poznámka:	*Pro účely výpočtu účinnosti filtrů byly nulové koncentrace nahrazeny detekčním limitem přístroje, výsledná účinnost je tedy pouze orientační			

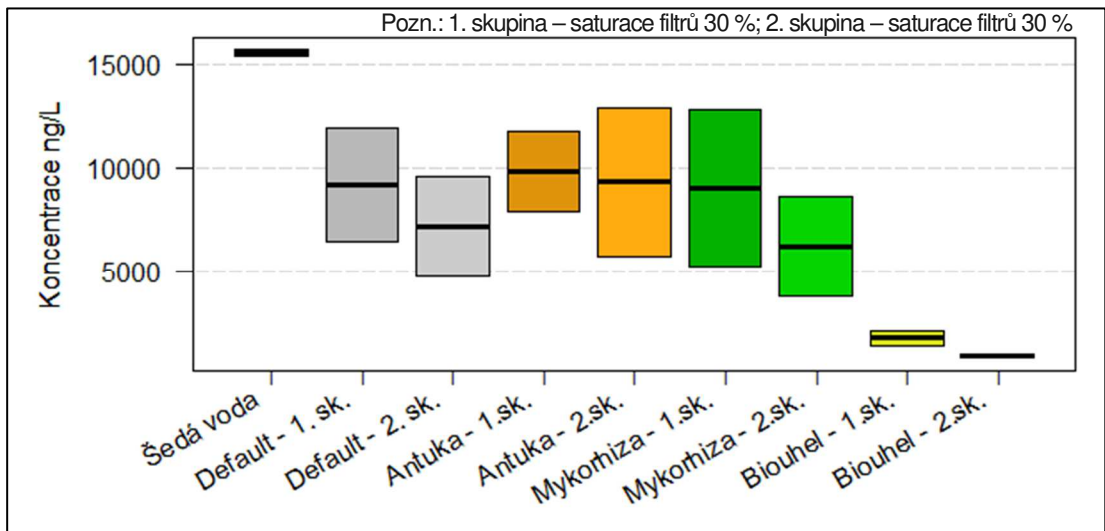
Příloha 16: Dosažené účinnosti (průměr ± směrodatná odchylka) materiálů ve 2. skupině filtrů během čtvrté etapy

Etapa ->		1		2		3		4	
Koncentrace NH ₄ -N		Koncentrace [mg/l]	N	Koncentrace [mg/l]	N	Koncentrace [mg/l]	N	Koncentrace [mg/l]	N
Šedá voda		0,04 ± 0,01	11	0,08 ± 0,03	17	0,04 ± 0,02	3	0,09 ± 0,08	3
Default	1. skupina	0,86 ± 0,62	11	0,17 ± 0,06	17	0,11 ± 0,03	3	0,17 ± 0,07	3
	2. skupina	0,1 ± 0,05	11	0,05 ± 0,02	17	0,09 ± 0,06	3	0,09 ± 0,03	3
Antuka	1. skupina	0,81 ± 0,75	11	0,11 ± 0,06	17	0,1 ± 0,06	3	0,21 ± 0,15	3
	2. skupina	0,1 ± 0,06	11	0,05 ± 0,02	17	0,17 ± 0,06	3	0,62 ± 0,01	3
Mykorrhiza	1. skupina	0,85 ± 0,61	11	0,17 ± 0,08	17	0,11 ± 0,03	3	0,24 ± 0,17	2
	2. skupina	0,15 ± 0,05	11	0,06 ± 0,03	17	0,21 ± 0,07	3	0,12 ± 0,06	2
Biouhel	1. skupina	0,66 ± 0,48	11	0,1 ± 0,05	17	0,15 ± 0,09	3	0,72 ± 0,6	3
	2. skupina	0,12 ± 0,04	11	0,03 ± 0,02	17	0,08 ± 0,01	3	0,07 ± 0,03	3
Odstraňování NH ₄ -N		Účinnost [%]							
Etapa ->		1		2		3		4	
Default	1. skupina	-1956,9 ± 1414,49		-184,48 ± 284,62		-205,86 ± 101,4		-298,26 ± 343,16	
	2. skupina	-170,19 ± 152,45		7,11 ± 145,52		-124,89 ± 118,09		-65,8 ± 82,68	
Antuka	1. skupina	-1845,23 ± 1937,73		-52,55 ± 81,7		-305,2 ± 406,44		-41,47 ± 79,2	
	2. skupina	-155,43 ± 150,12		7,28 ± 138,52		-305,05 ± 66,64		-861,56 ± 650,74	
Mykorrhiza	1. skupina	-1956,56 ± 1423,05		-141,4 ± 136,52		-251,83 ± 201,76		-590,65 ± 768,18	
	2. skupina	-272,66 ± 112,43		-0,76 ± 95,75		-428,35 ± 126,6		-233,62 ± 308,83	
Biouhel	1. skupina	-1465,38 ± 1082,75		-39,61 ± 74,63		-304,57 ± 188,62		-1731,68 ± 1682,26	
	2. skupina	-207,17 ± 117,8		48,16 ± 65,17		-134,58 ± 114,15		-34,15 ± 107,51	
Poznámka:		Saturace filtrů pro 1. skupinu filtrů 70; 30;70 a 50 %, pro 2. skupinu konstantních 30 %; N jako počet vzorků							

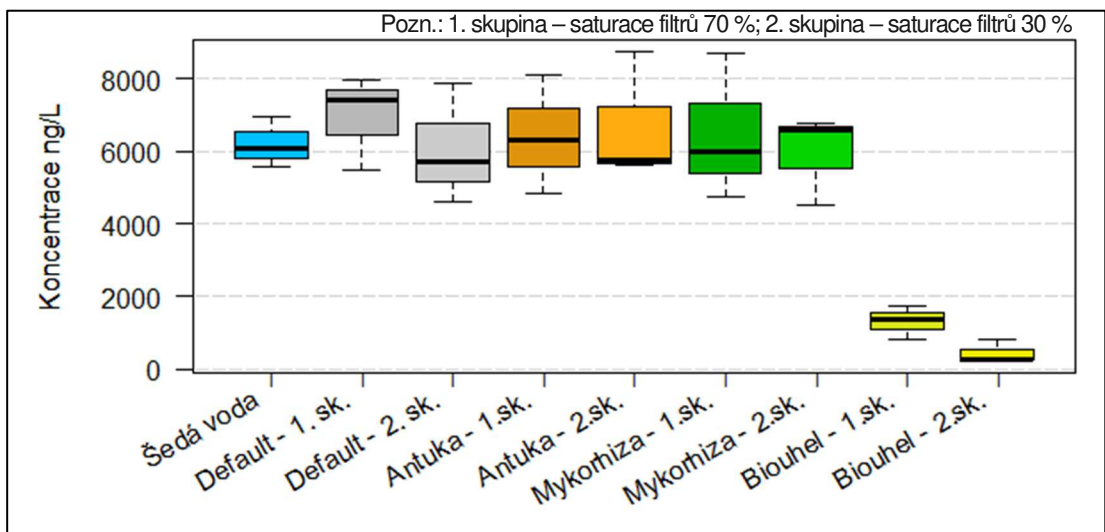
Příloha 17: Koncentrace a účinnost odstraňování amoniakálního dusíku v jednotlivých etapách



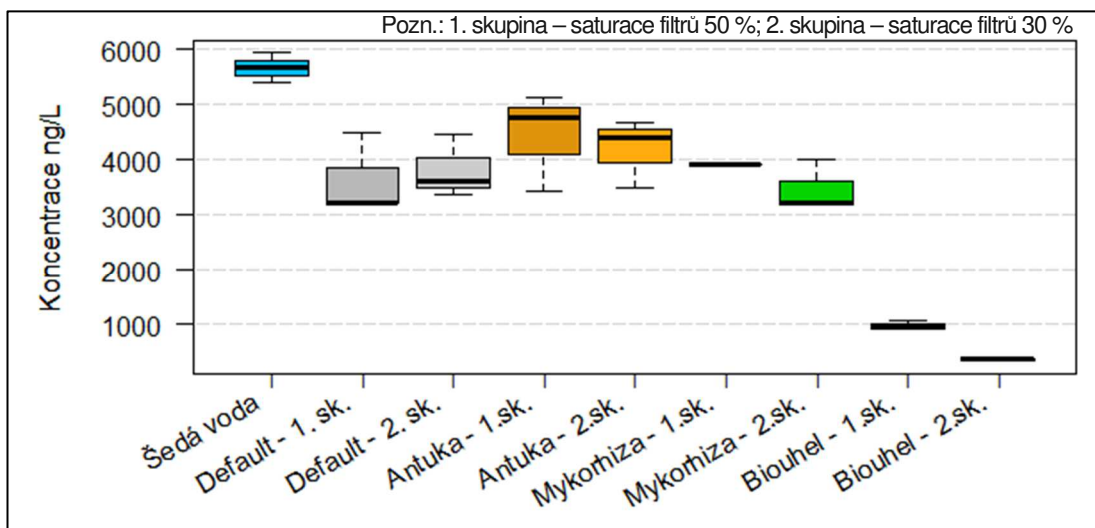
Příloha 18: Přehled koncentrací Flukonazolu naměřených v průběhu první etapy



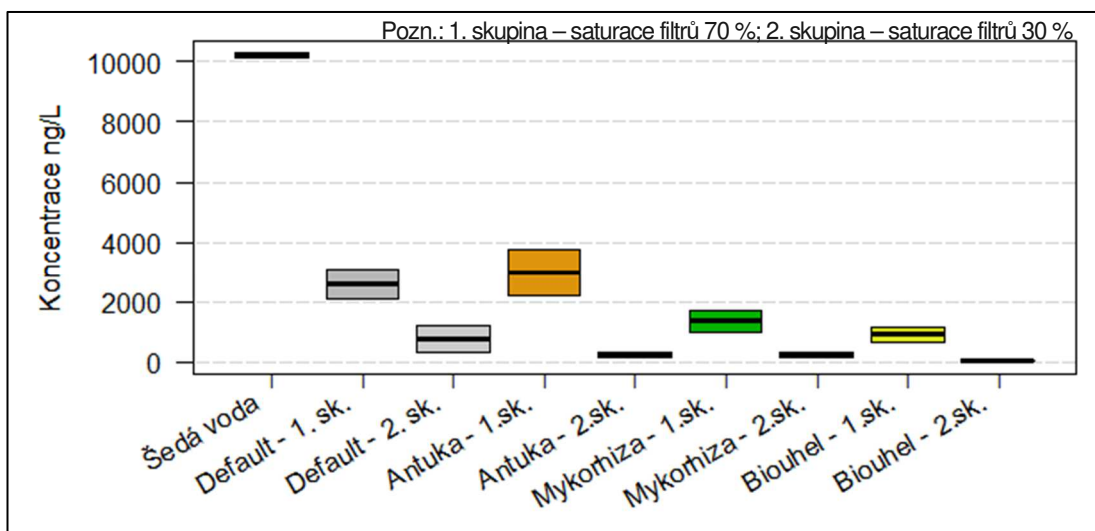
Příloha 19: Přehled koncentrací Flukonazolu naměřených v průběhu druhé etapy



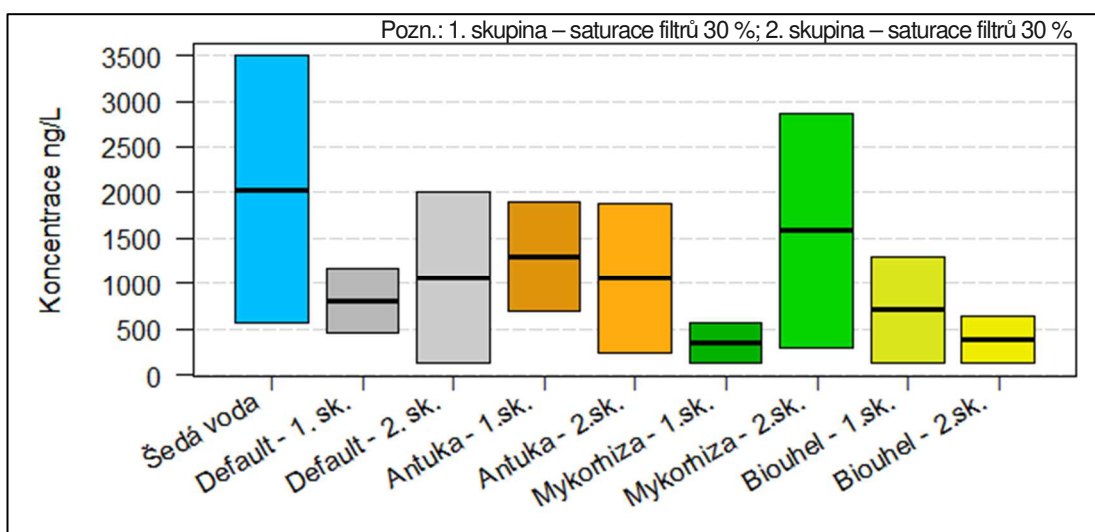
Příloha 20: Přehled koncentrací Flukonazolu naměřených v průběhu třetí etapy



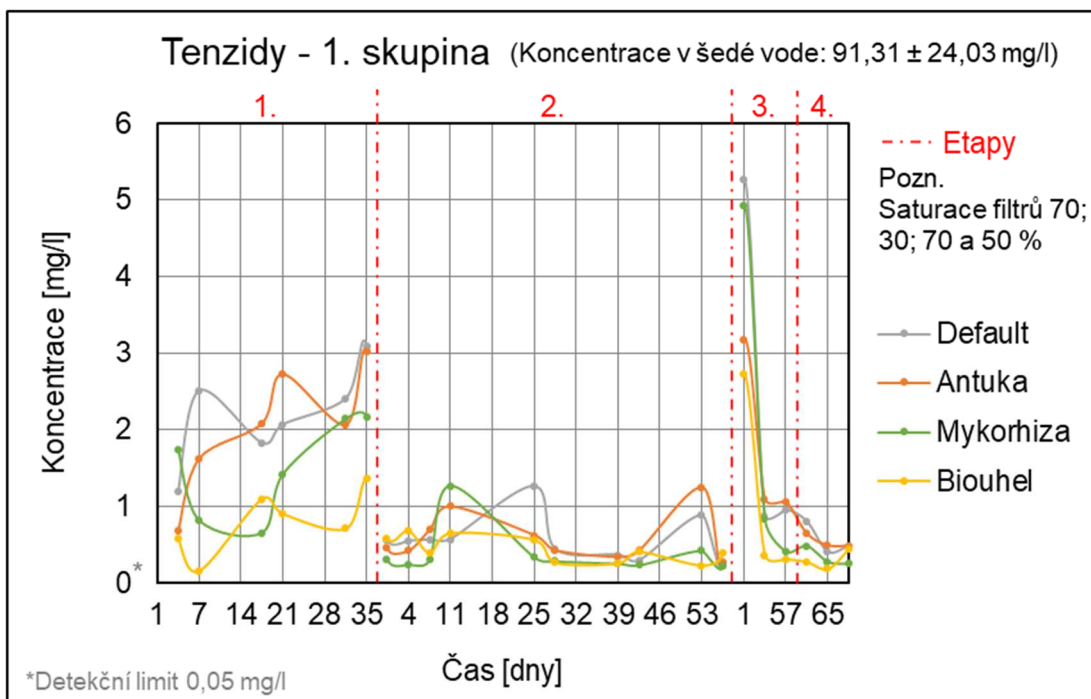
Příloha 21: Přehled koncentrací Flukonazolu naměřených v průběhu čtvrté etapy



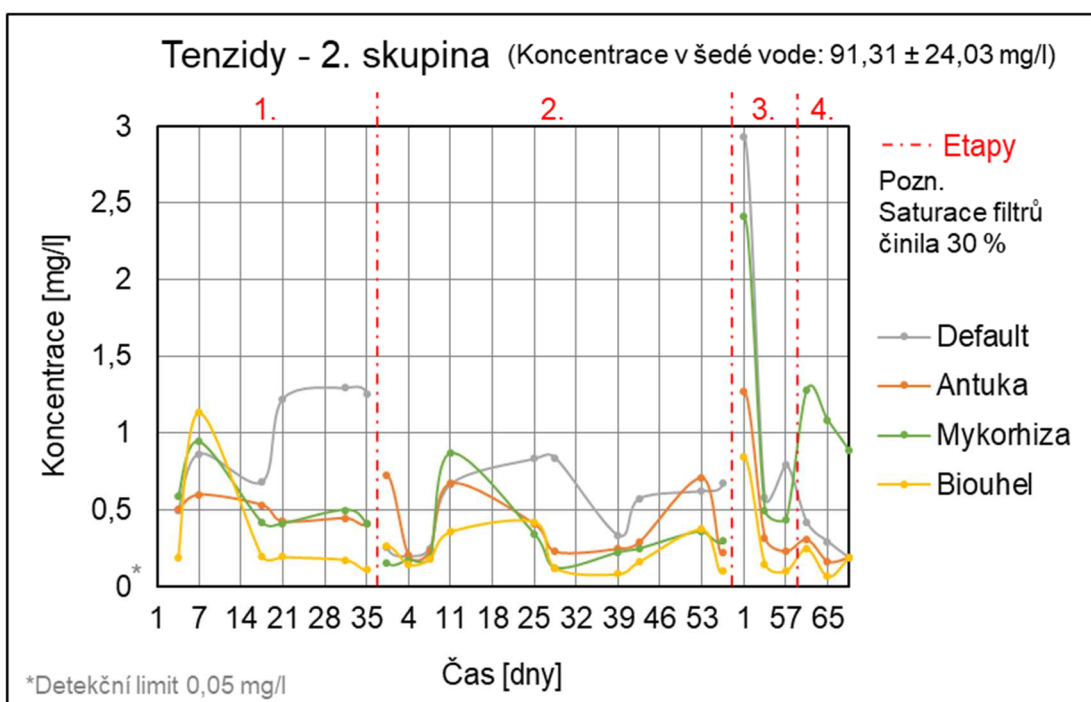
Příloha 22: Přehled koncentrací Ibuprofenu naměřených v průběhu první etapy



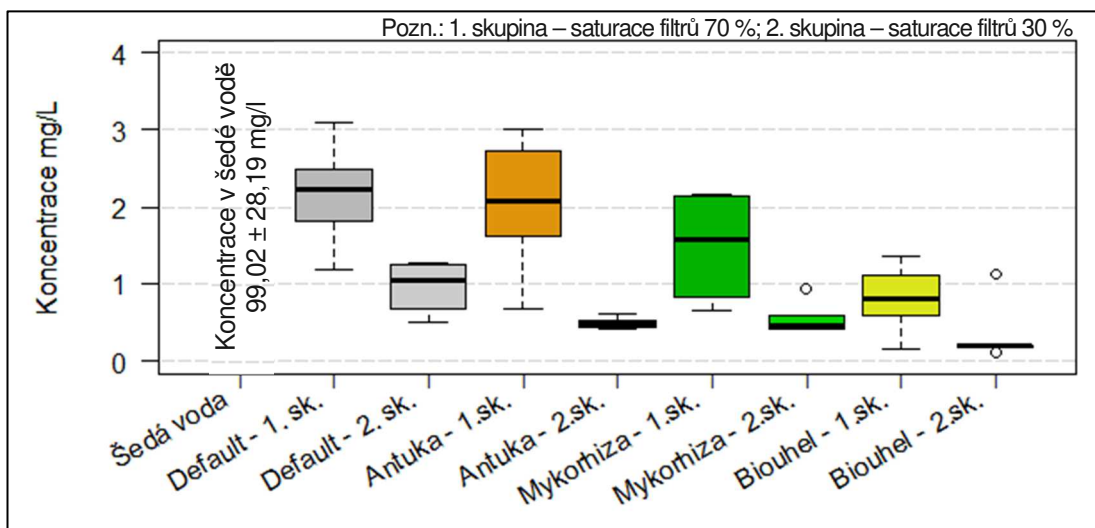
Příloha 23: Přehled koncentrací Ibuprofenu naměřených v průběhu druhé etapy



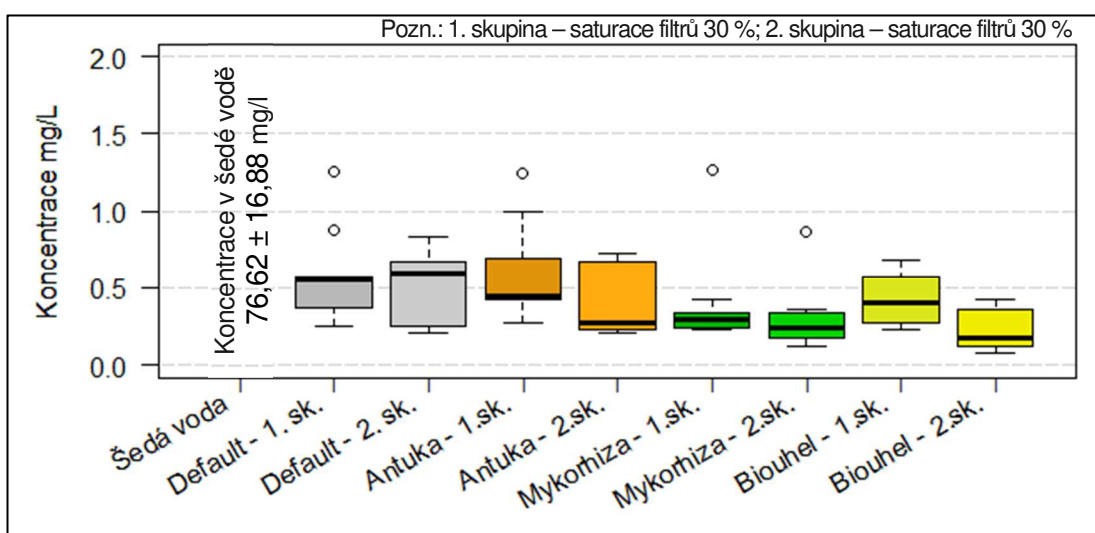
Příloha 24: Průběh koncentrací aniontových tenzidů (1. skupina)



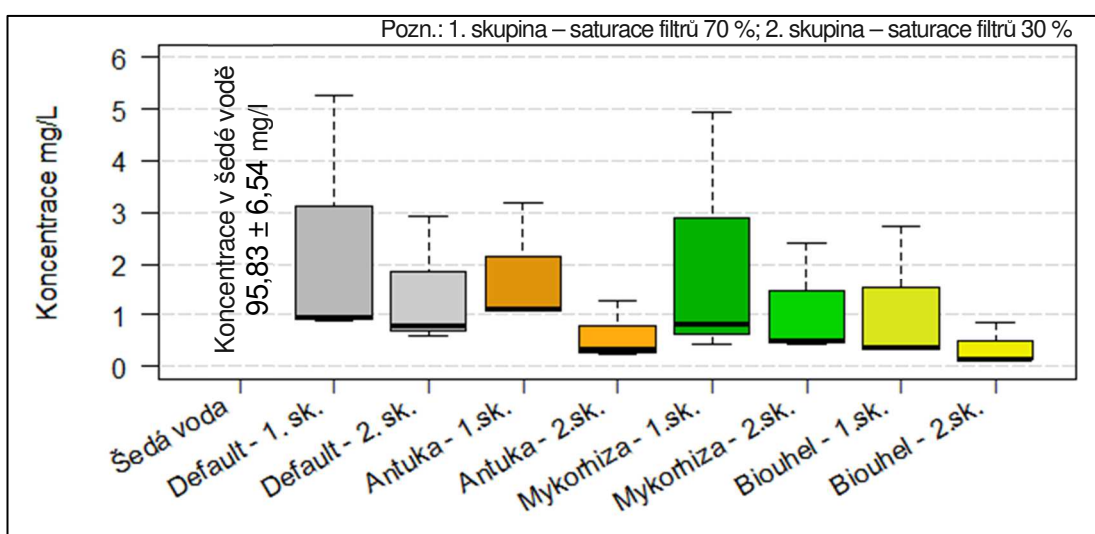
Příloha 25: Průběh koncentrací aniontových tenzidů (2. skupina)



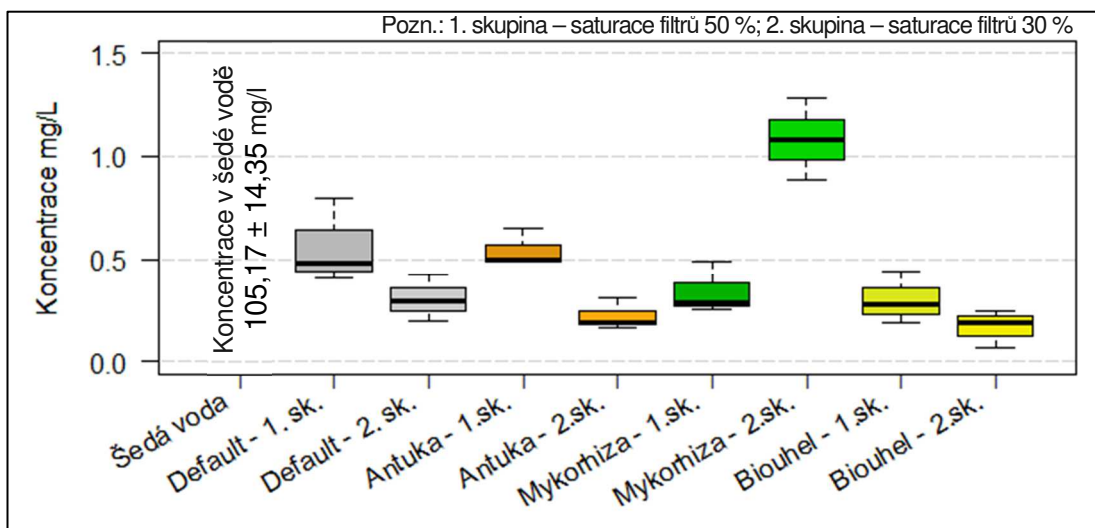
Příloha 26: Přehled koncentrací aniont. tenzidů naměřených v průběhu první etapy



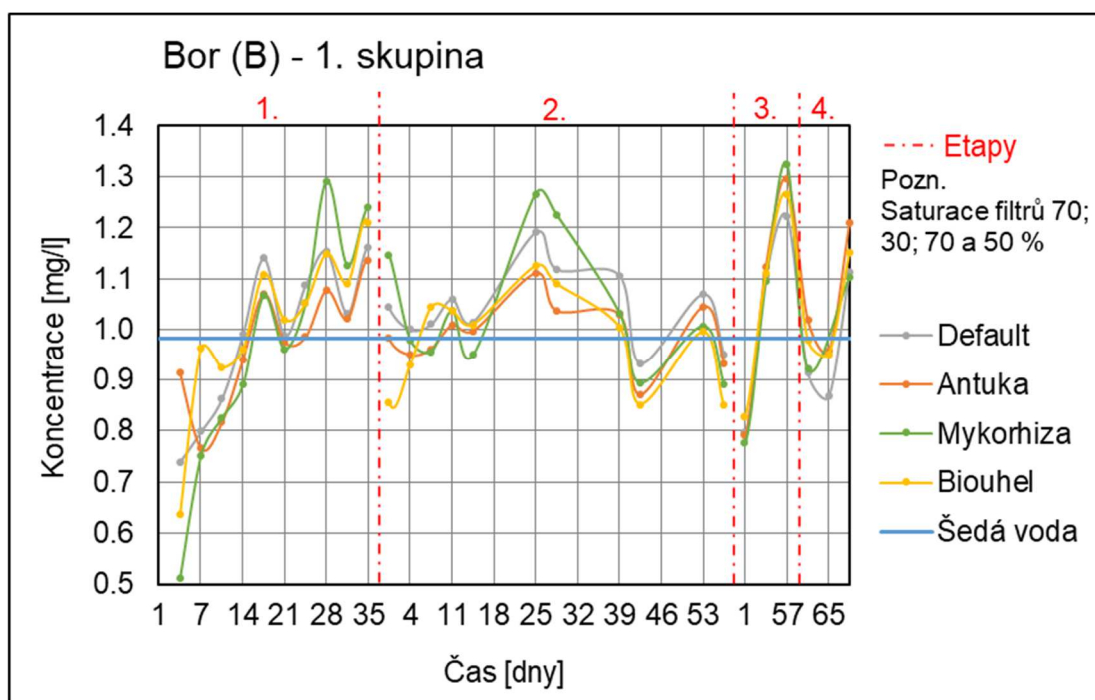
Příloha 27: Přehled koncentrací aniont. tenzidů naměřených v průběhu druhé etapy



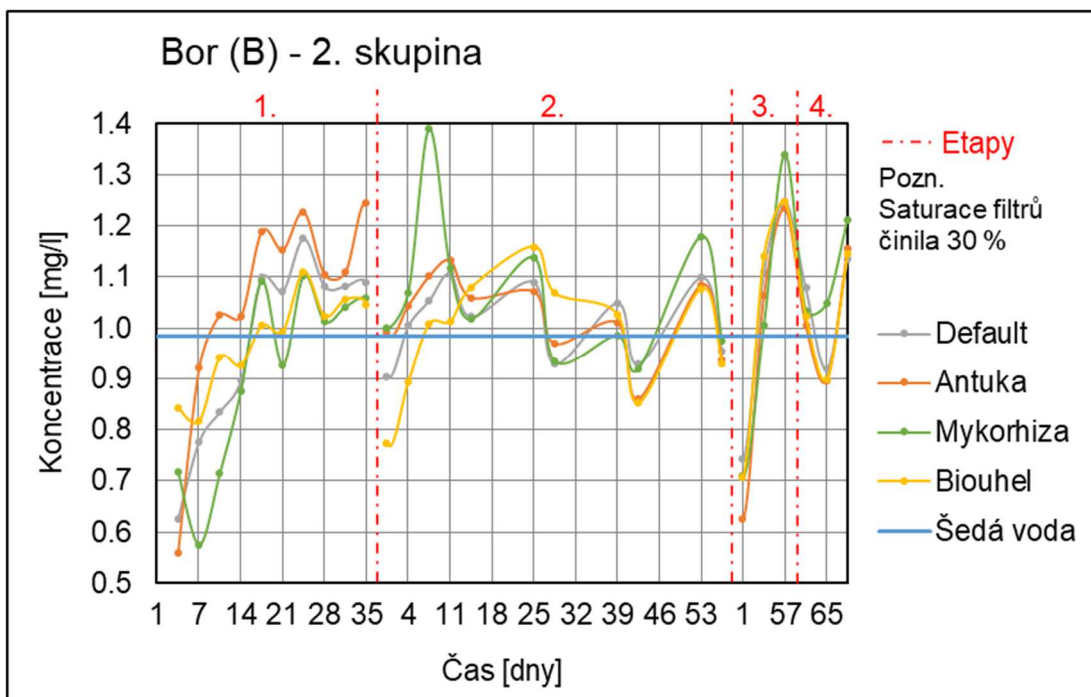
Příloha 28: Přehled koncentrací aniont. tenzidů naměřených v průběhu třetí etapy



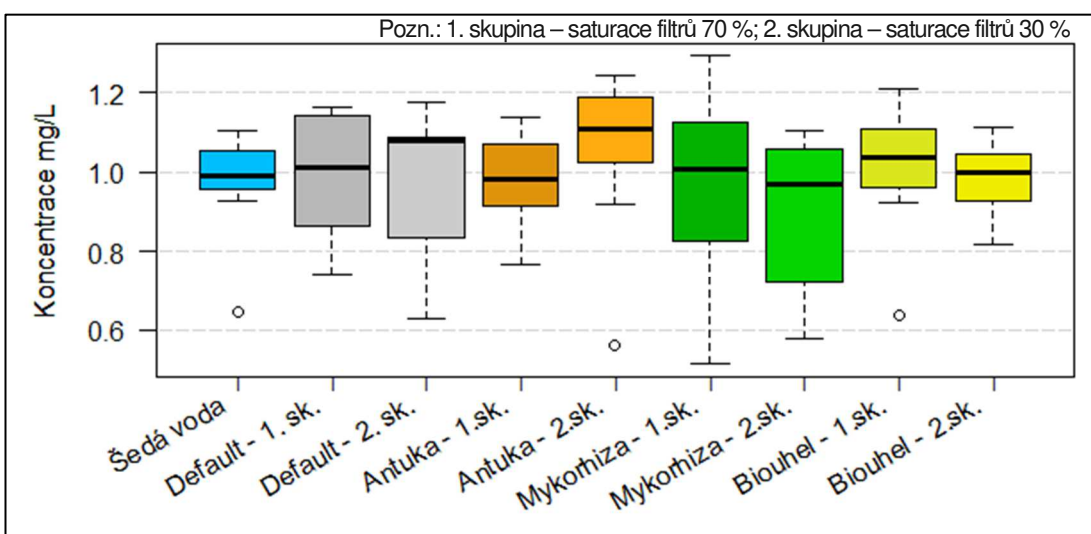
Příloha 29: Přehled koncentrací aniont. tenzidů naměřených v průběhu čtvrté etapy



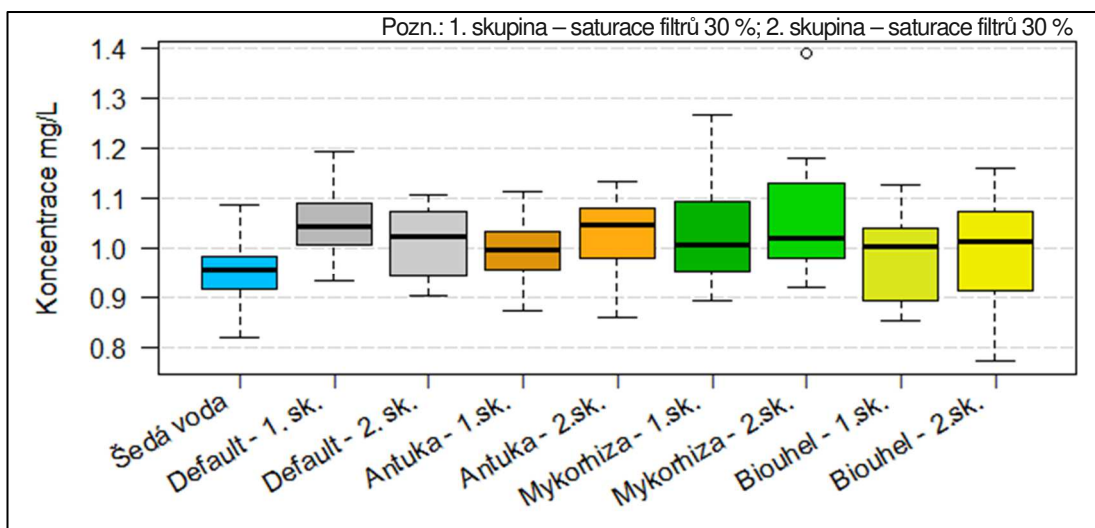
Příloha 30: Průběh koncentrací boru (1. skupina)



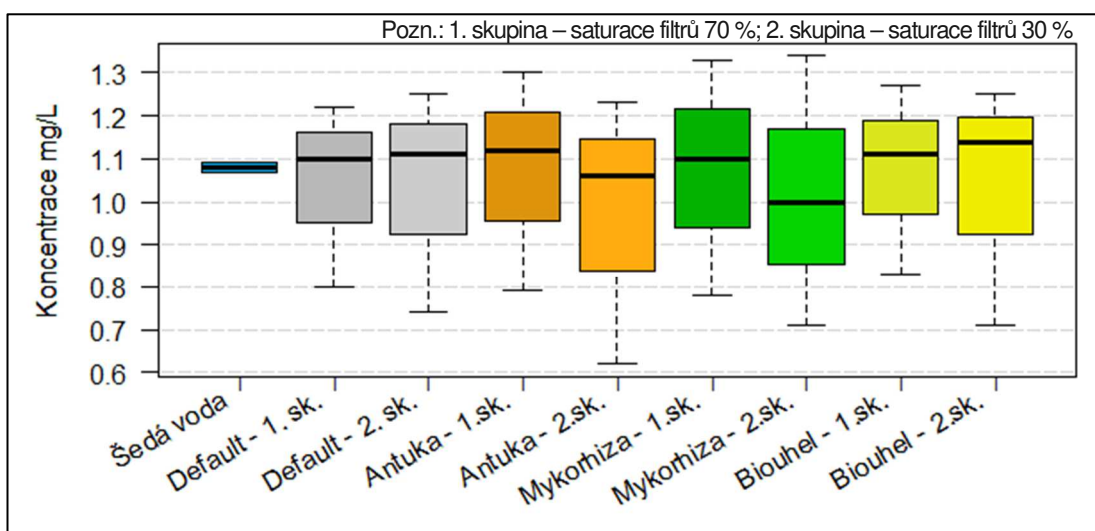
Příloha 31: Průběh koncentrací boru (2. skupina)



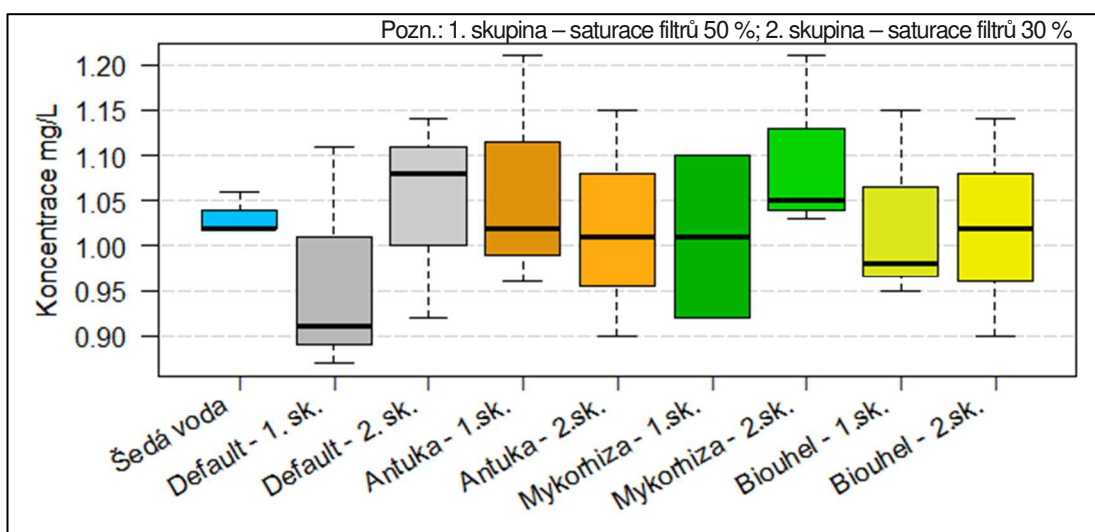
Příloha 32: Přehled koncentrací boru naměřených v průběhu první etapy



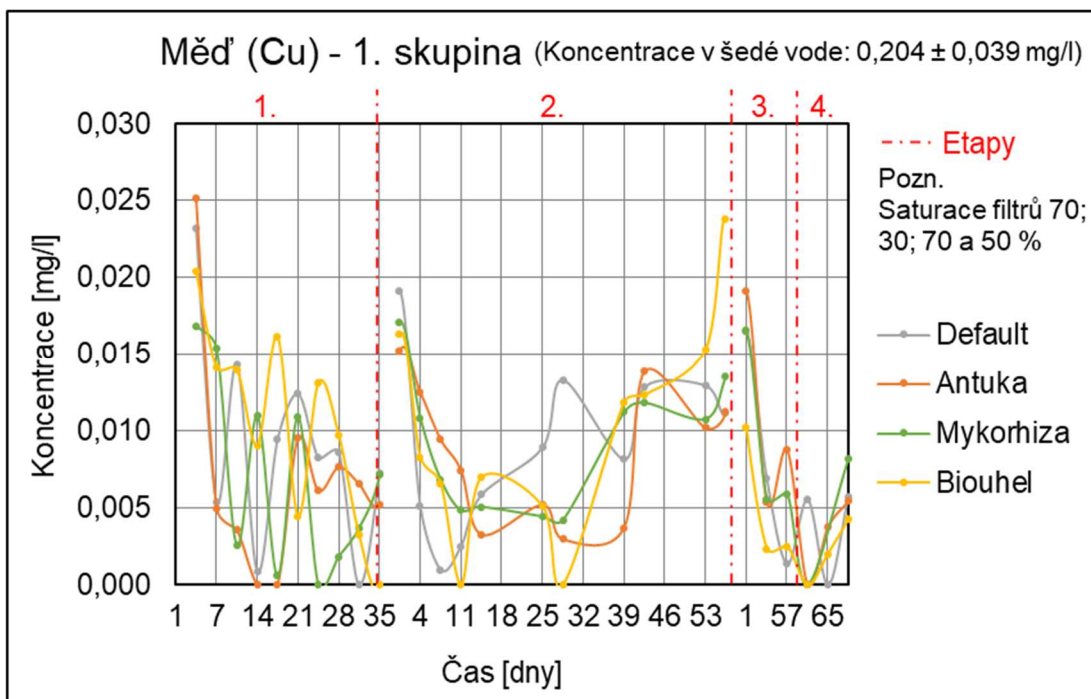
Příloha 33: Přehled koncentrací boru naměřených v průběhu druhé etapy



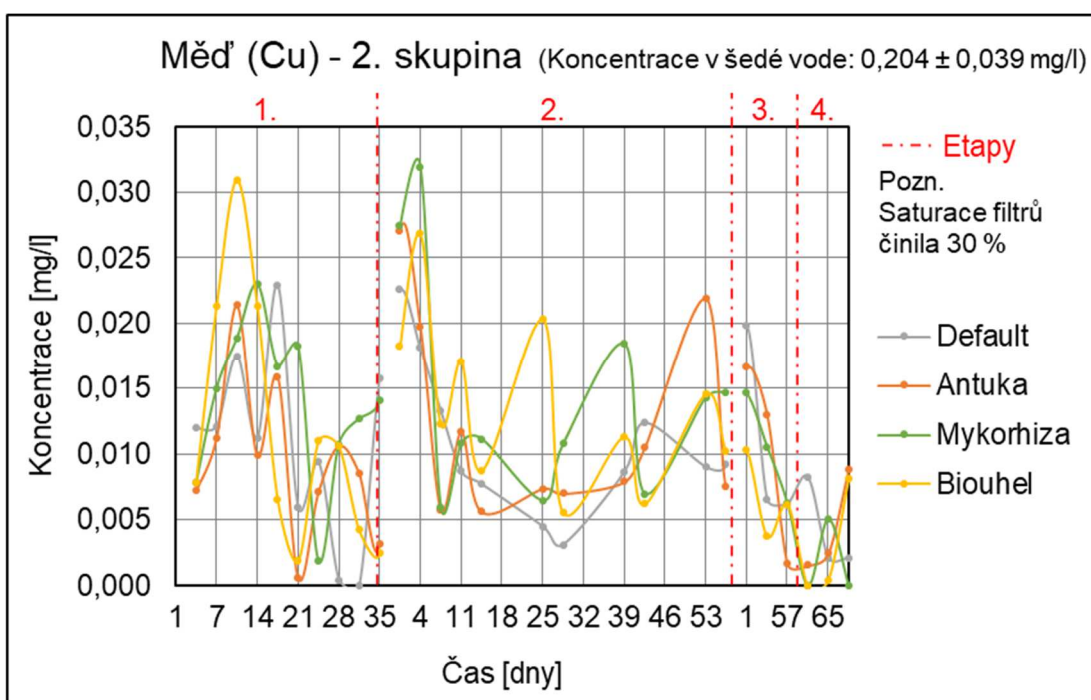
Příloha 34: Přehled koncentrací boru naměřených v průběhu třetí etapy



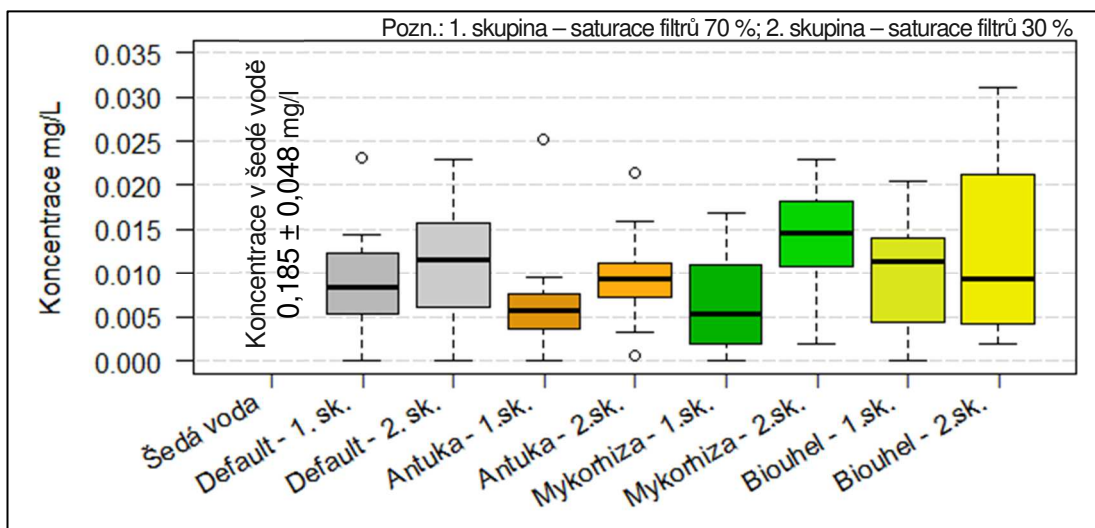
Příloha 35: Přehled koncentrací boru naměřených v průběhu čtvrté etapy



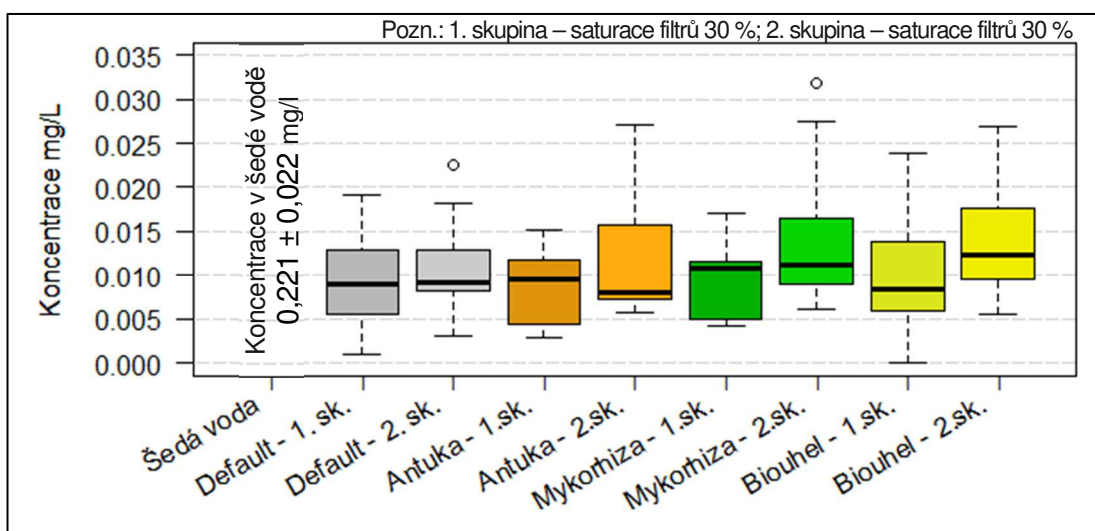
Příloha 36: Průběh koncentrací mědi (1. skupina)



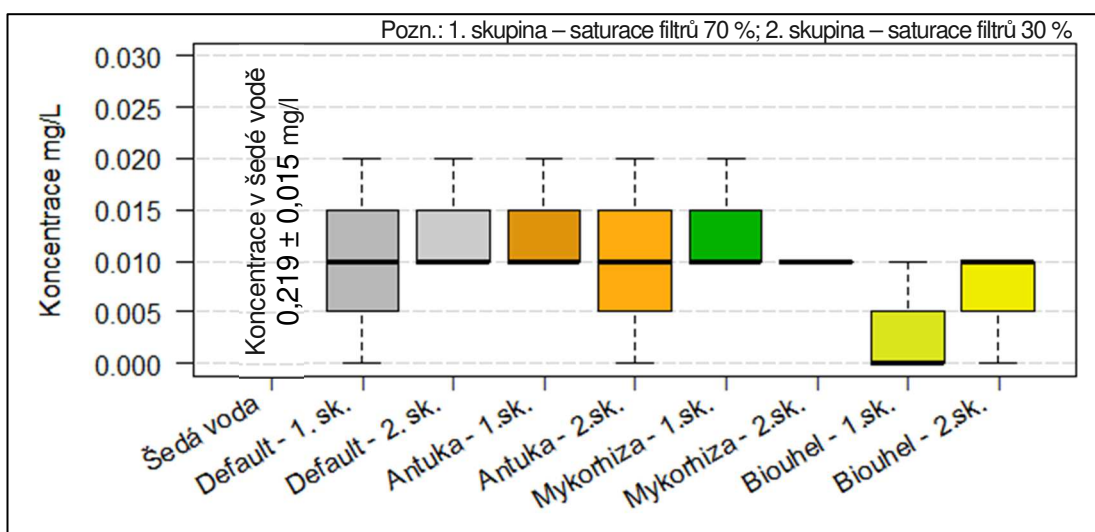
Příloha 37: Průběh koncentrací mědi (2. skupina)



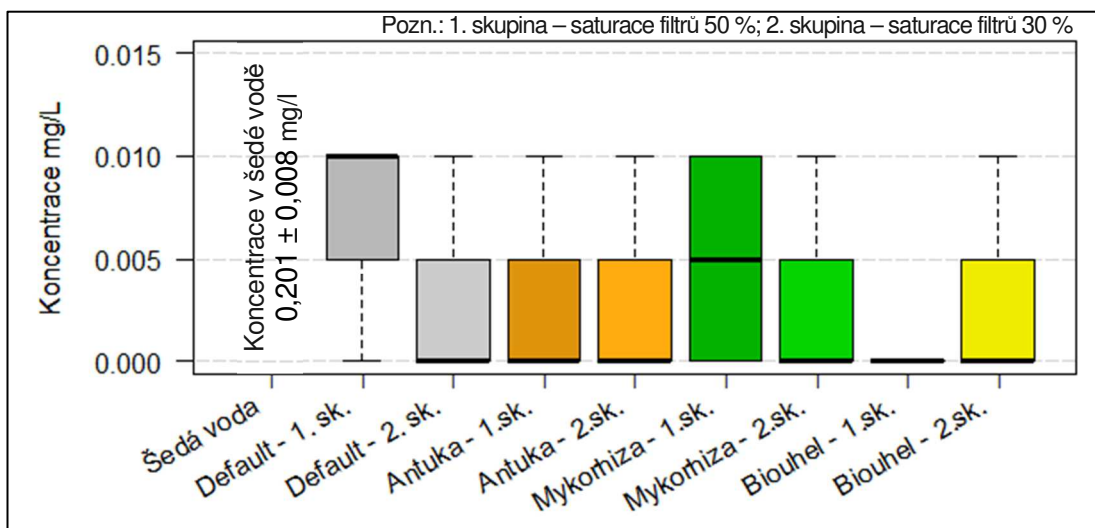
Příloha 38: Přehled koncentrací mědi naměřených v průběhu první etapy



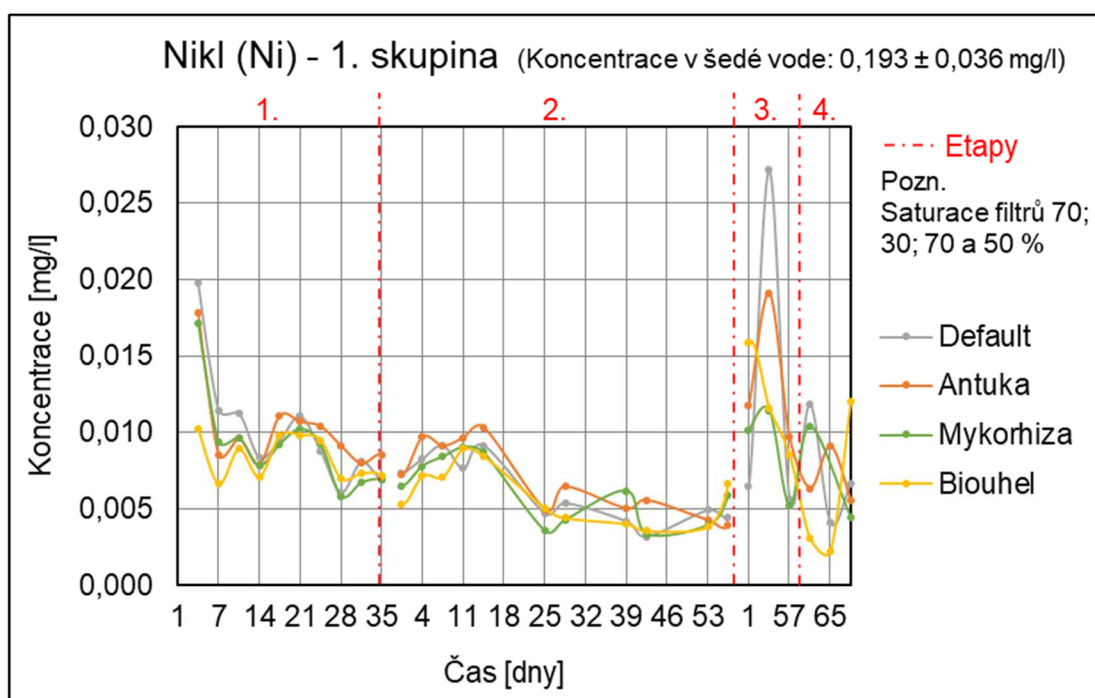
Příloha 39: Přehled koncentrací mědi naměřených v průběhu druhé etapy



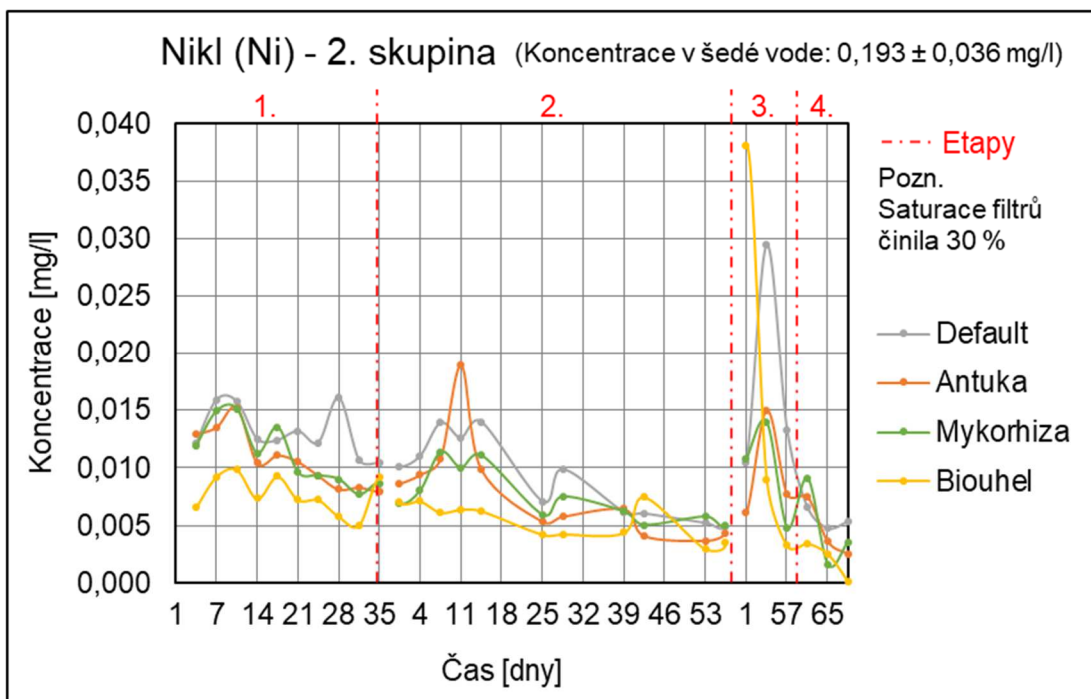
Příloha 40: Přehled koncentrací mědi naměřených v průběhu třetí etapy



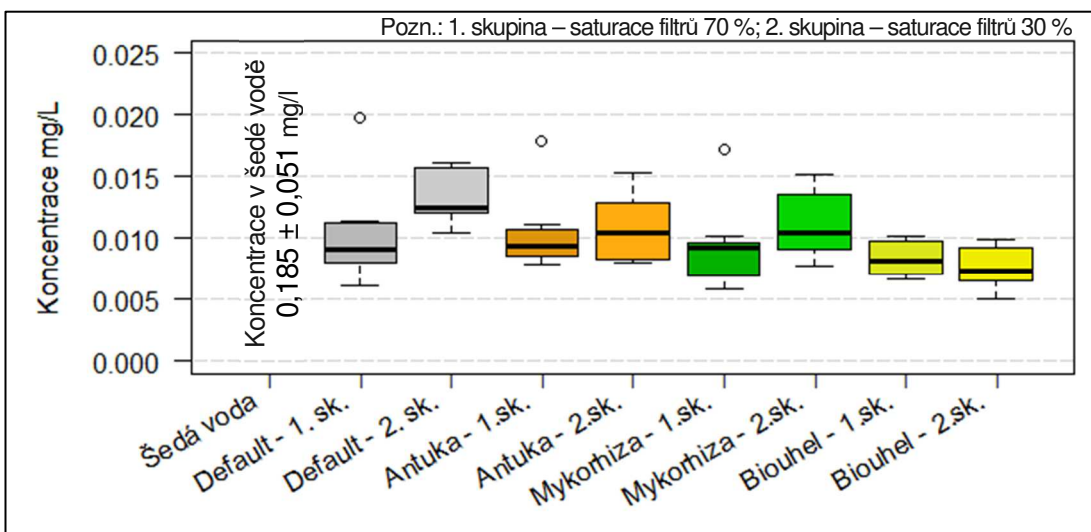
Příloha 41: Přehled koncentrací mědi naměřených v průběhu čtvrté etapy



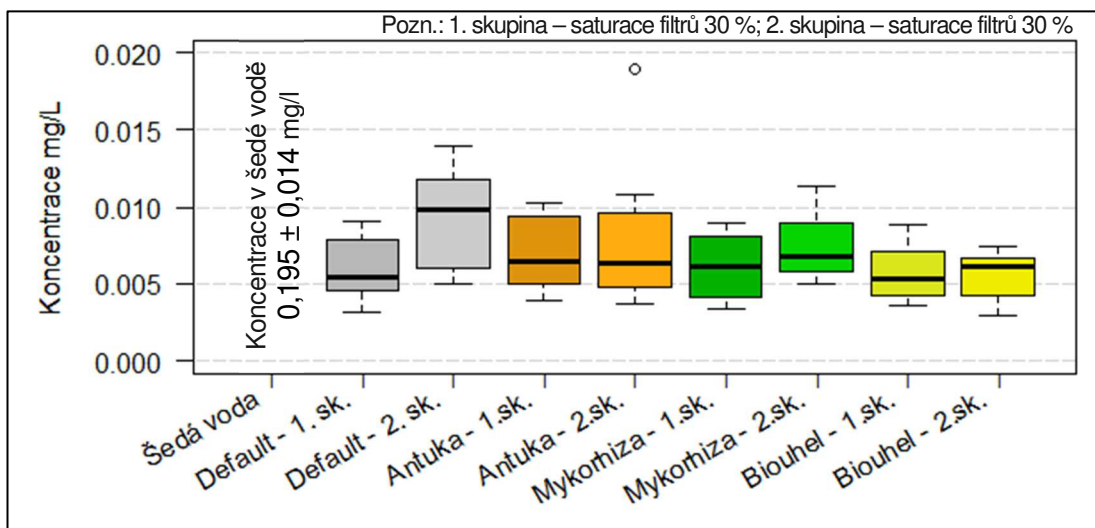
Příloha 42: Průběh koncentrací niklu (1. skupina)



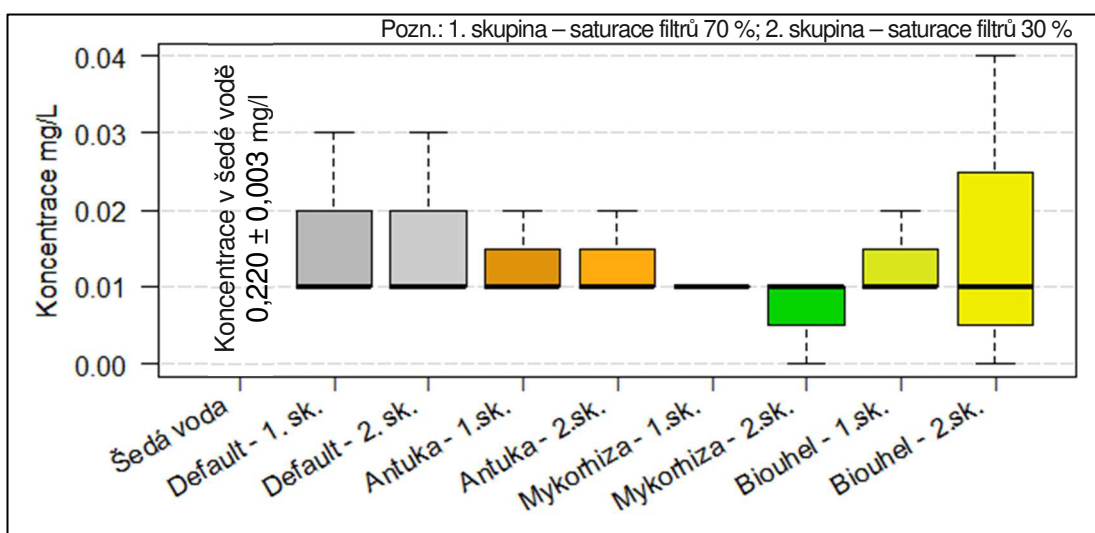
Příloha 43: Průběh koncentrací niklu (2. skupina)



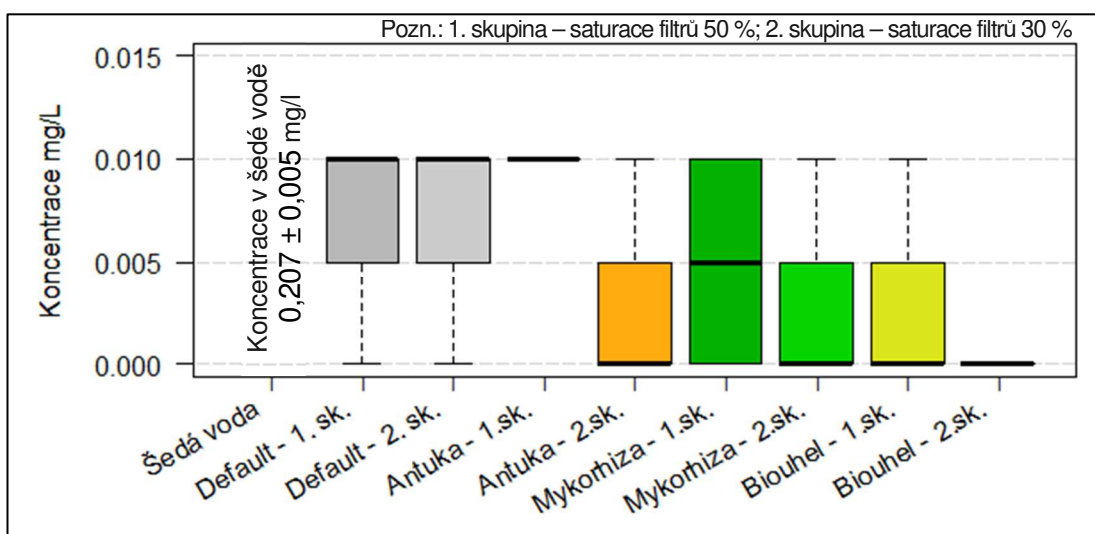
Příloha 44: Přehled koncentrací niklu naměřených v průběhu první etapy



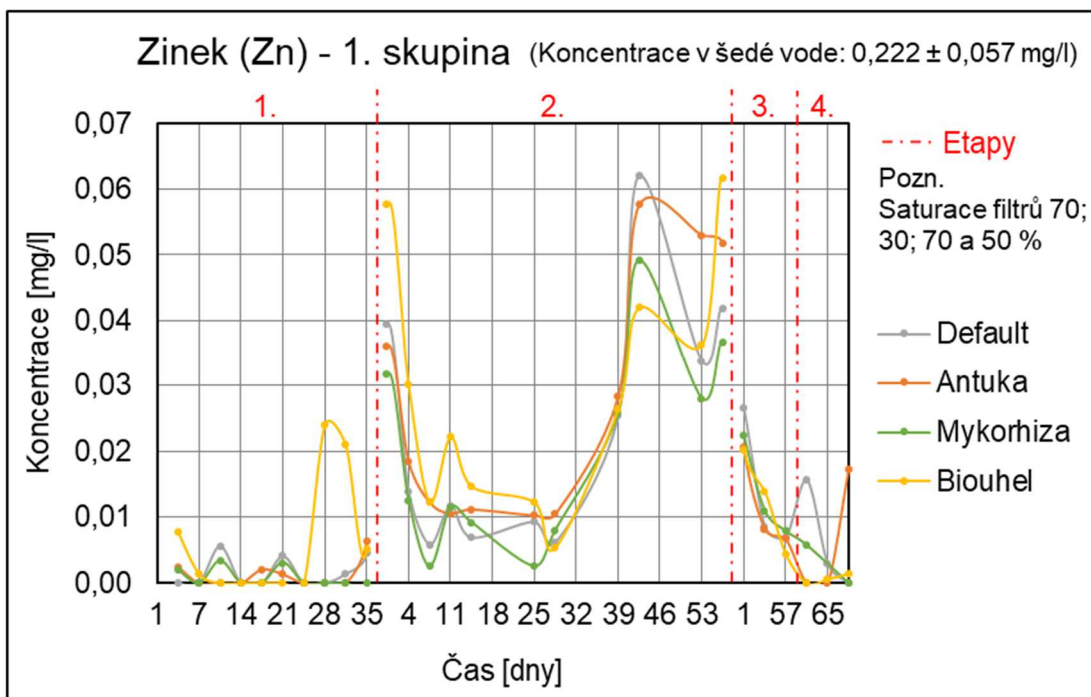
Příloha 45: Přehled koncentrací niklu naměřených v průběhu druhé etapy



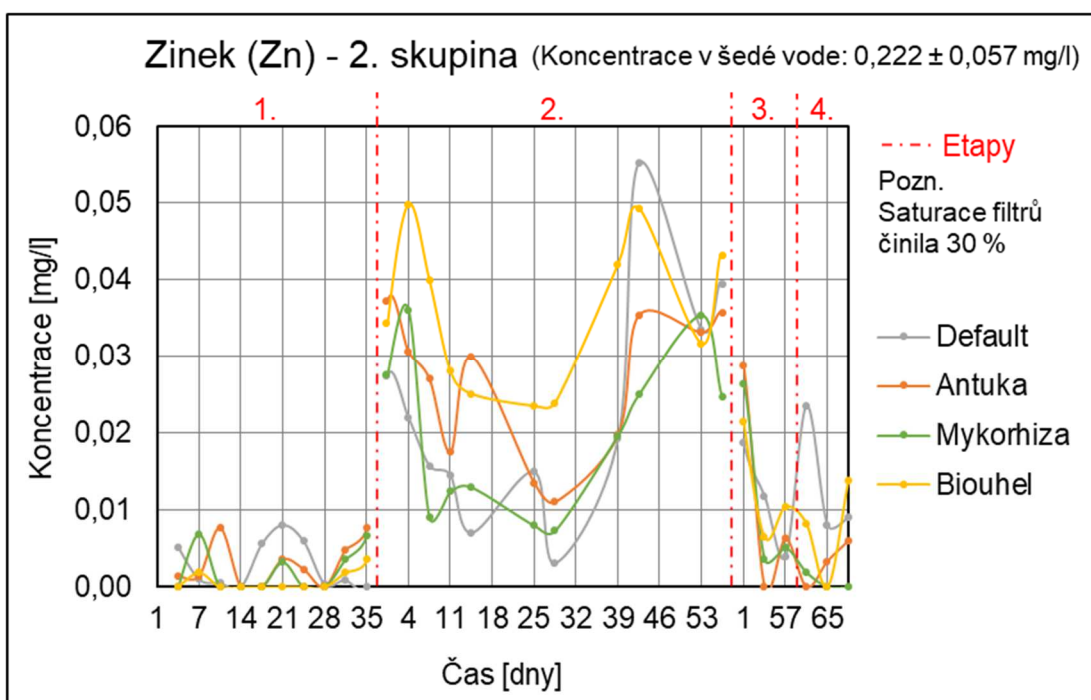
Příloha 46: Přehled koncentrací niklu naměřených v průběhu třetí etapy



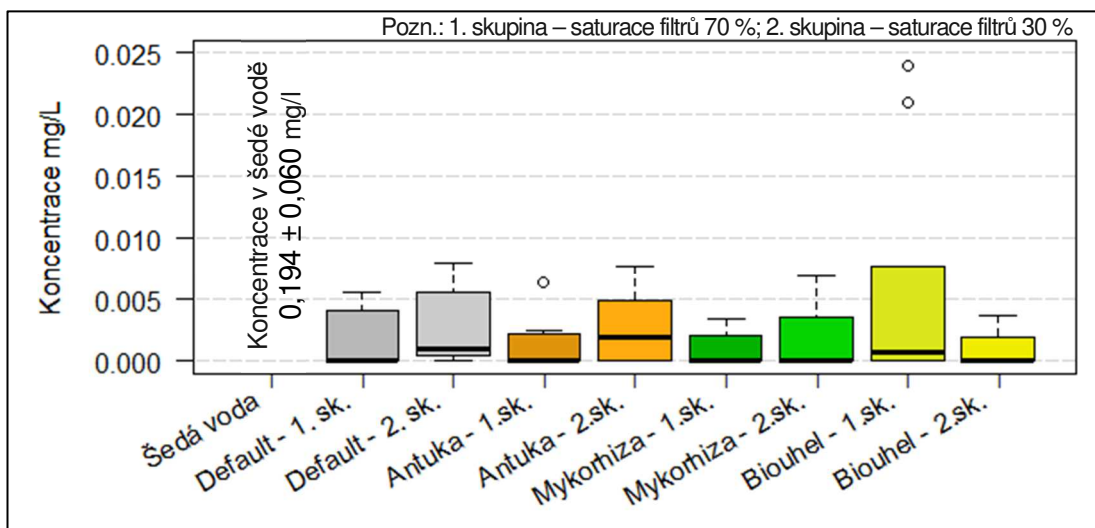
Příloha 47: Přehled koncentrací niklu naměřených v průběhu čtvrté etapy



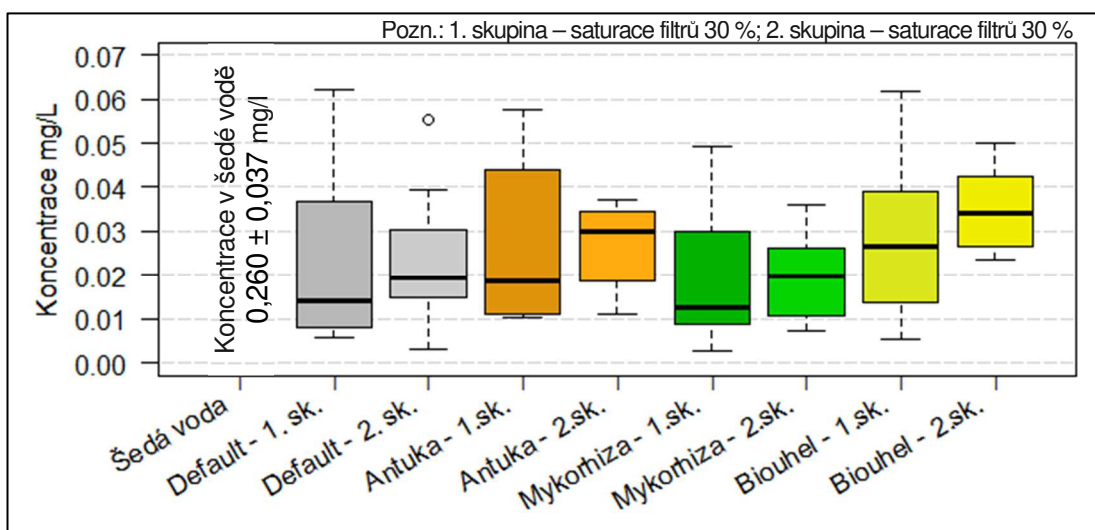
Příloha 48: Průběh koncentrací zinku (1. skupina)



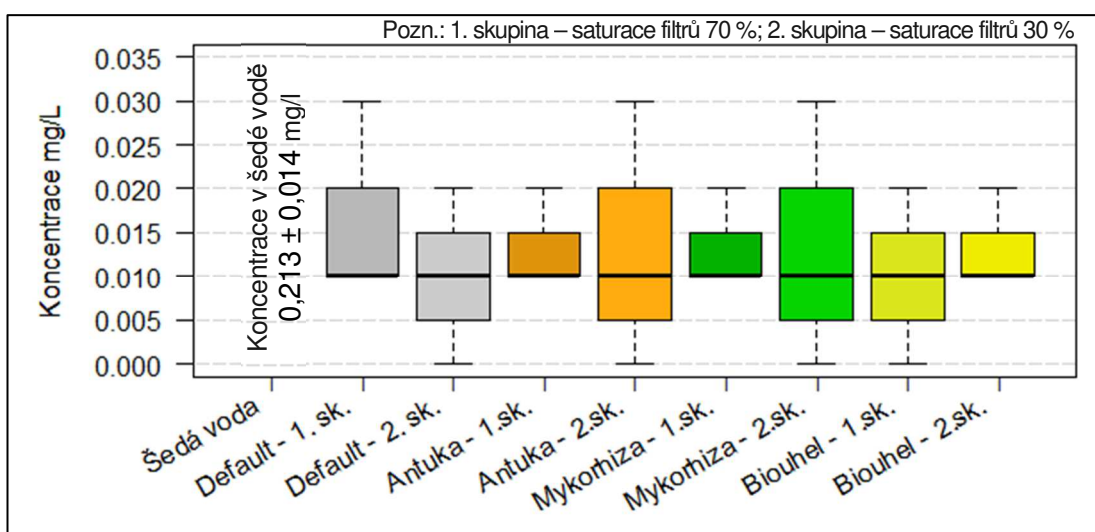
Příloha 49: Průběh koncentrací zinku (2. skupina)



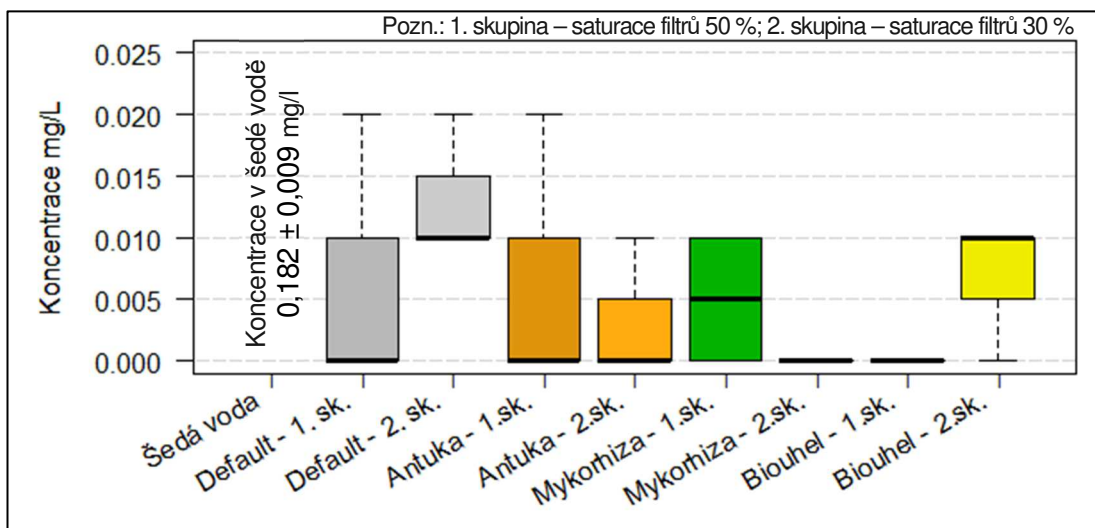
Příloha 50: Přehled koncentrací zinku naměřených v průběhu první etapy



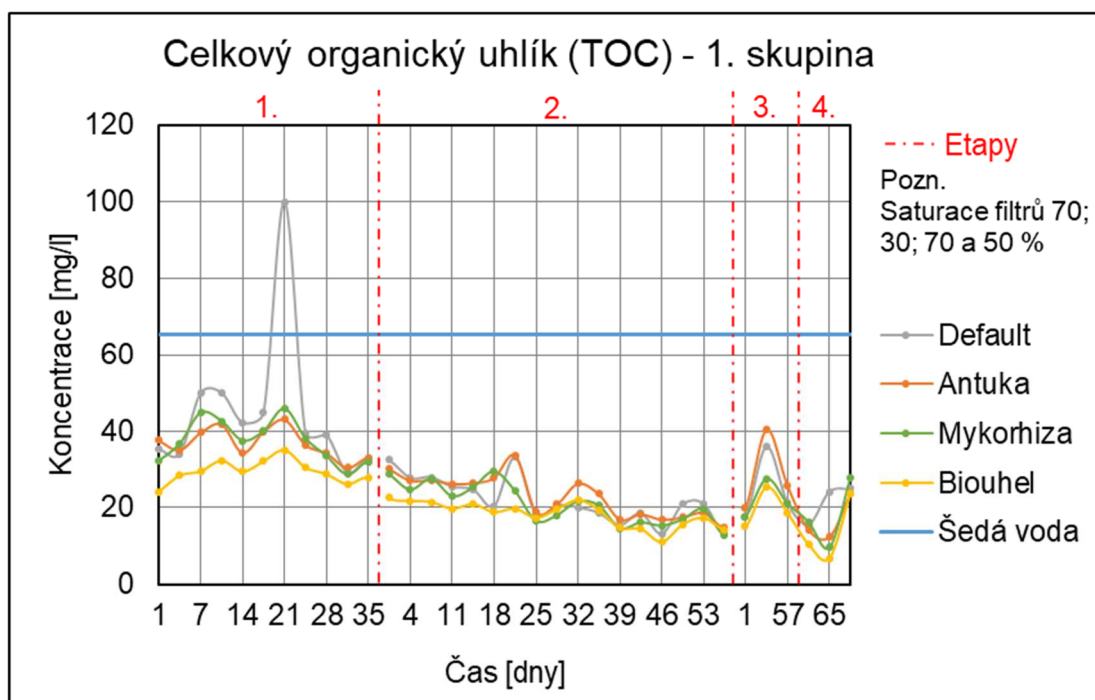
Příloha 51: Přehled koncentrací zinku naměřených v průběhu druhé etapy



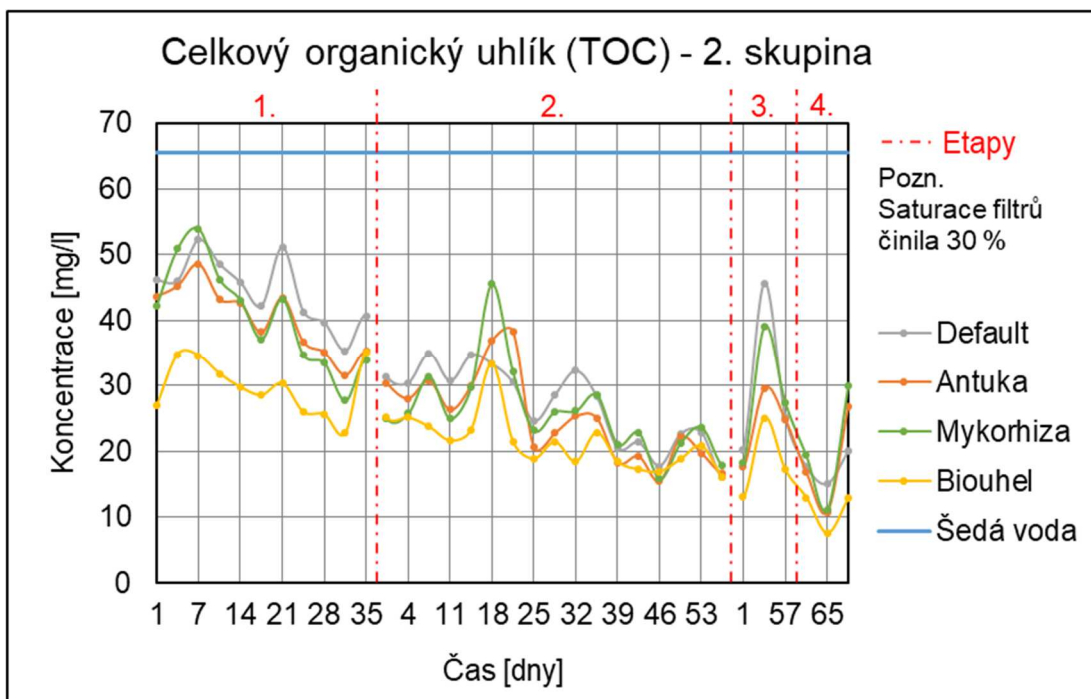
Příloha 52: Přehled koncentrací zinku naměřených v průběhu třetí etapy



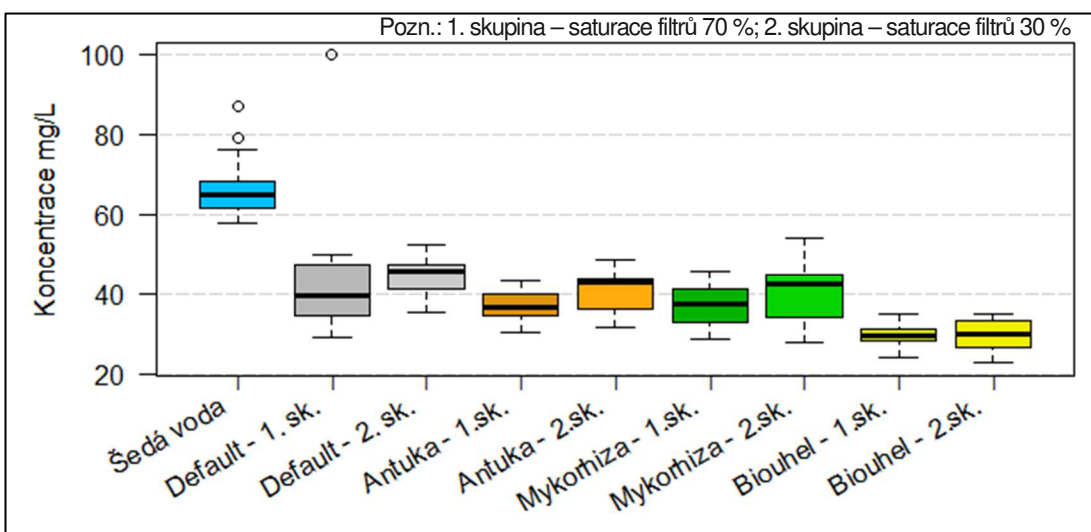
Příloha 53: Přehled koncentrací zinku naměřených v průběhu čtvrté etapy



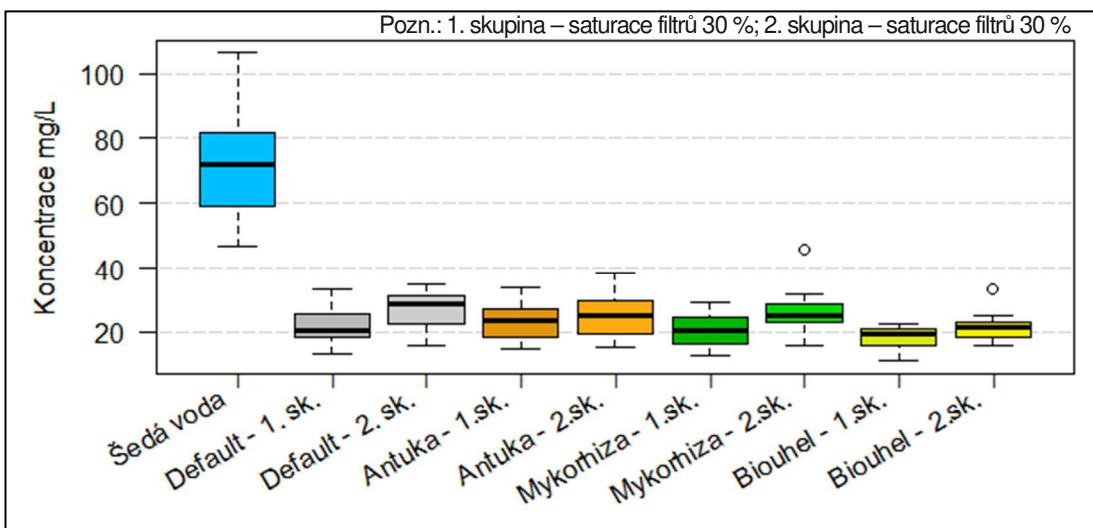
Příloha 54: Průběh koncentrací TOC (1. skupina)



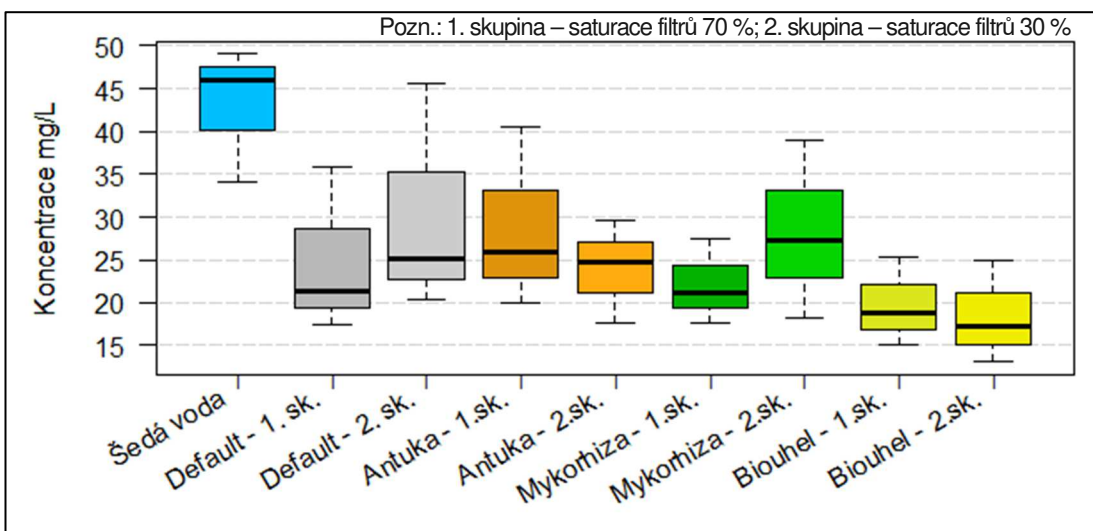
Příloha 55: Průběh koncentrací TOC (2. skupina)



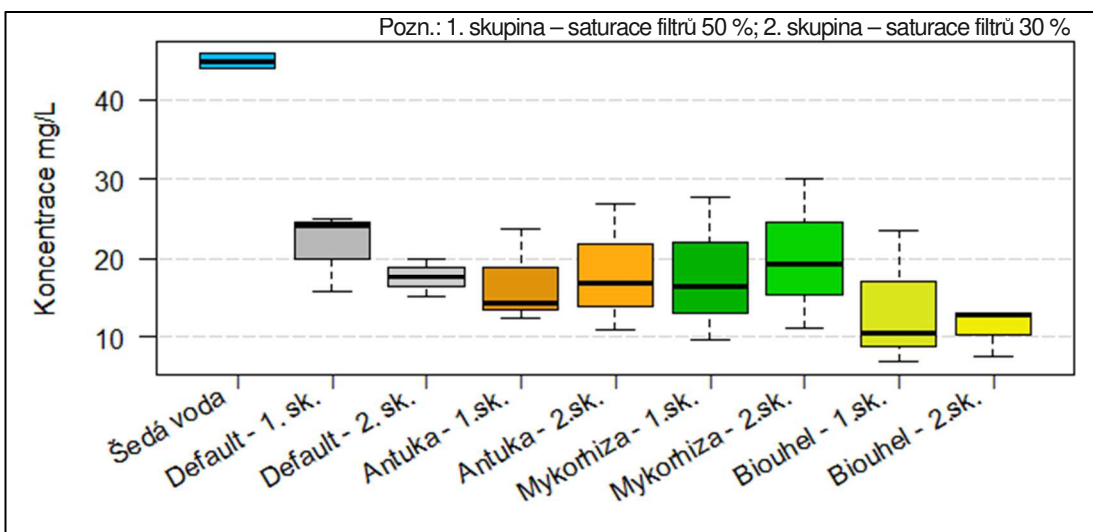
Příloha 56: Přehled koncentrací TOC naměřených v průběhu první etapy



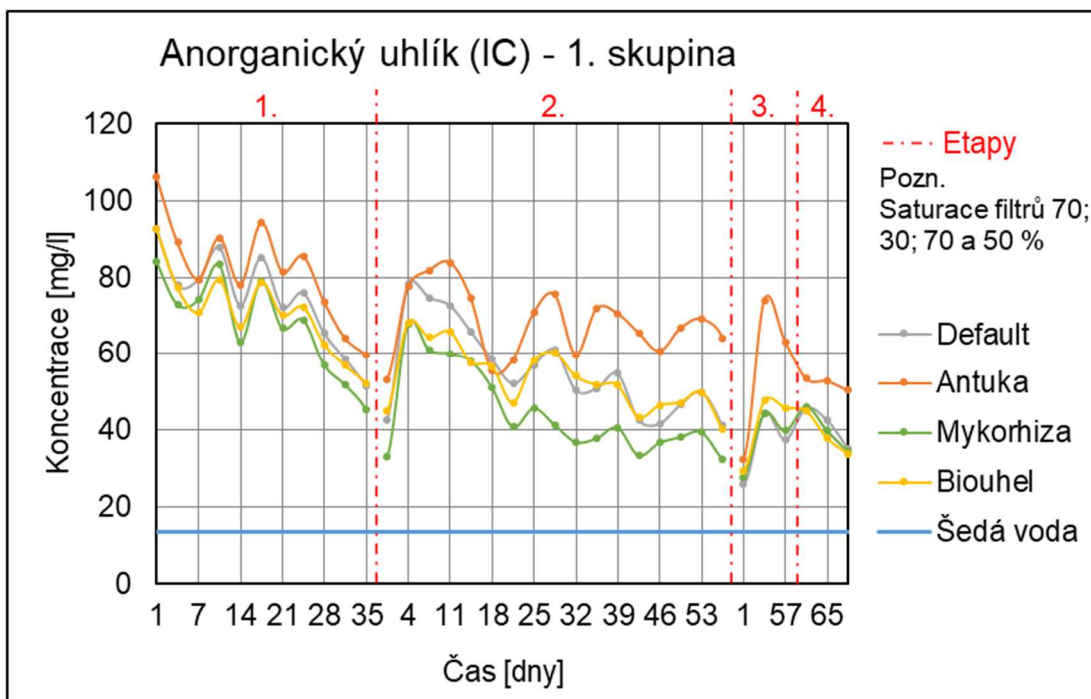
Příloha 57: Přehled koncentrací TOC naměřených v průběhu druhé etapy



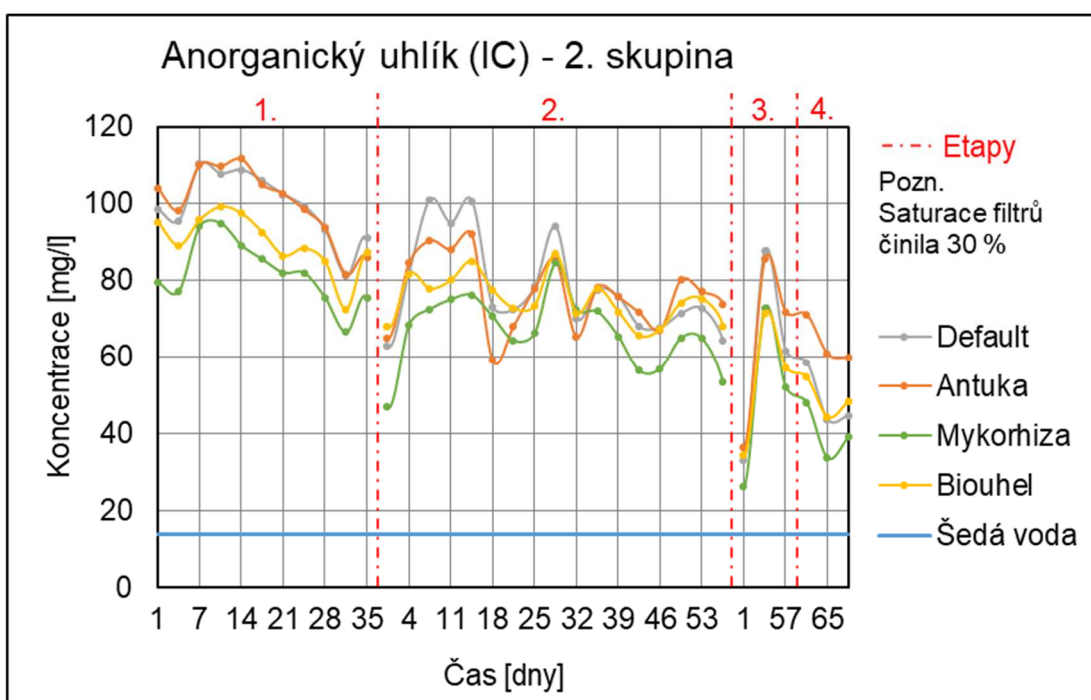
Příloha 58: Přehled koncentrací TOC naměřených v průběhu třetí etapy



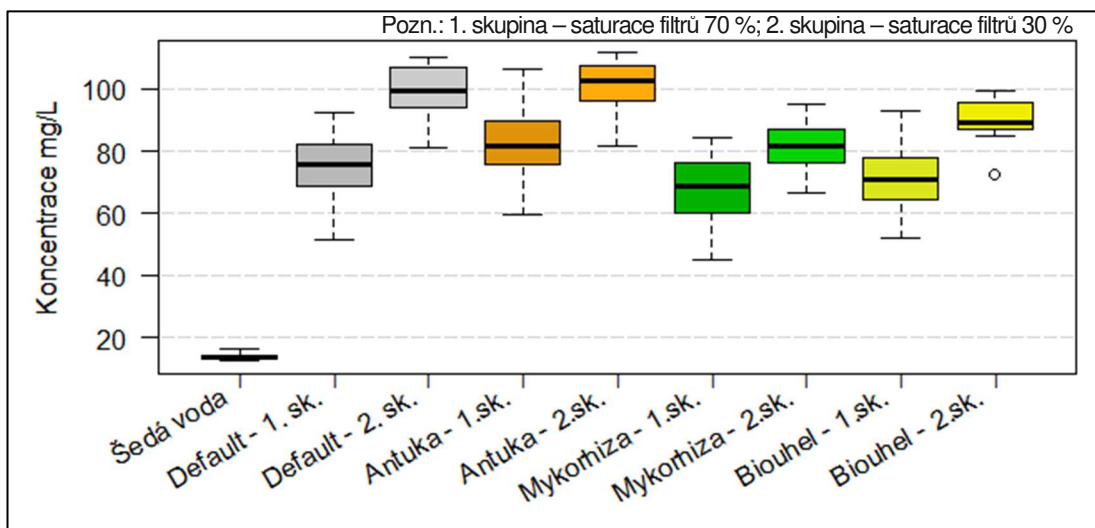
Příloha 59: Přehled koncentrací TOC naměřených v průběhu čtvrté etapy



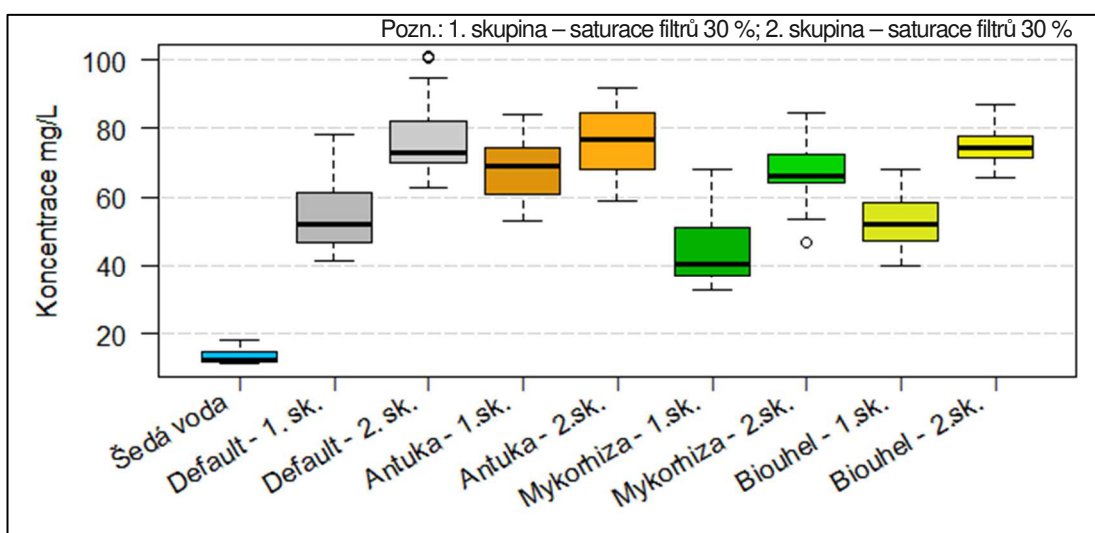
Příloha 60: Průběh koncentrací IC (1. skupina)



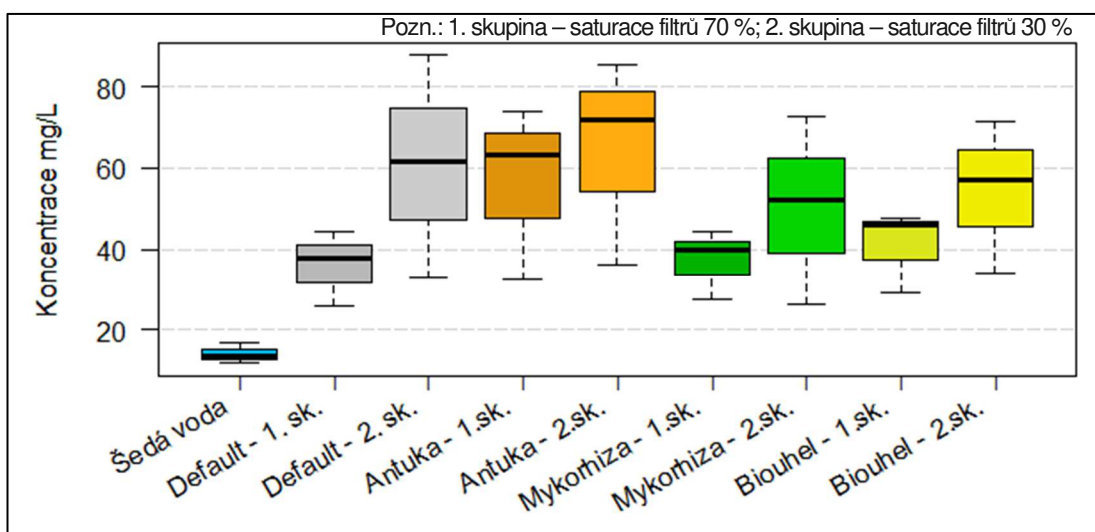
Příloha 61: Průběh koncentrací IC (2. skupina)



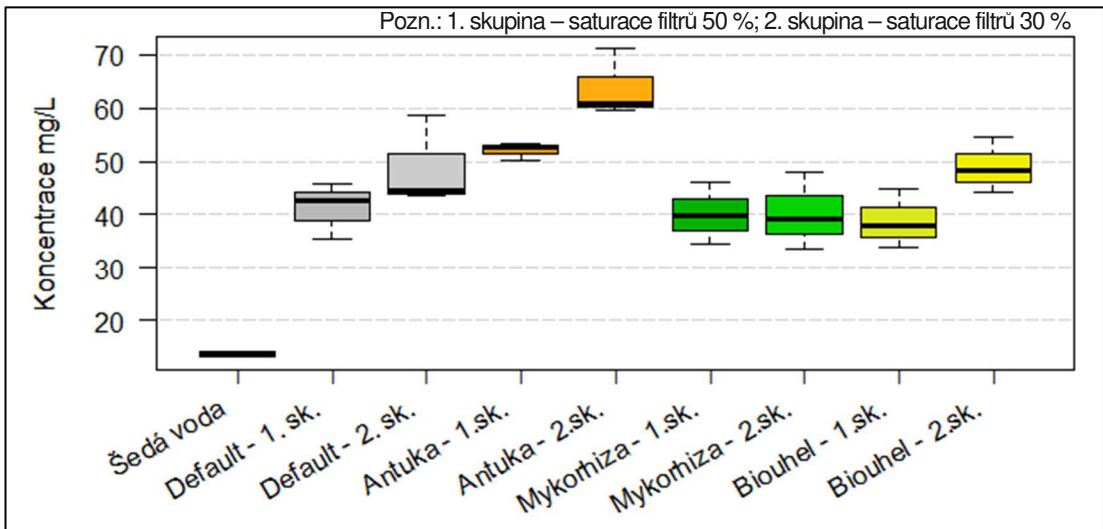
Příloha 62: Přehled koncentrací IC naměřených v průběhu první etapy



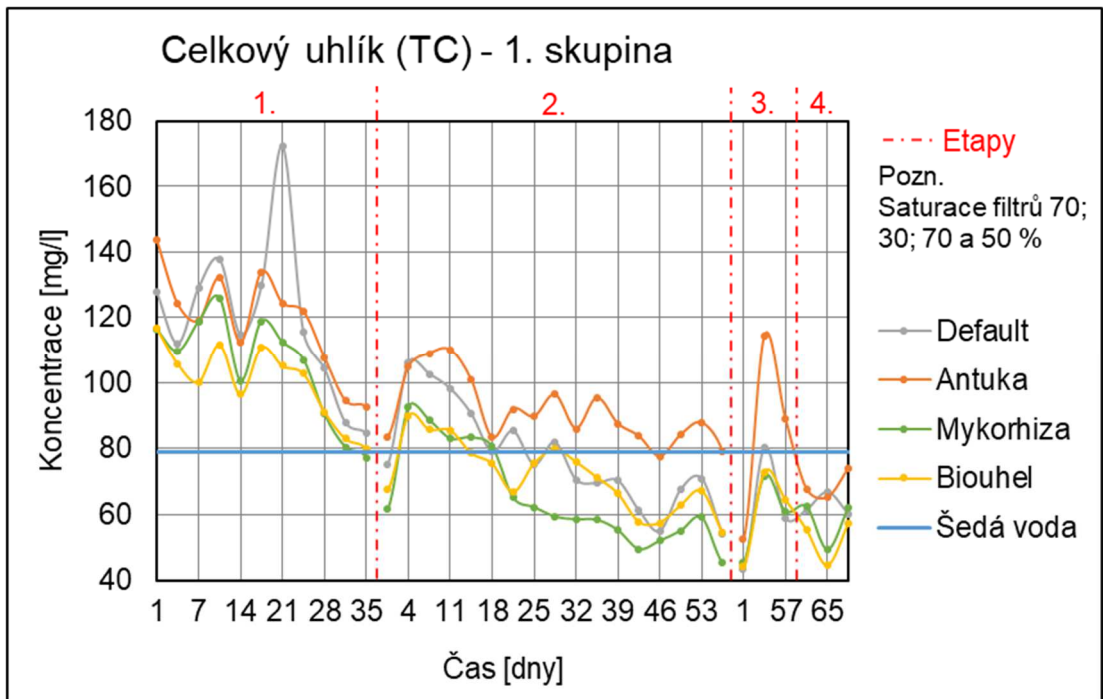
Příloha 63: Přehled koncentrací IC naměřených v průběhu druhé etapy



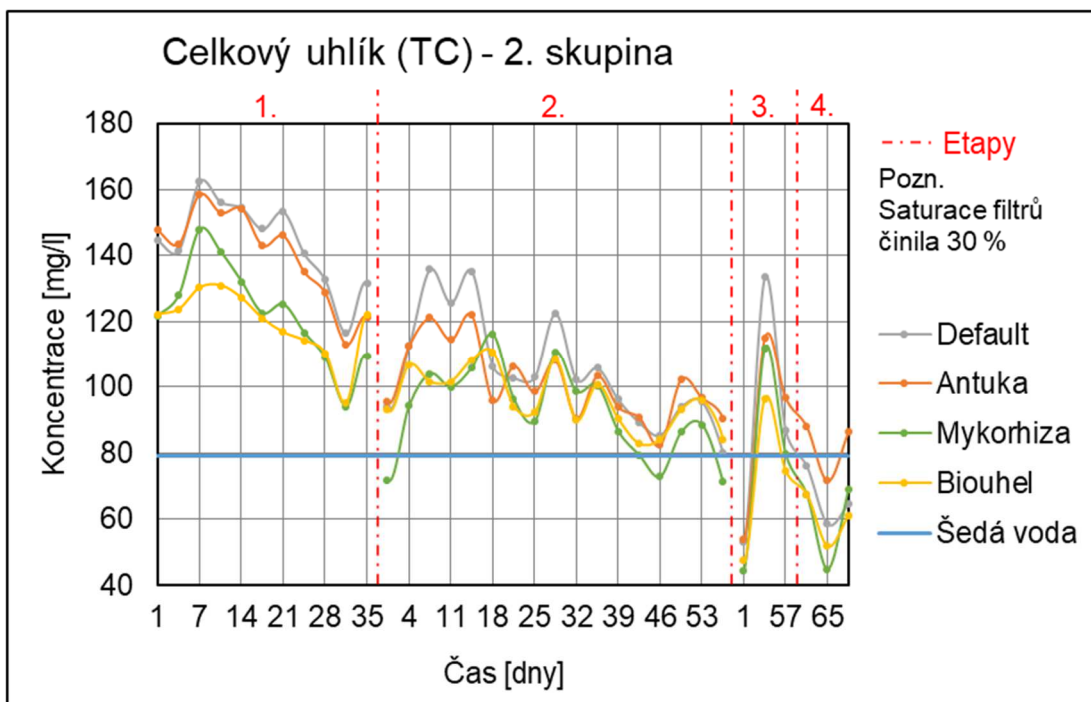
Příloha 64: Přehled koncentrací IC naměřených v průběhu třetí etapy



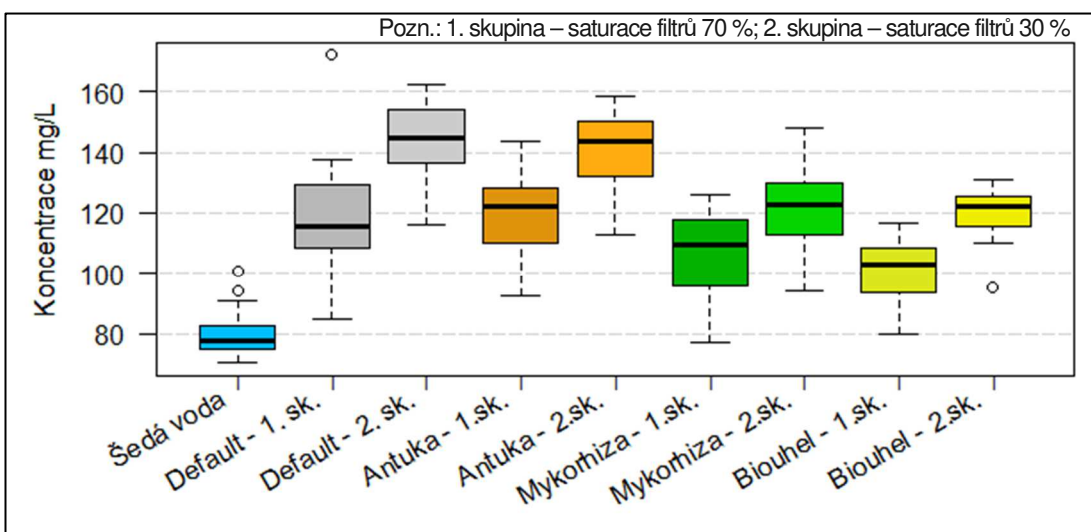
Příloha 65: Přehled koncentrací IC naměřených v průběhu čtvrté etapy



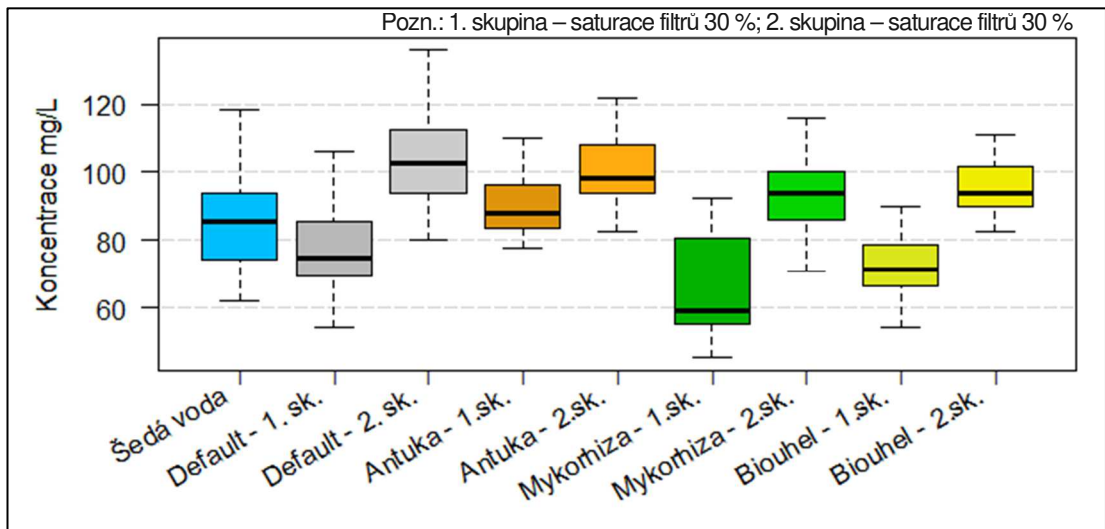
Příloha 66: Průběh koncentrací TC (1. skupina)



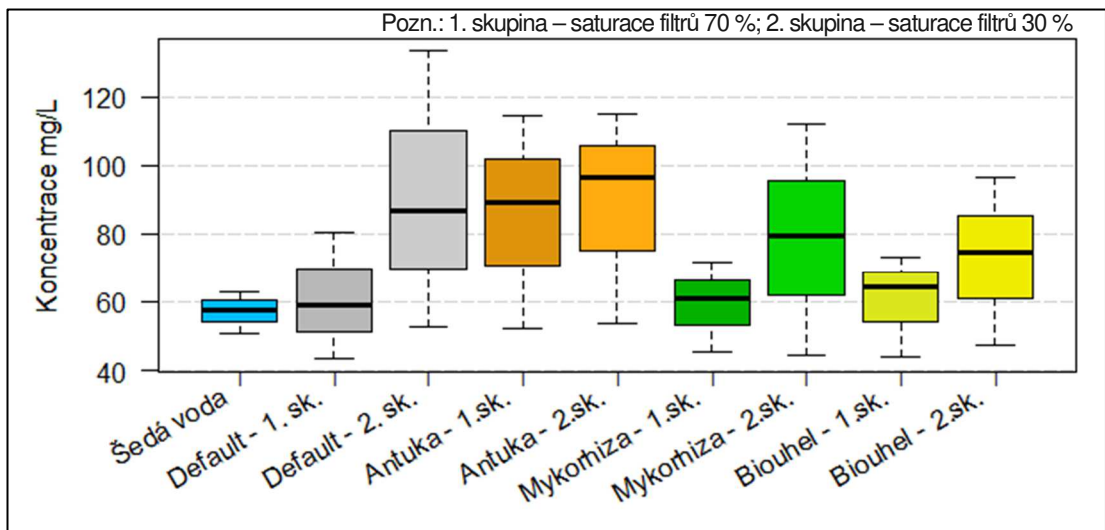
Příloha 67: Průběh koncentrací TC (2. skupina)



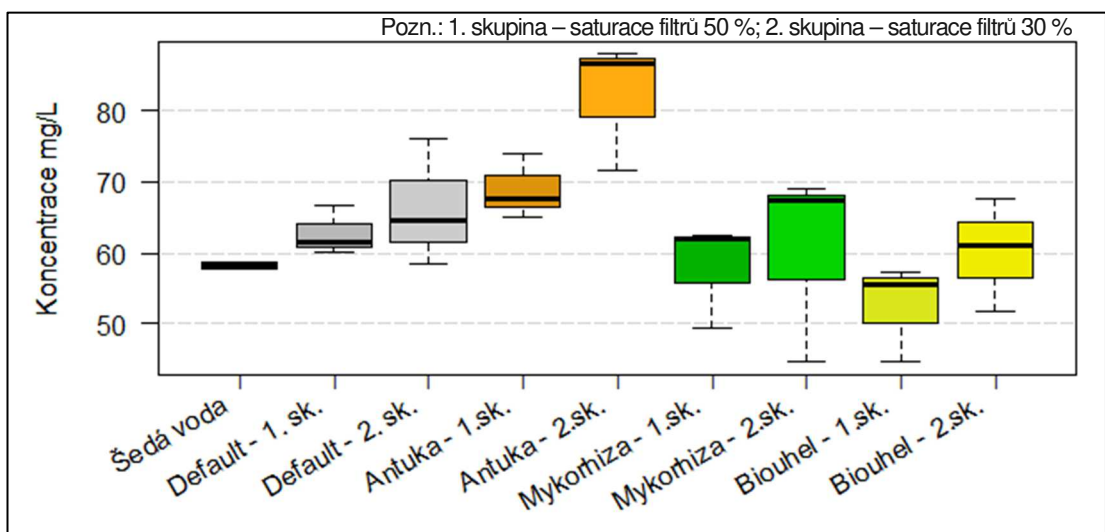
Příloha 68: Přehled koncentrací TC naměřených v průběhu první etapy



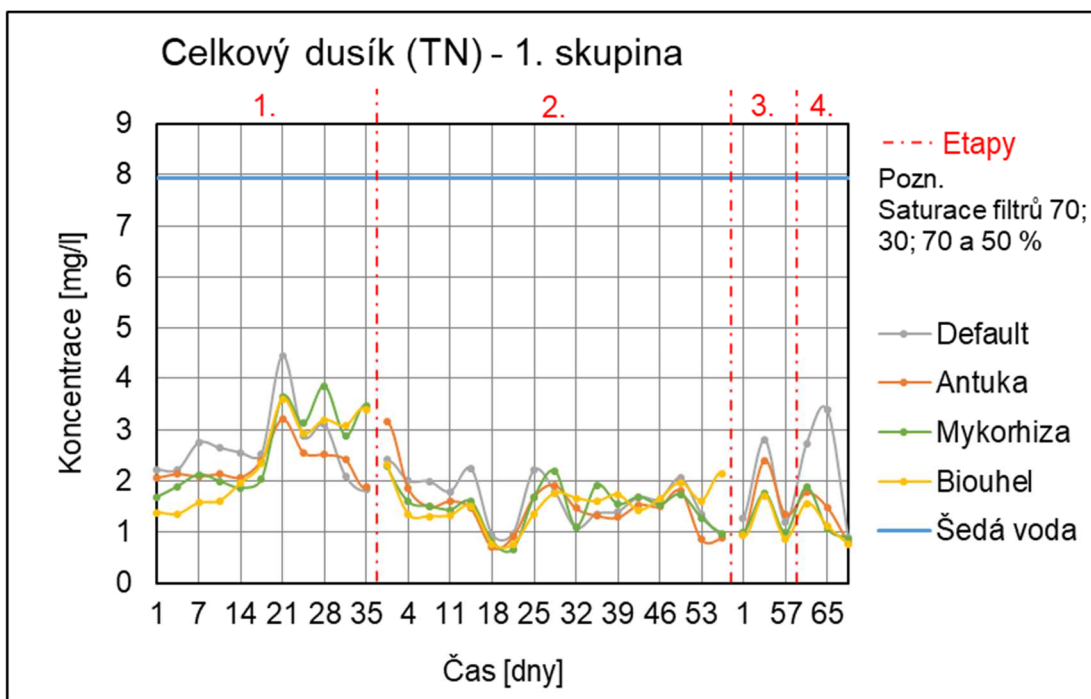
Příloha 69: Přehled koncentrací TC naměřených v průběhu druhé etapy



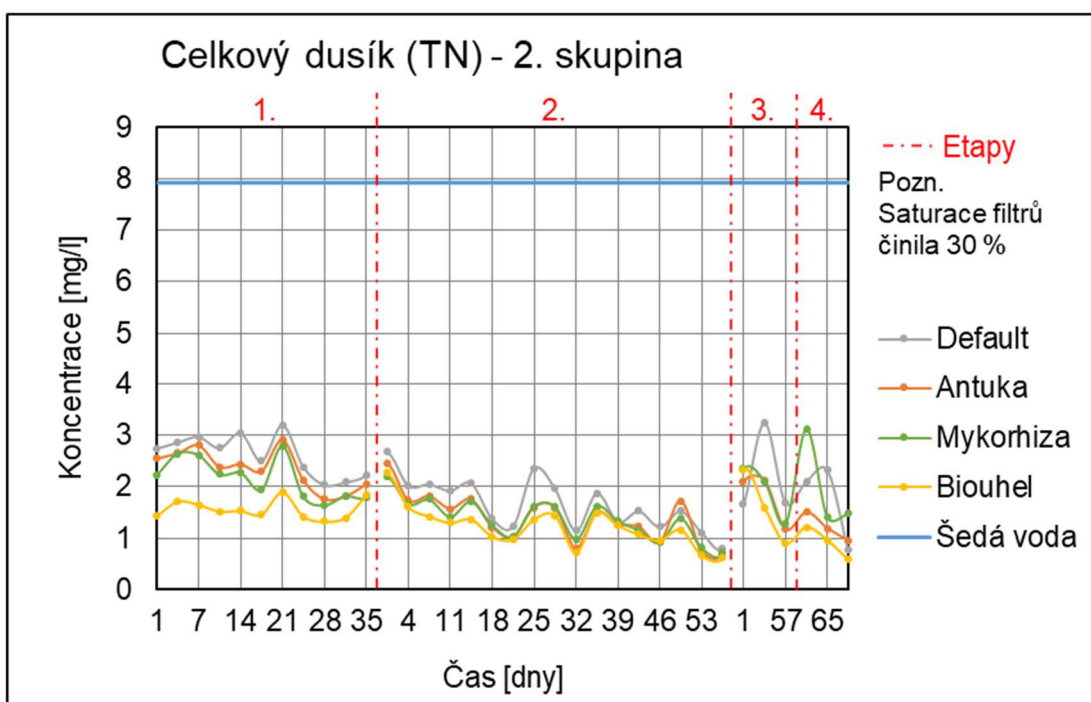
Příloha 70: Přehled koncentrací TC naměřených v průběhu třetí etapy



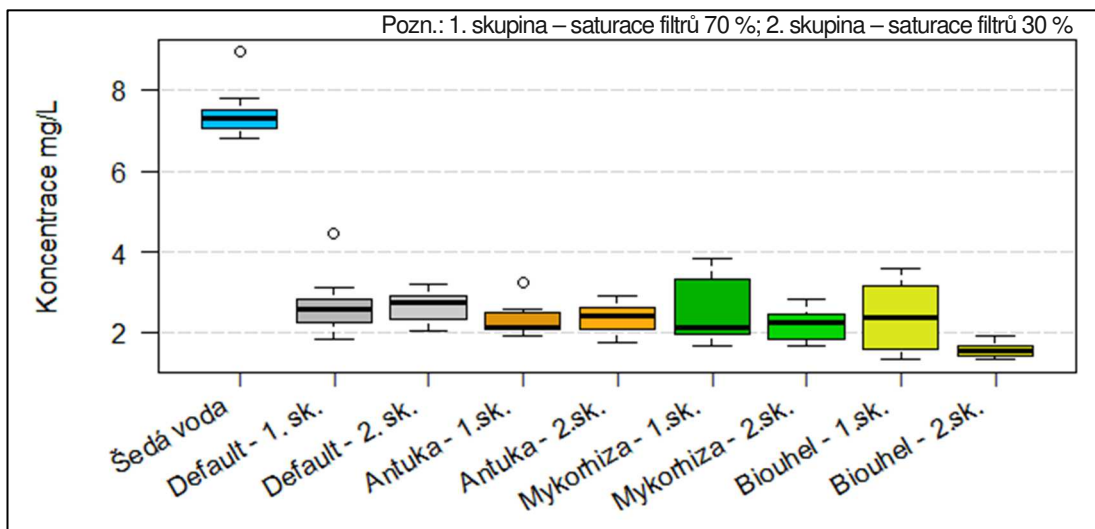
Příloha 71: Přehled koncentrací TC naměřených v průběhu čtvrté etapy



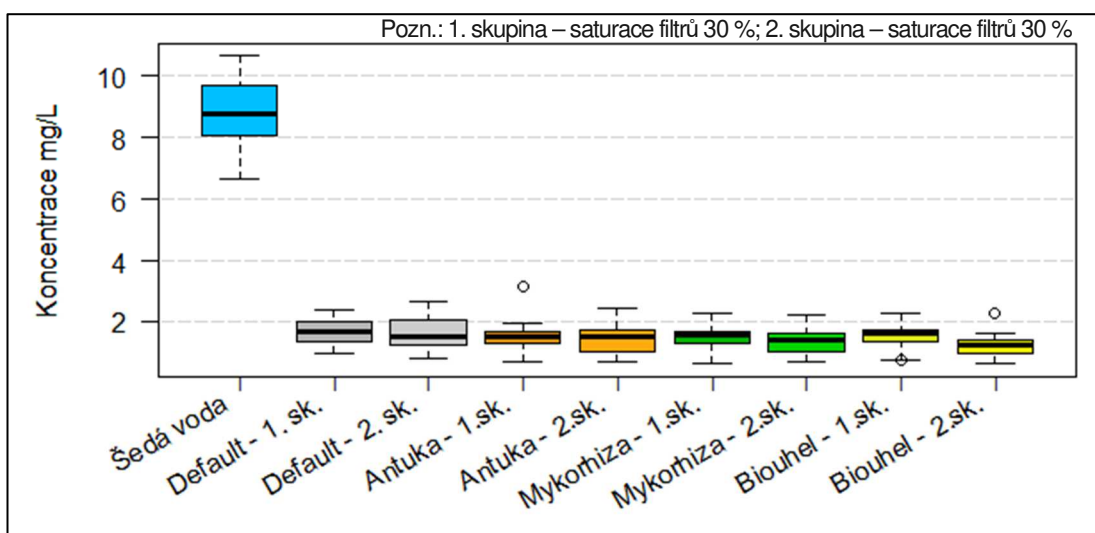
Příloha 72: Průběh koncentrací TN (1. skupina)



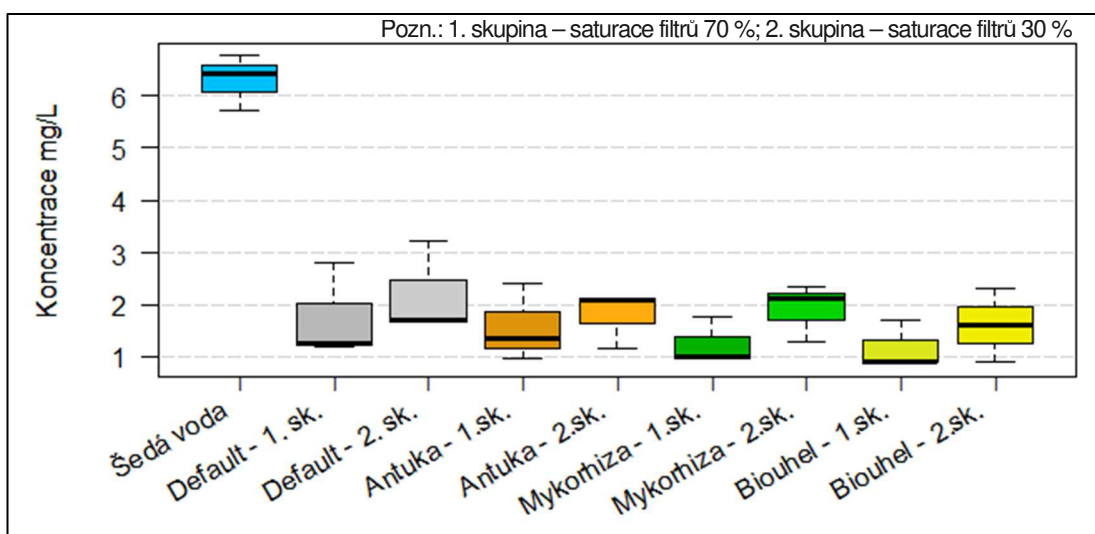
Příloha 73: Průběh koncentrací TN (2. skupina)



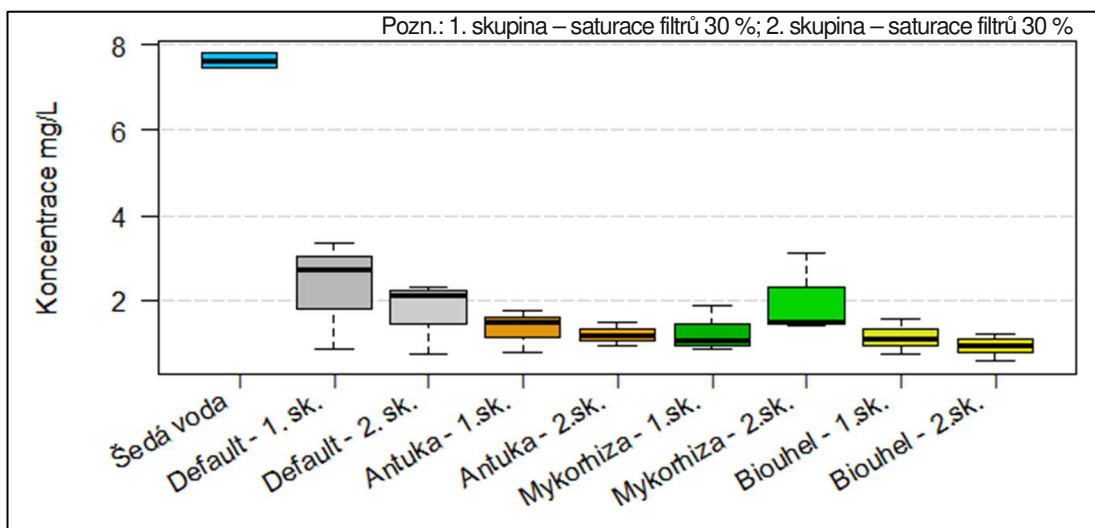
Příloha 74: Přehled koncentrací TN naměřených v průběhu první etapy



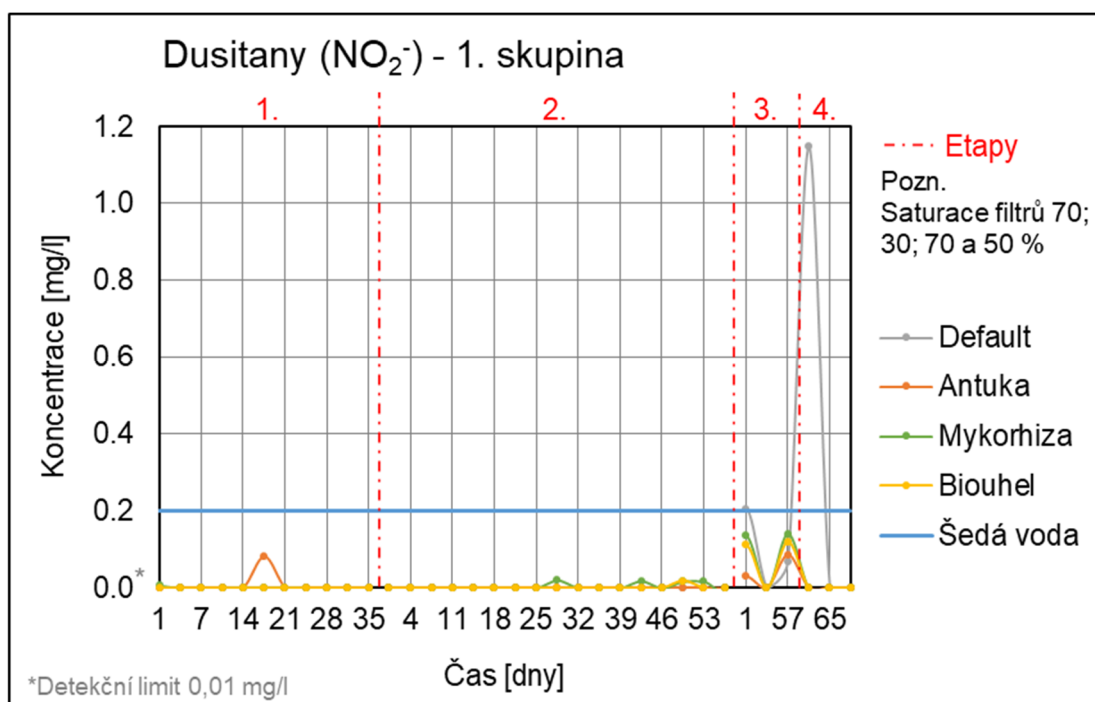
Příloha 75: Přehled koncentrací TN naměřených v průběhu druhé etapy



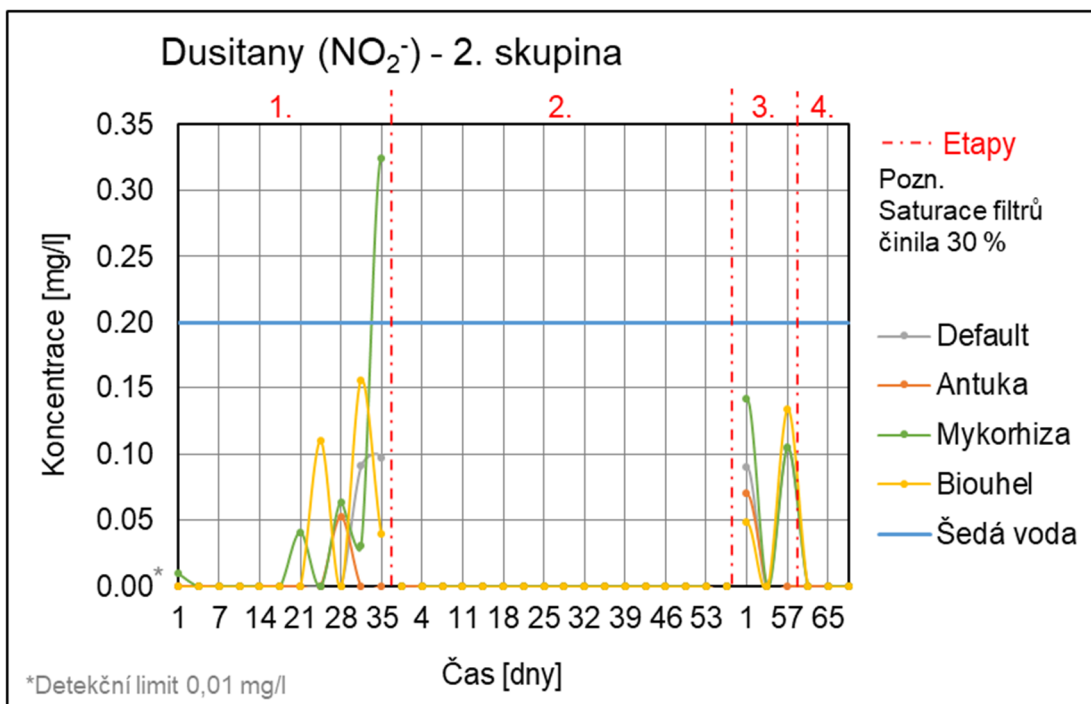
Příloha 76: Přehled koncentrací TN naměřených v průběhu třetí etapy



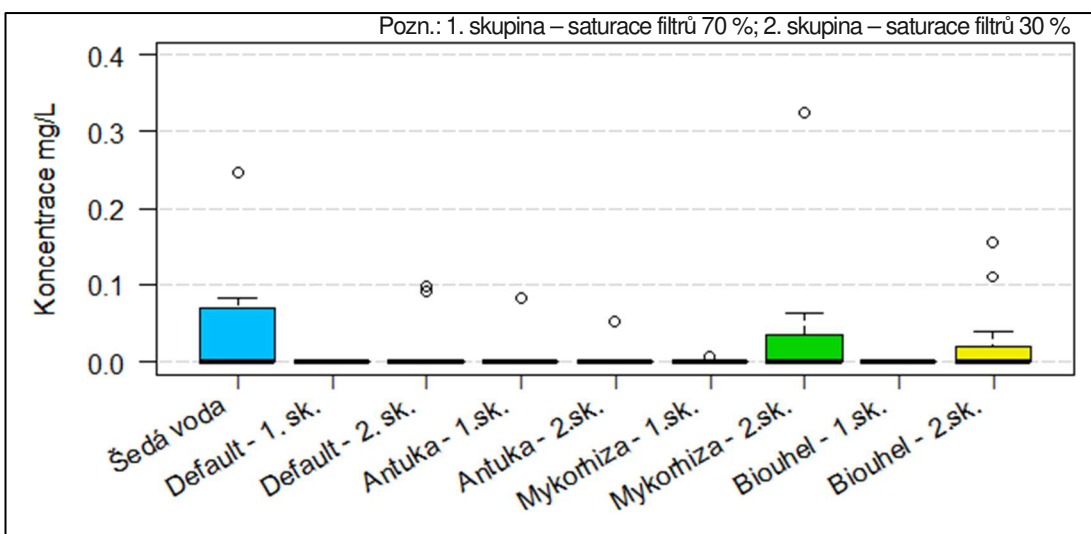
Příloha 77: Přehled koncentrací TN naměřených v průběhu čtvrté etapy



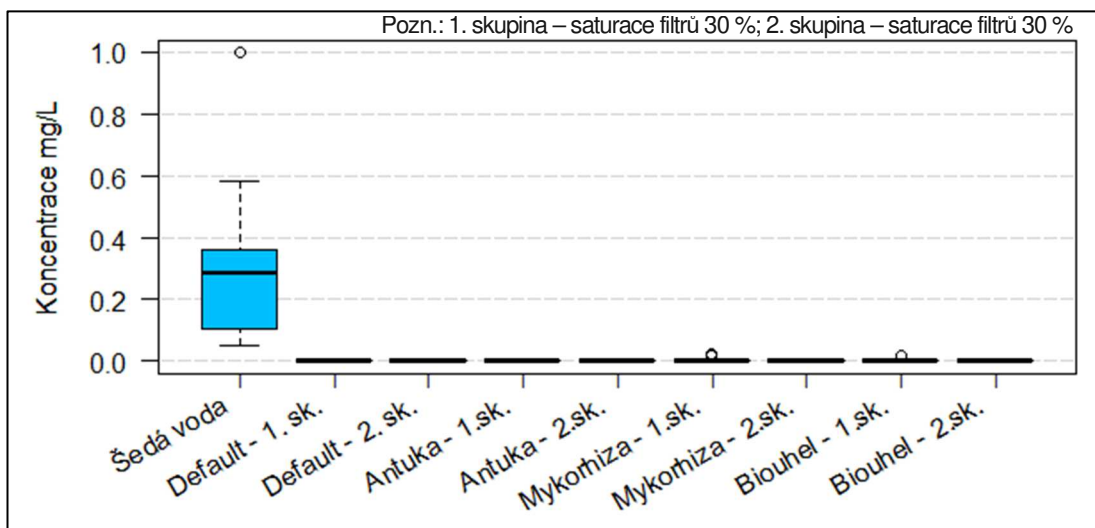
Příloha 78: Průběh koncentrací dusitanů (1. skupina)



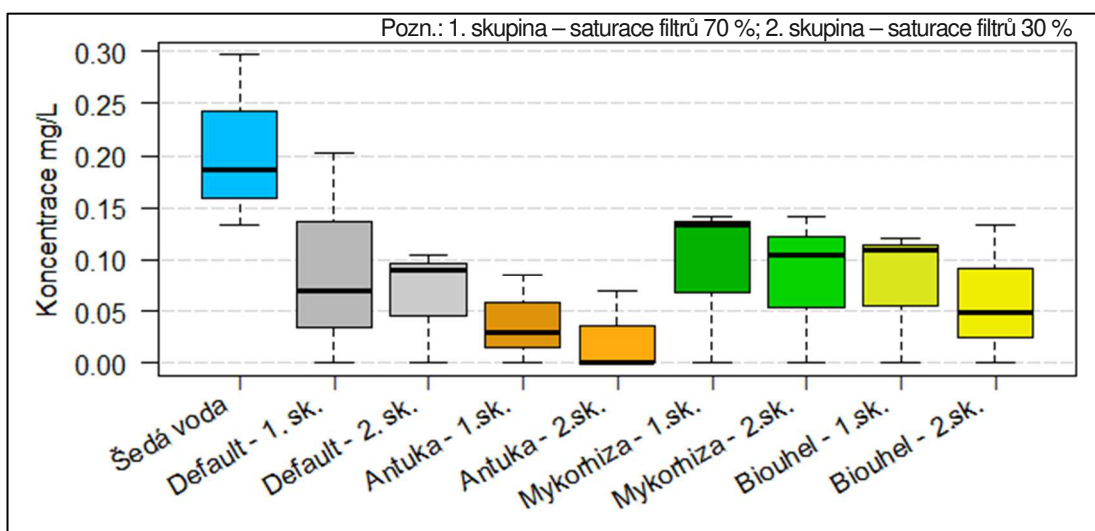
Příloha 79: Průběh koncentrací dusitanů (2. skupina)



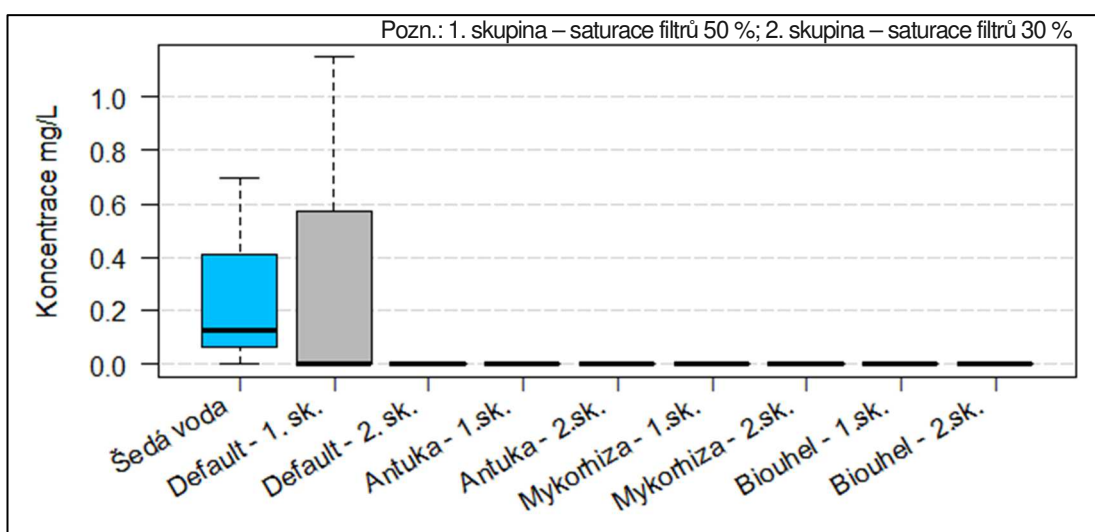
Příloha 80: Přehled koncentrací dusitanů naměřených v průběhu první etapy



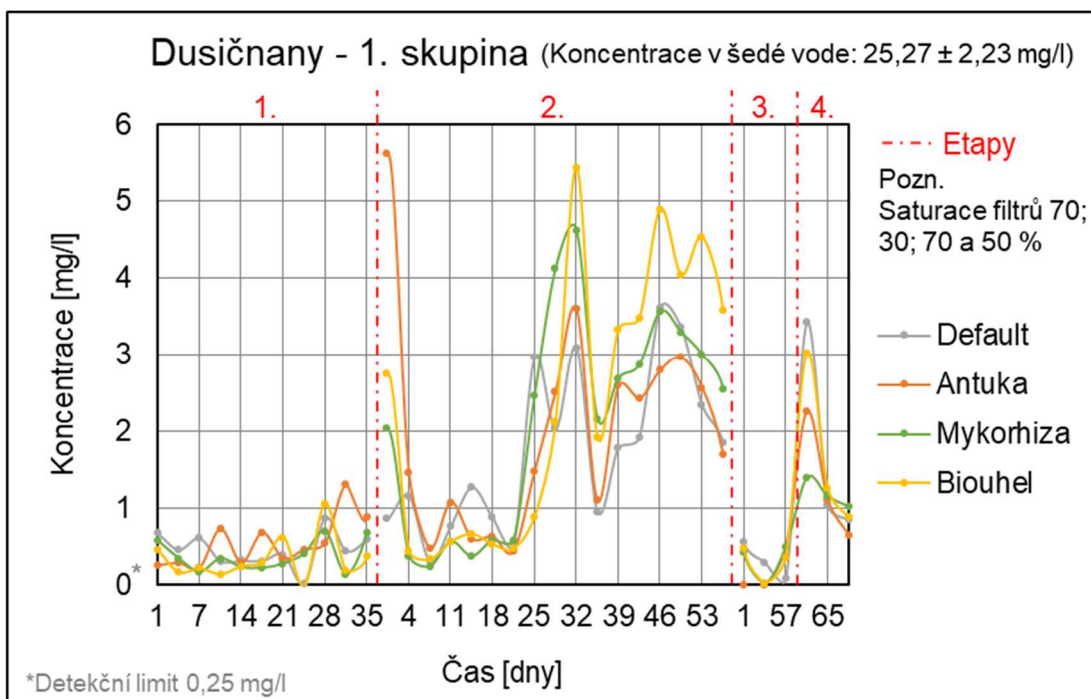
Příloha 81: Přehled koncentrací dusitanů naměřených v průběhu druhé etapy



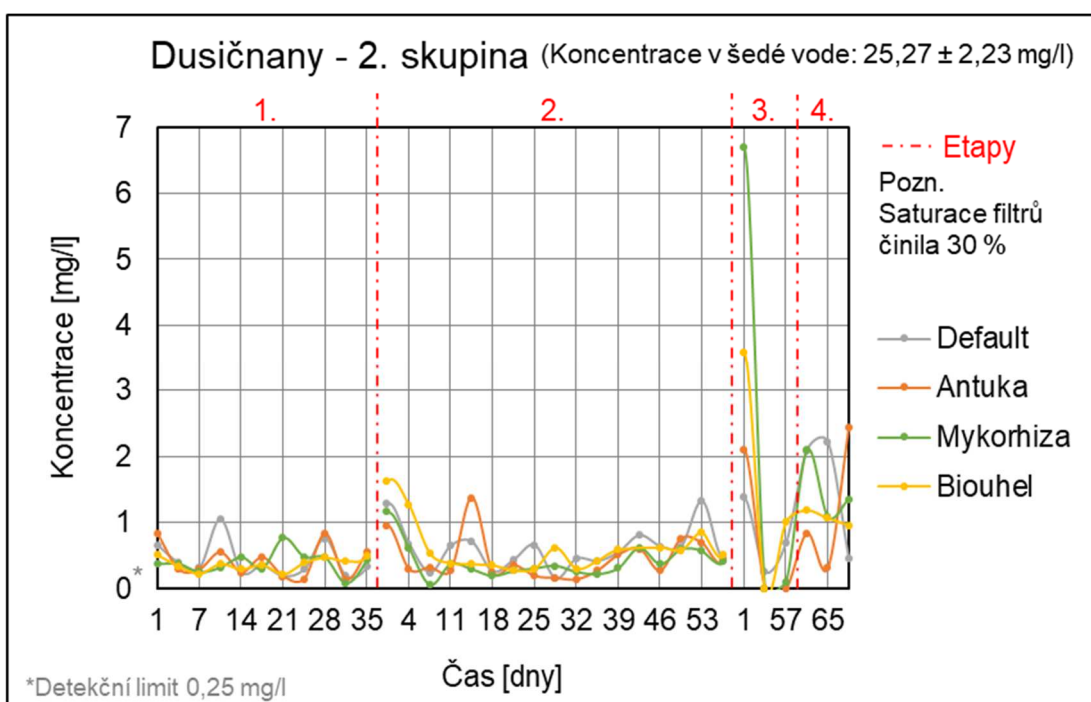
Příloha 82: Přehled koncentrací dusitanů naměřených v průběhu třetí etapy



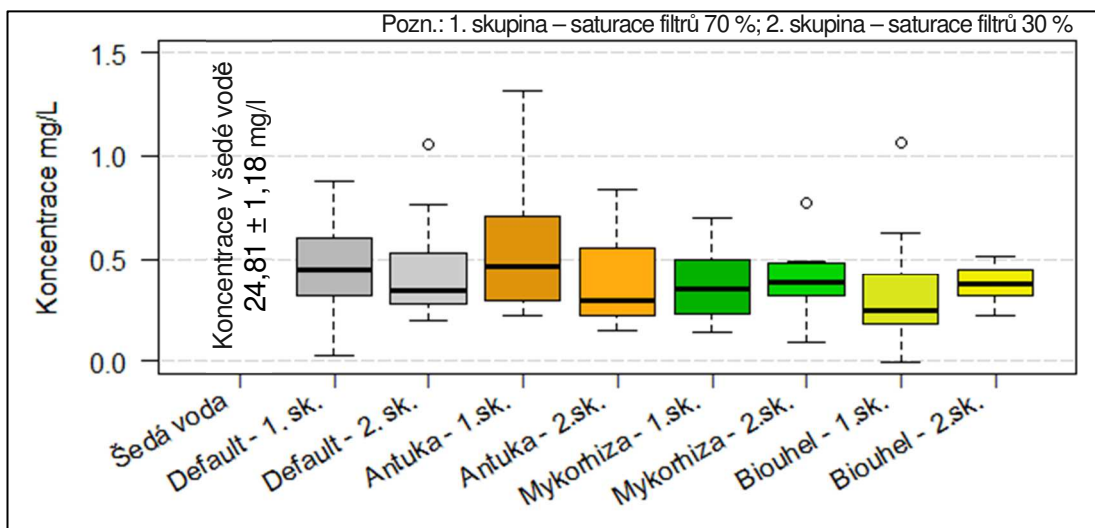
Příloha 83: Přehled koncentrací dusitanů naměřených v průběhu čtvrté etapy



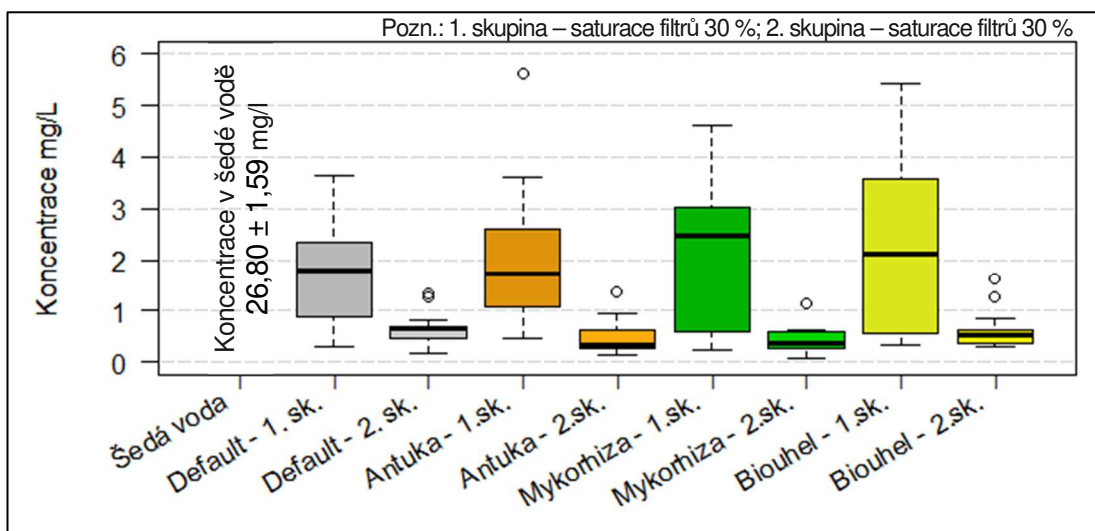
Příloha 84: Průběh koncentrací dusičnanů (1. skupina)



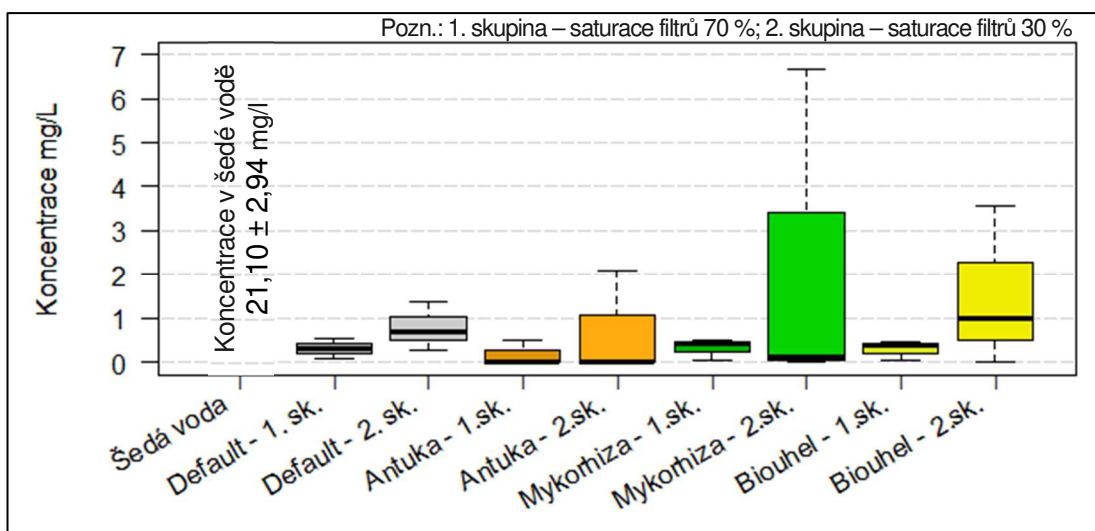
Příloha 85: Průběh koncentrací dusičnanů (2. skupina)



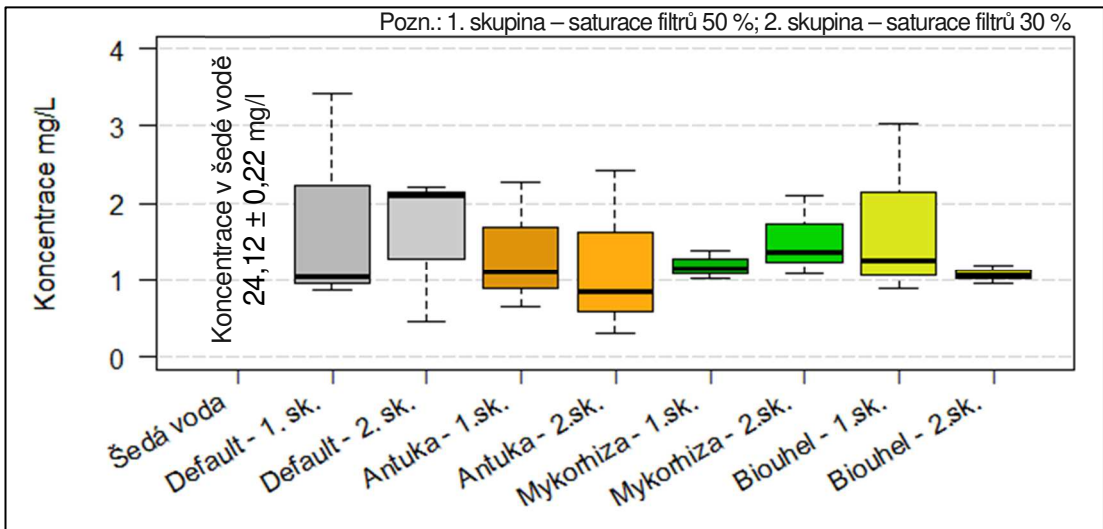
Příloha 86: Přehled koncentrací dusičnanů naměřených v průběhu první etapy



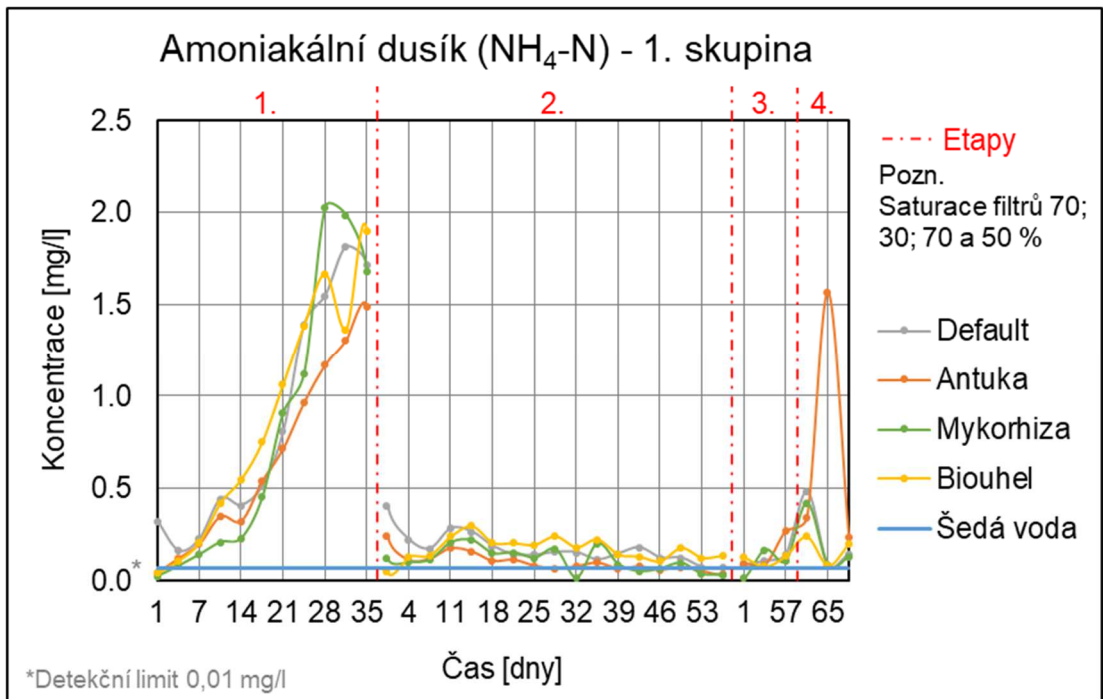
Příloha 87: Přehled koncentrací dusičnanů naměřených v průběhu druhé etapy



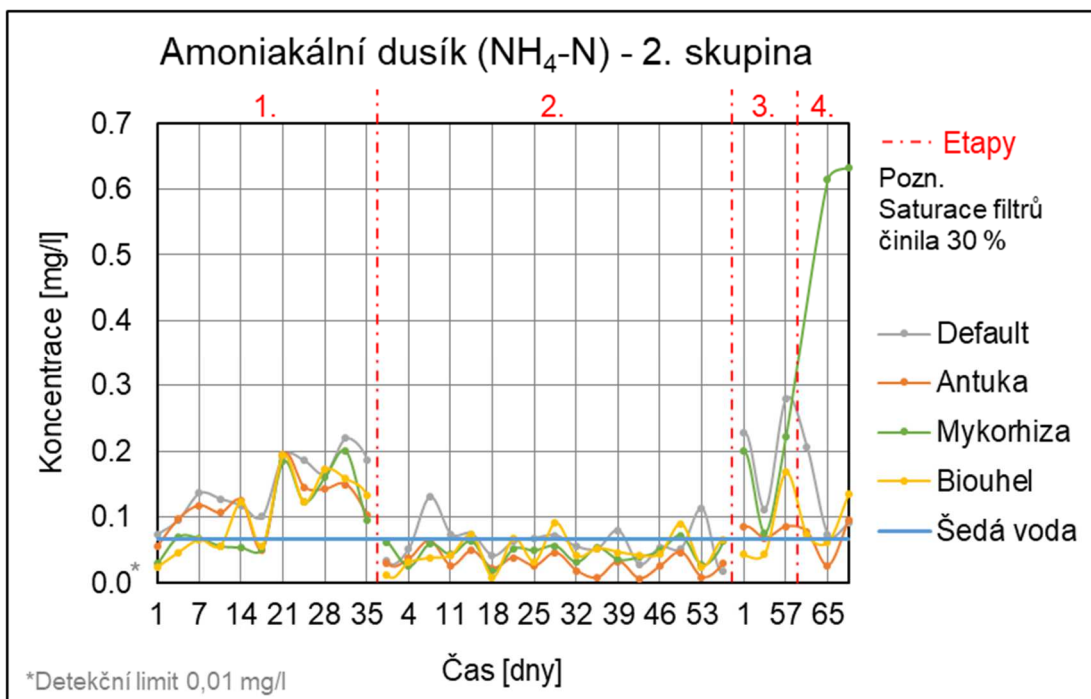
Příloha 88: Přehled koncentrací dusičnanů naměřených v průběhu třetí etapy



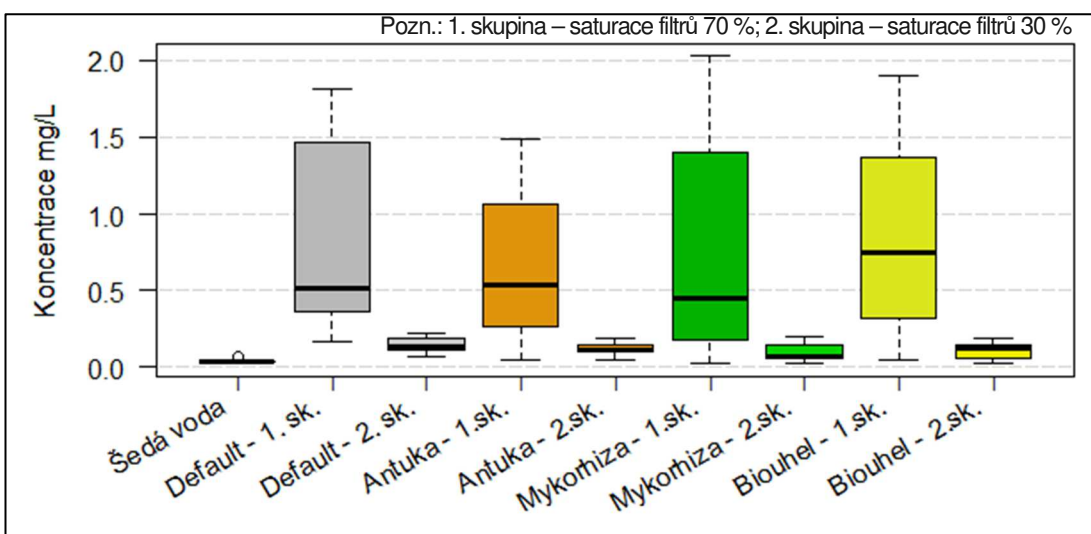
Příloha 89: Přehled koncentrací dusičnanů naměřených v průběhu čtvrté etapy



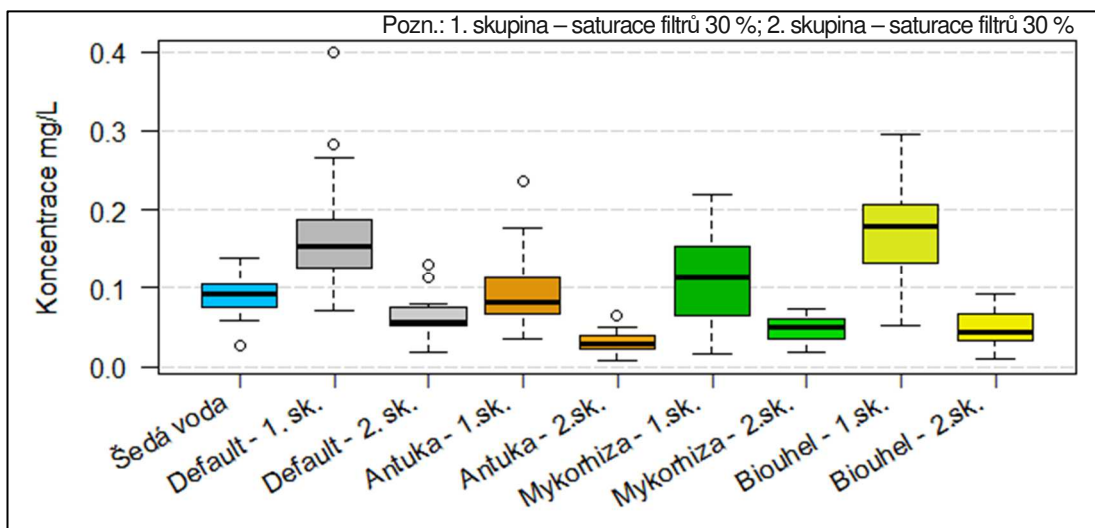
Příloha 90: Průběh koncentrací $\text{NH}_4\text{-N}$ (1. skupina)



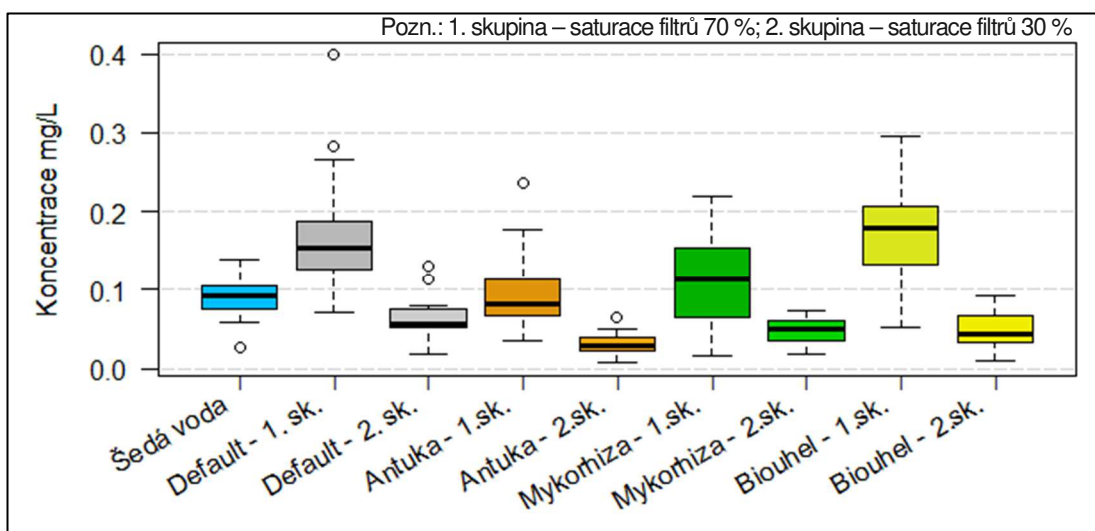
Příloha 91: Průběh koncentrací NH₄-N (2. skupina)



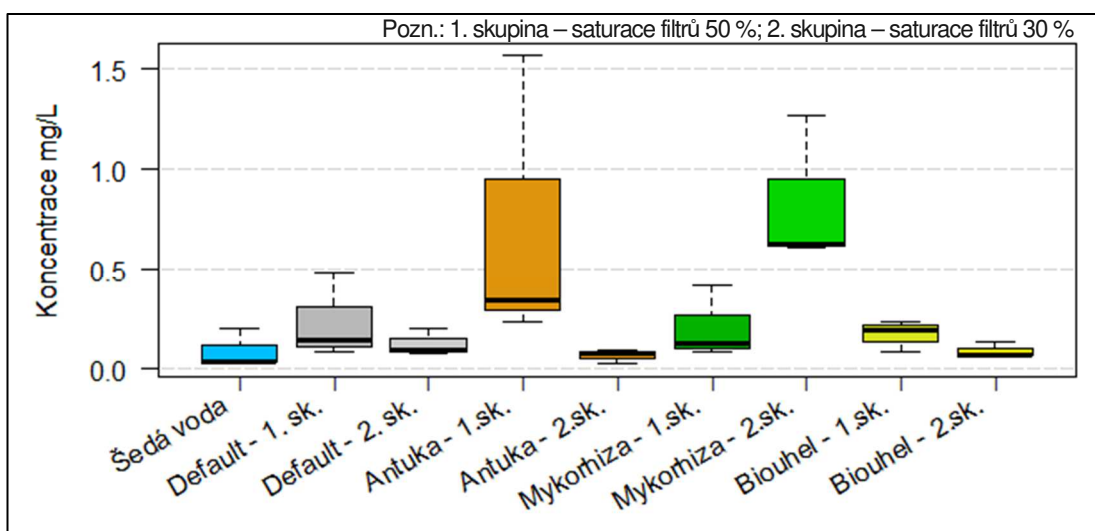
Příloha 92: Přehled koncentrací NH₄-N naměřených v průběhu první etapy



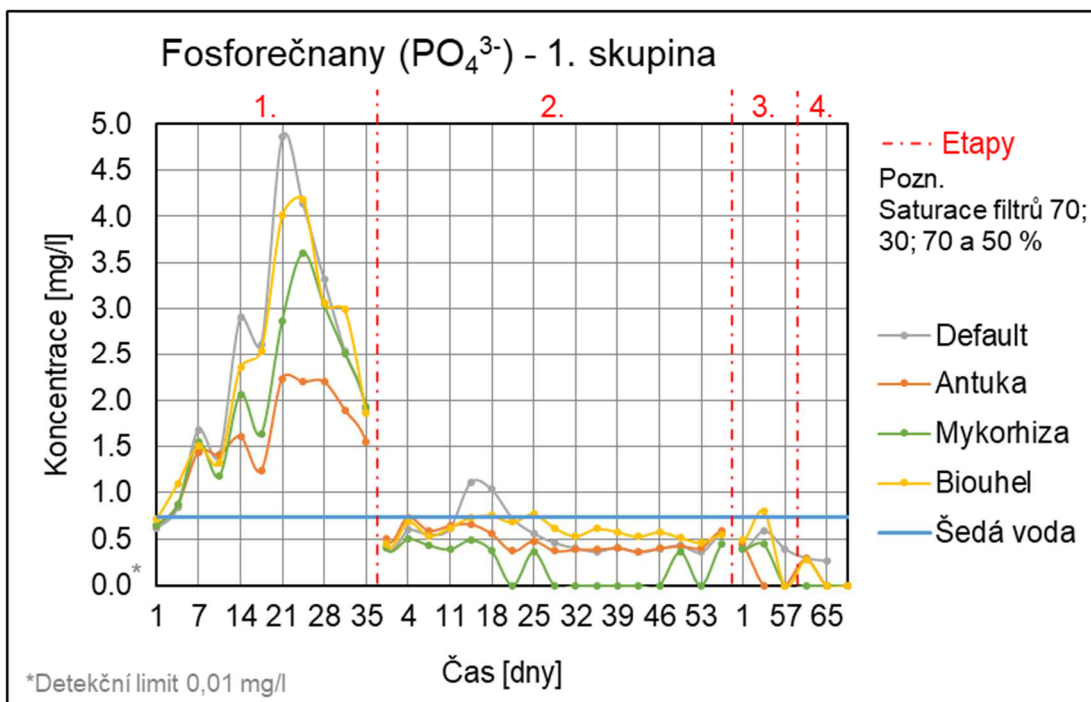
Příloha 93: Přehled koncentrací $\text{NH}_4\text{-N}$ naměřených v průběhu druhé etapy



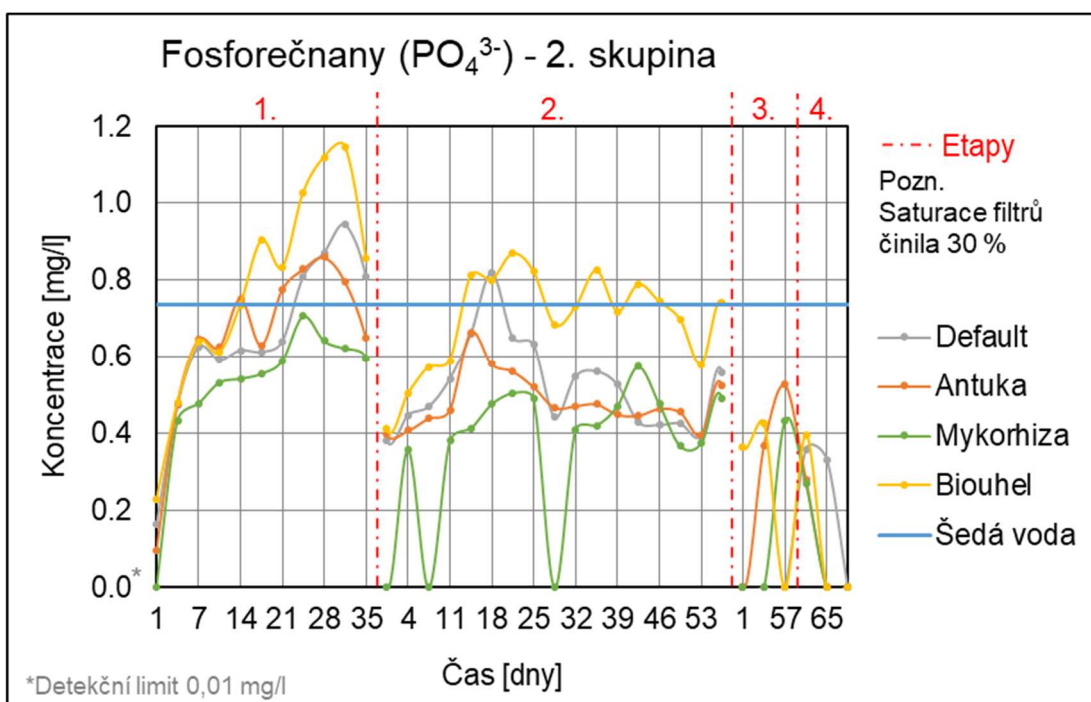
Příloha 94: Přehled koncentrací $\text{NH}_4\text{-N}$ naměřených v průběhu třetí etapy



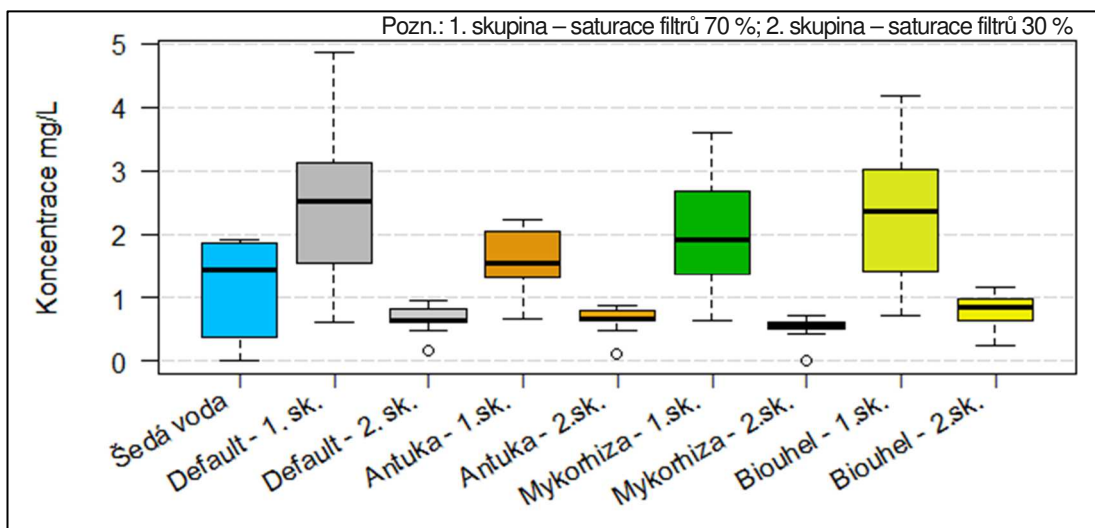
Příloha 95: Přehled koncentrací $\text{NH}_4\text{-N}$ naměřených v průběhu čtvrté etapy



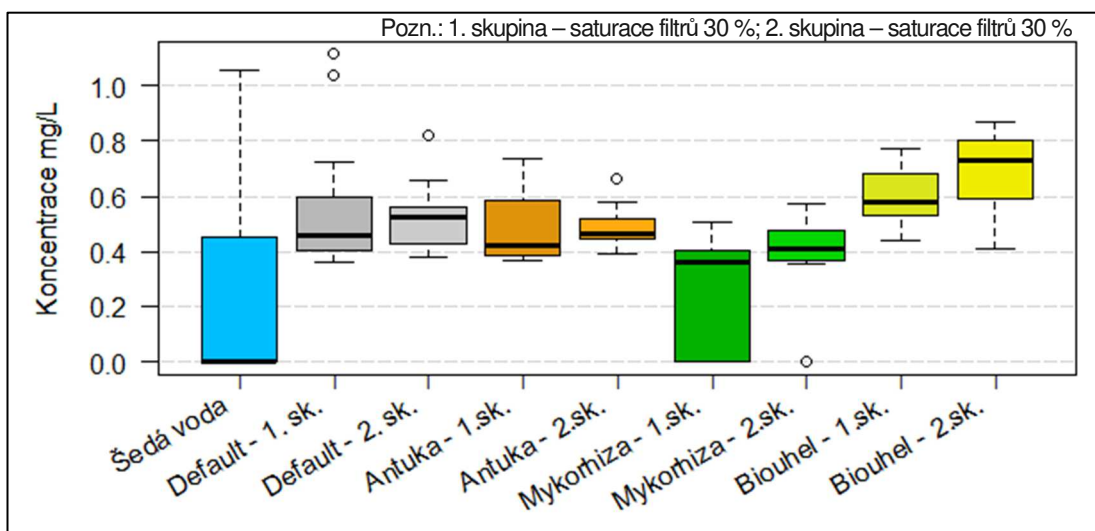
Příloha 96: Průběh koncentrací fosforečnanů (1. skupina)



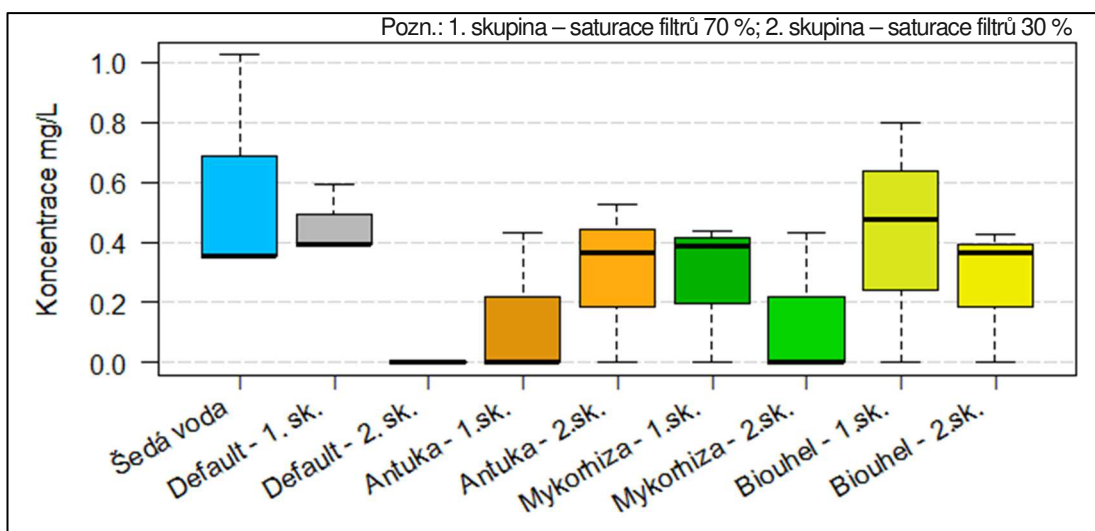
Příloha 97: Průběh koncentrací fosforečnanů (2. skupina)



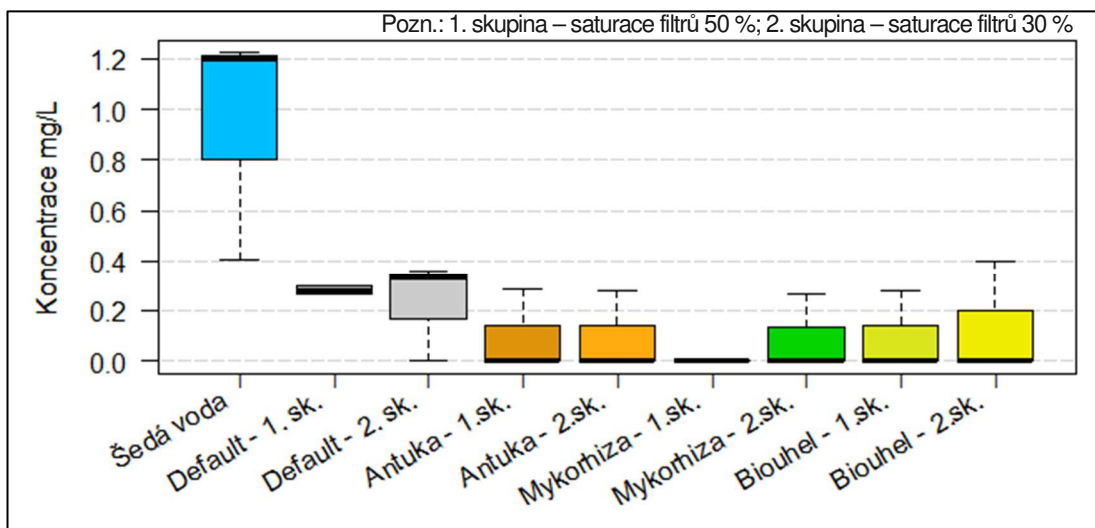
Příloha 98: Přehled koncentrací fosforečnanů naměřených v průběhu první etapy



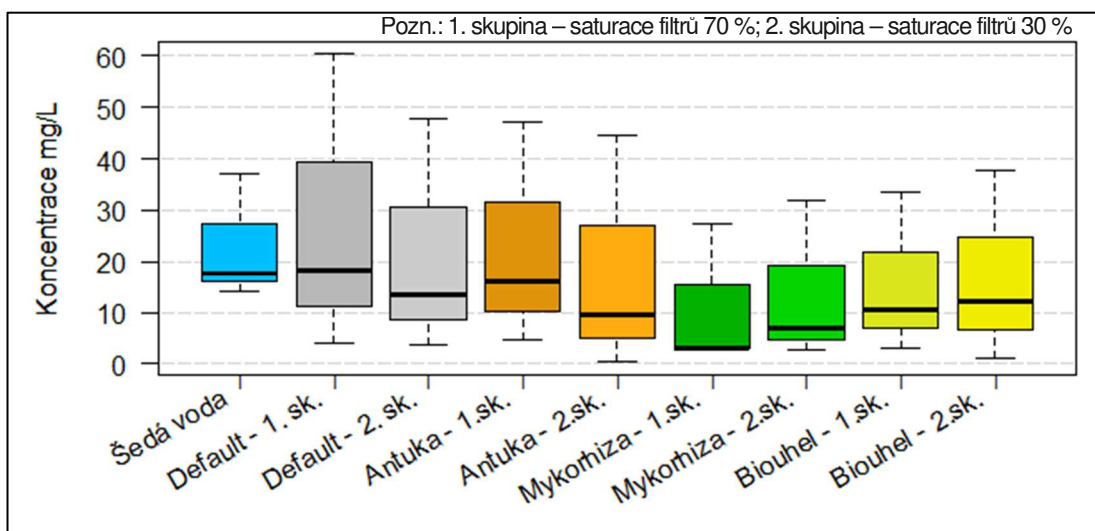
Příloha 99: Přehled koncentrací fosforečnanů naměřených v průběhu druhé etapy



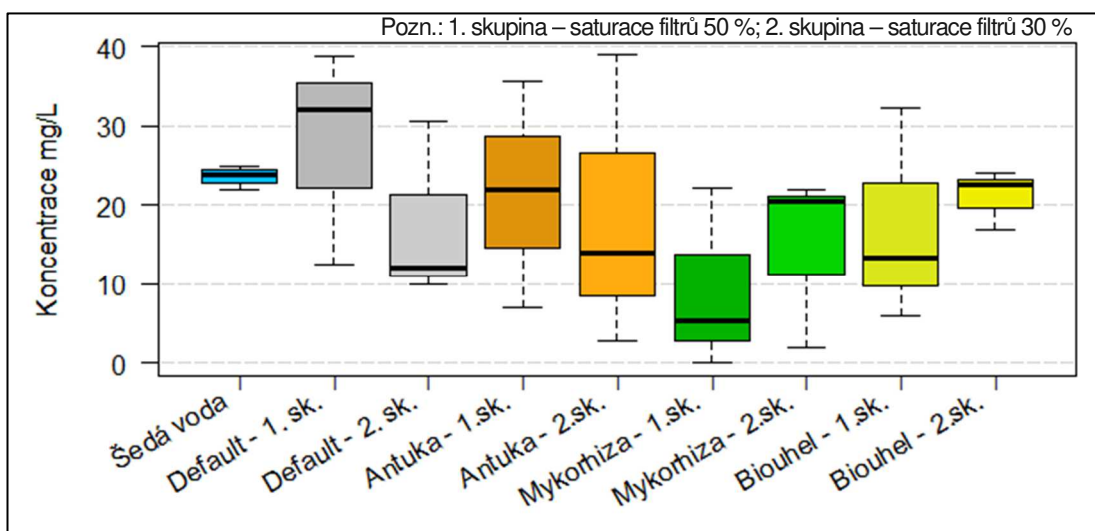
Příloha 100: Přehled koncentrací fosforečnanů naměřených v průběhu třetí etapy



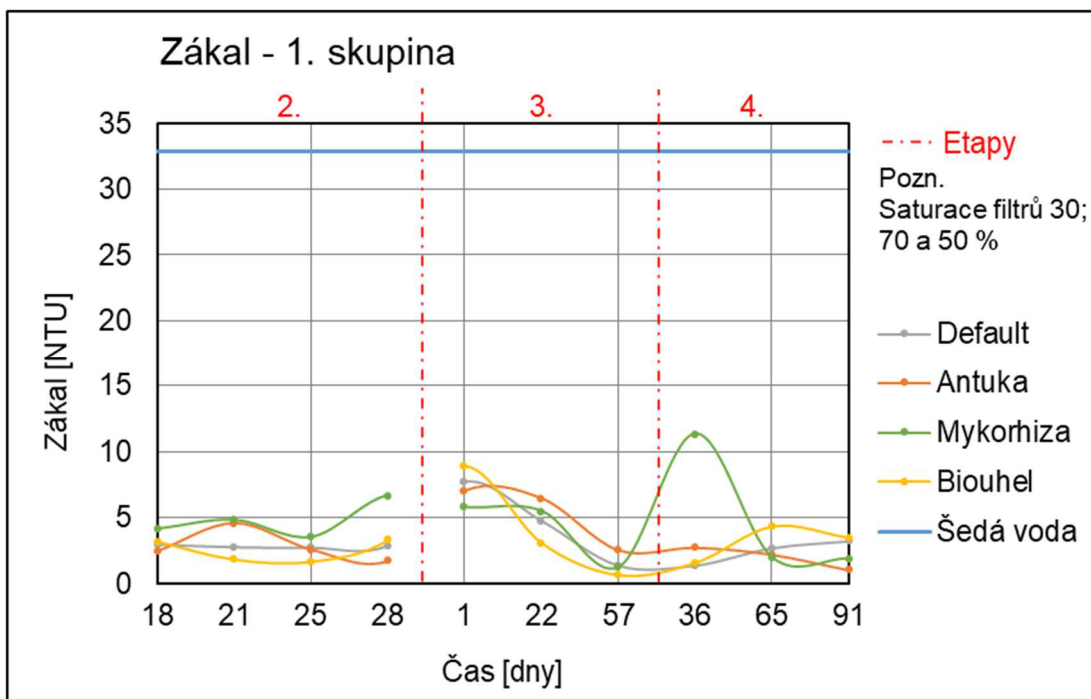
Příloha 101: Přehled koncentrací fosforečnanů naměřených v průběhu čtvrté etapy



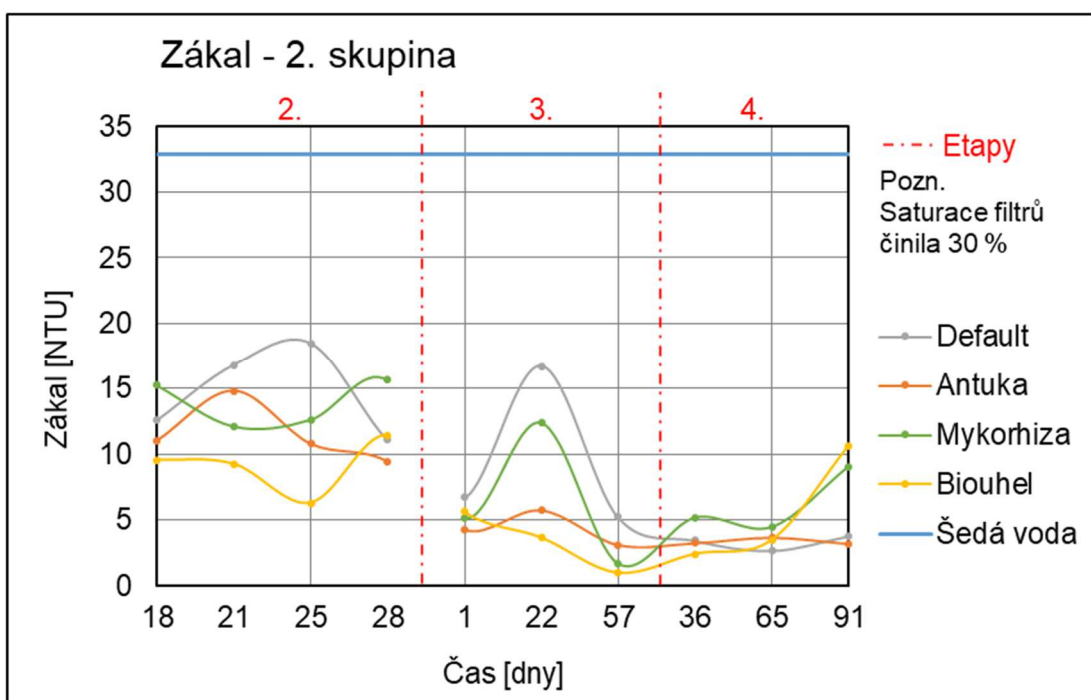
Příloha 102: Přehled koncentrací TSS naměřených v průběhu třetí etapy



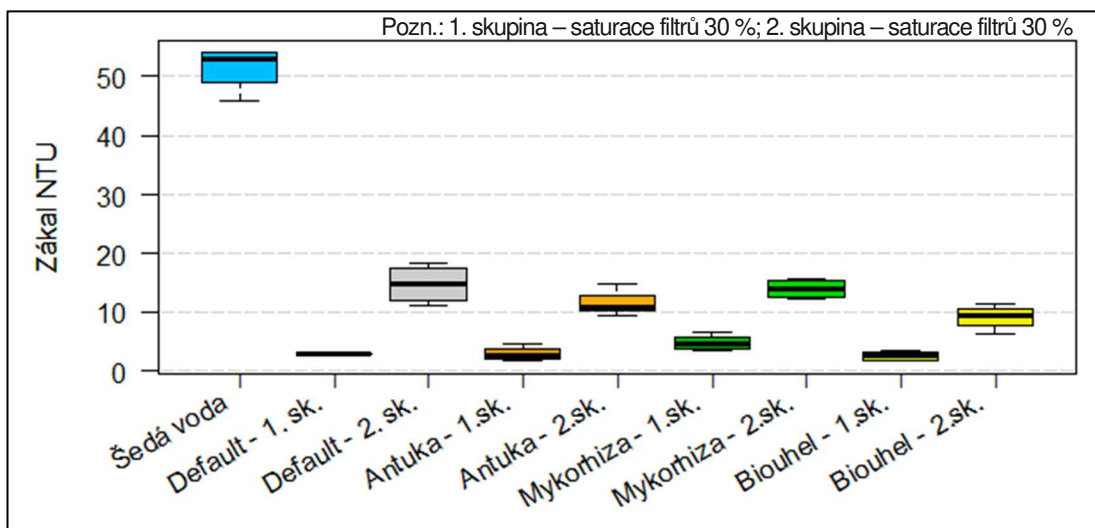
Příloha 103: Přehled koncentrací TSS naměřených v průběhu čtvrté etapy



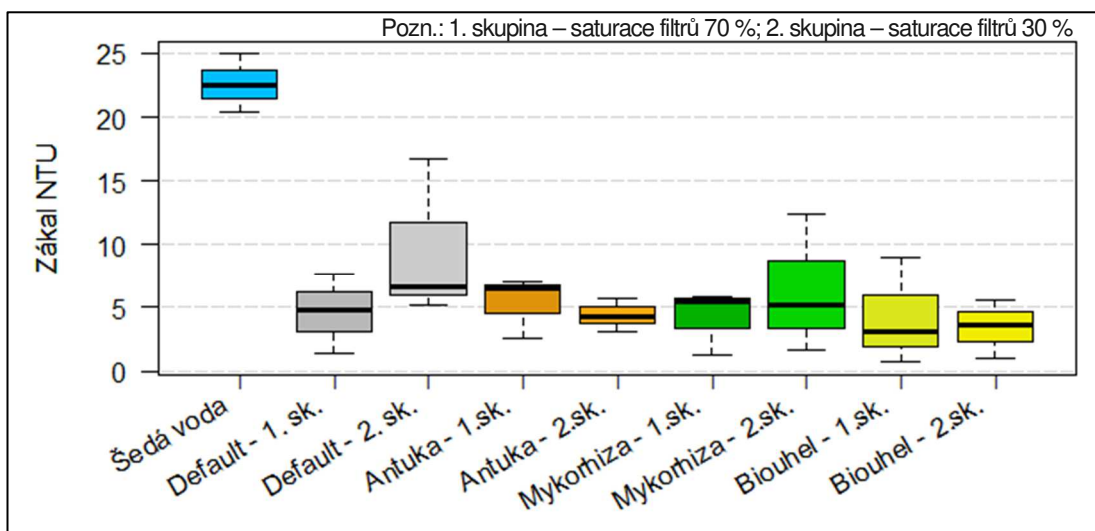
Příloha 104: Průběh hodnot zákalu (1. skupina)



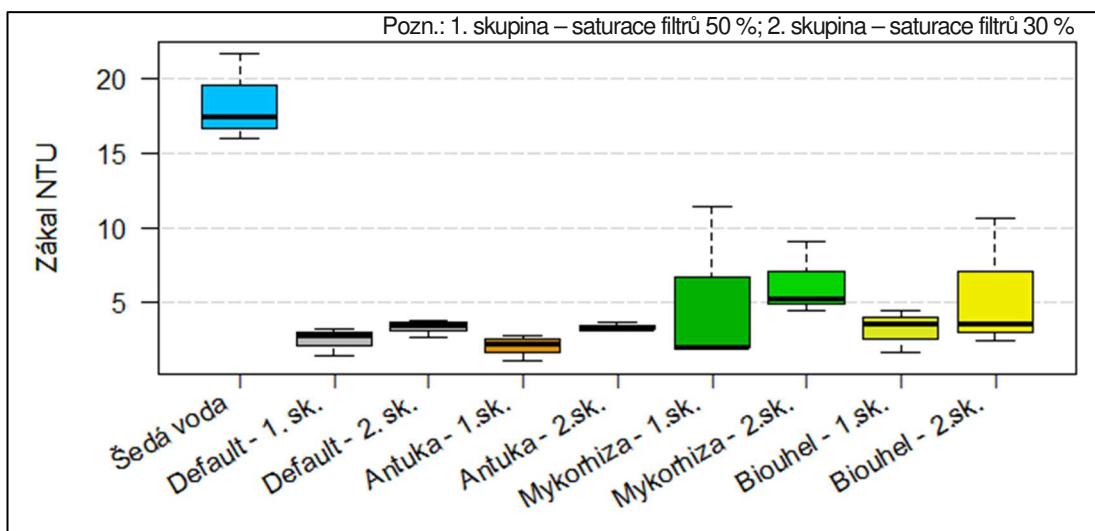
Příloha 105: Průběh hodnot zákalu (2. skupina)



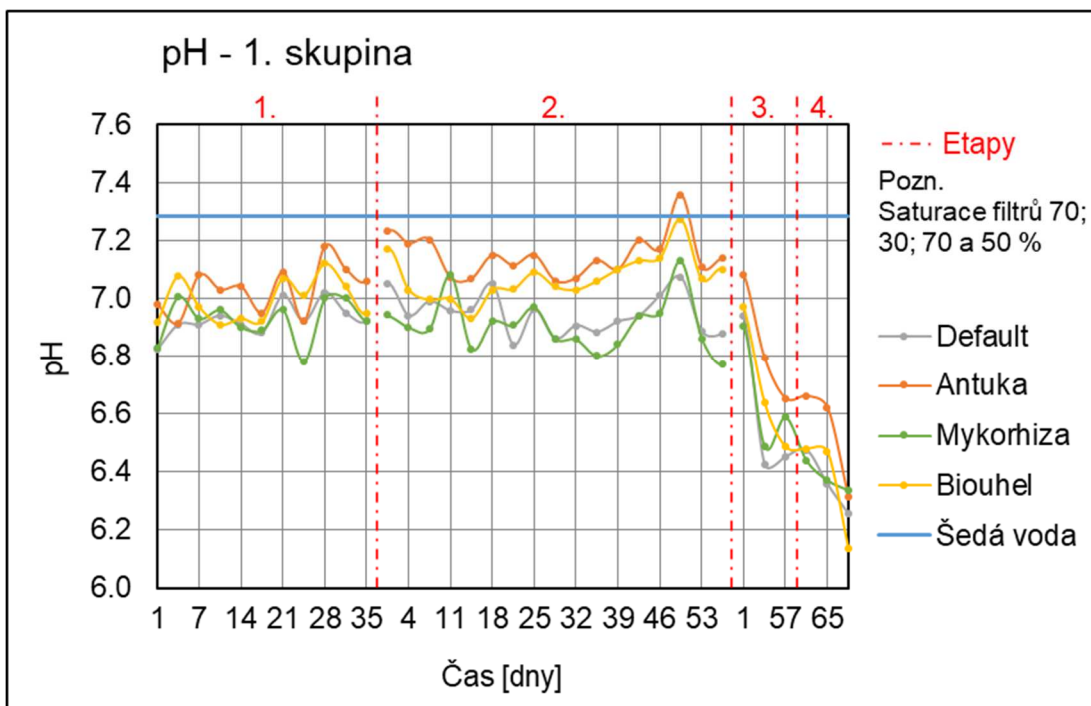
Příloha 106: Přehled hodnot zákalu naměřených v průběhu druhé etapy



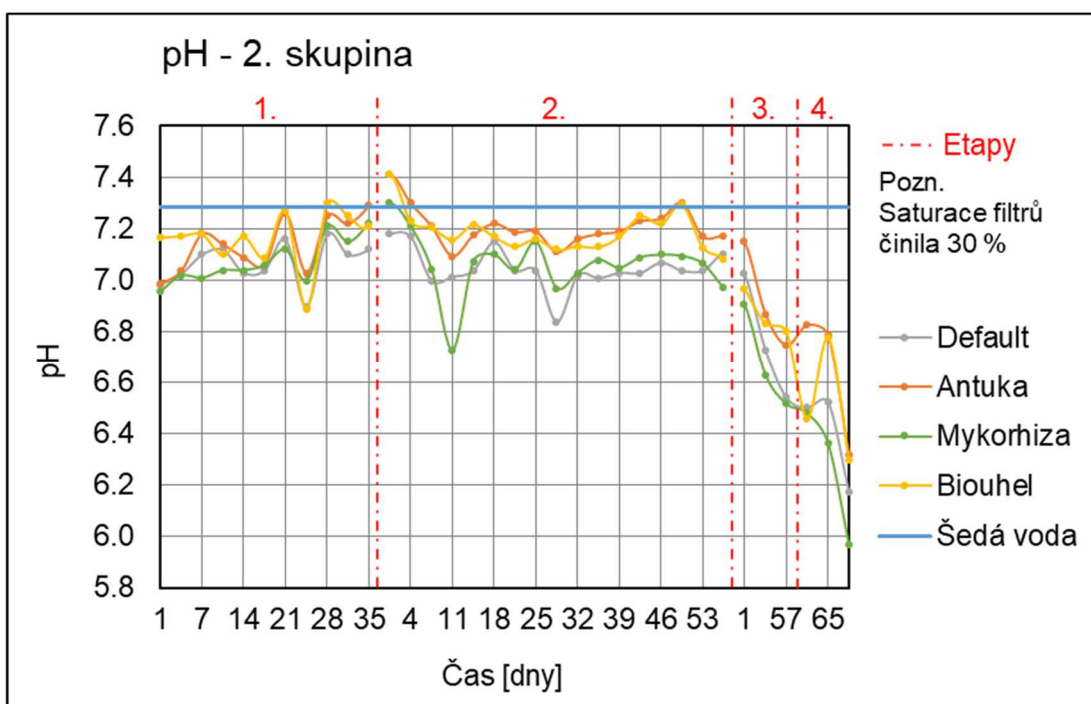
Příloha 107: Přehled hodnot zákalu naměřených v průběhu třetí etapy



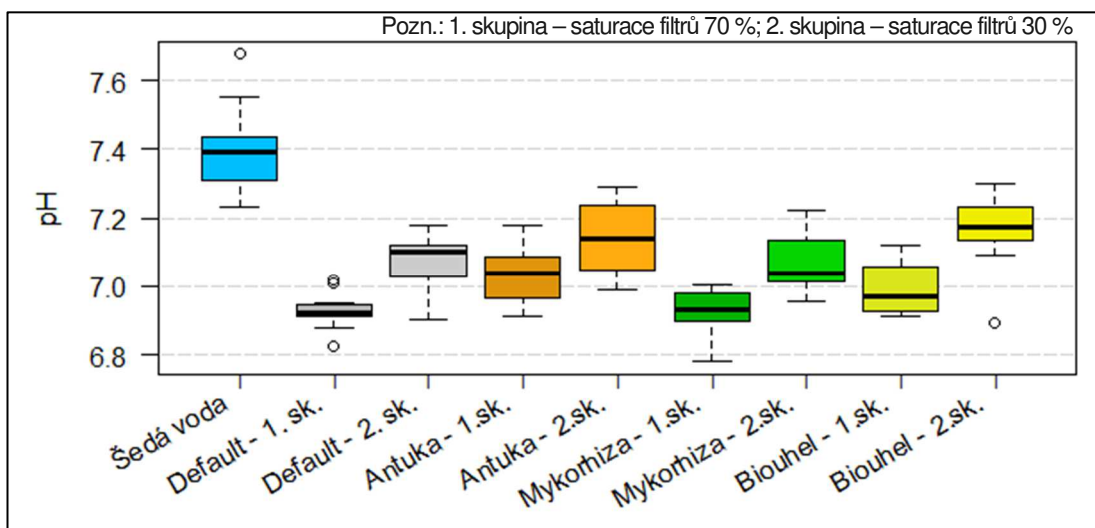
Příloha 108: Přehled hodnot zákalu naměřených v průběhu čtvrté etapy



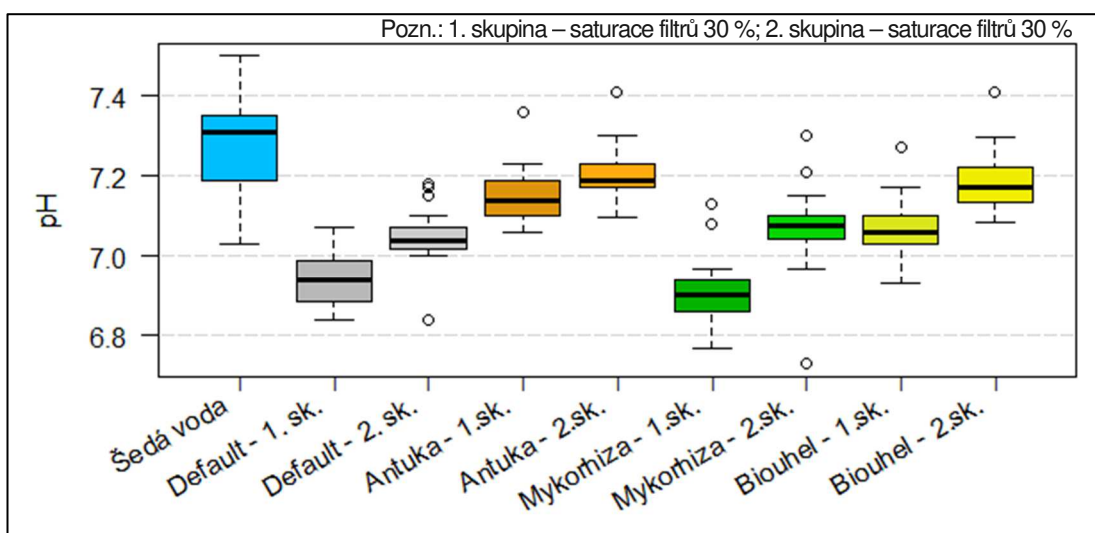
Příloha 109: Průběh hodnot pH (1. skupina)



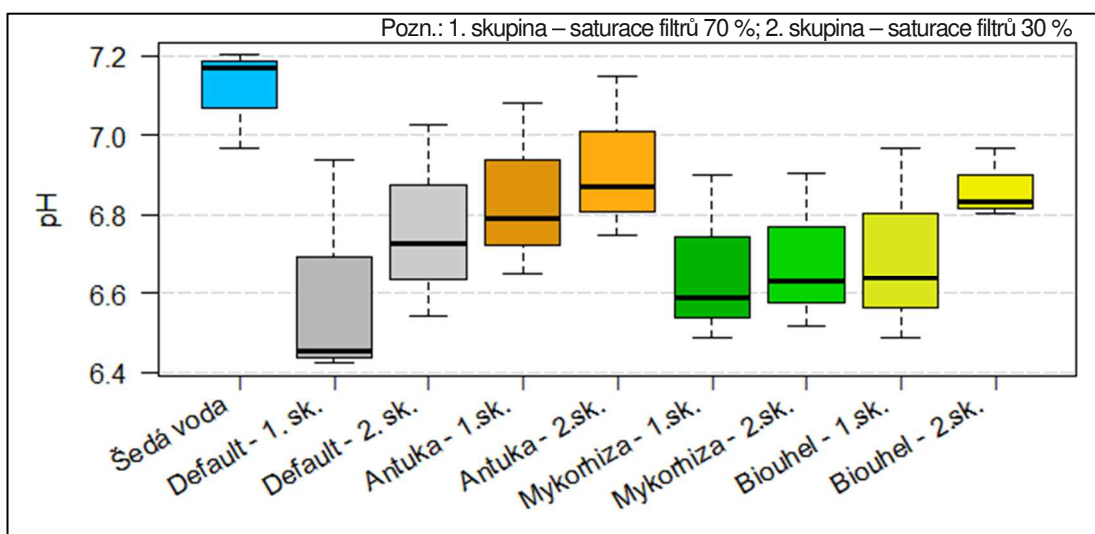
Příloha 110: Průběh hodnot pH (2. skupina)



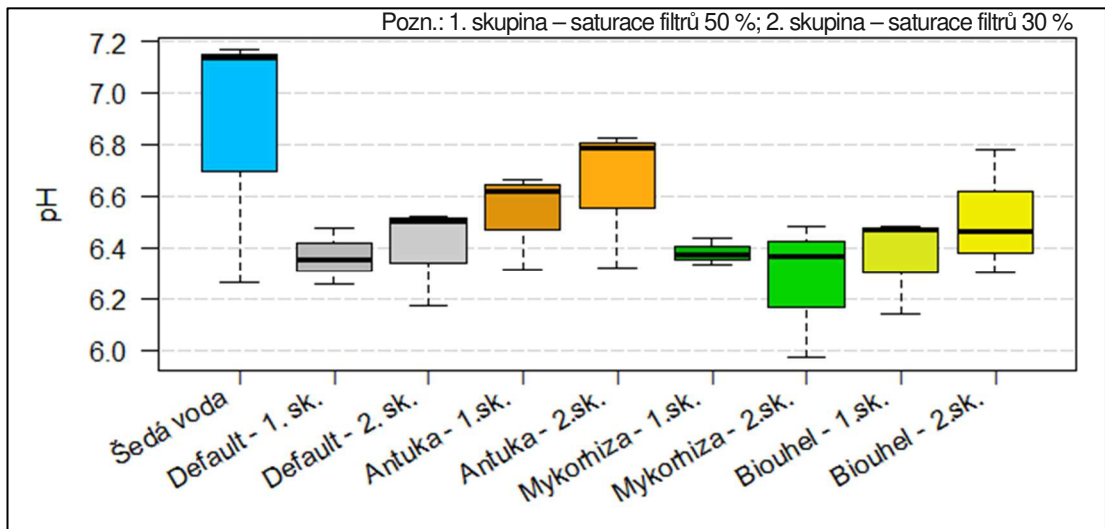
Příloha 111: Přehled pH hodnot naměřených v průběhu první etapy



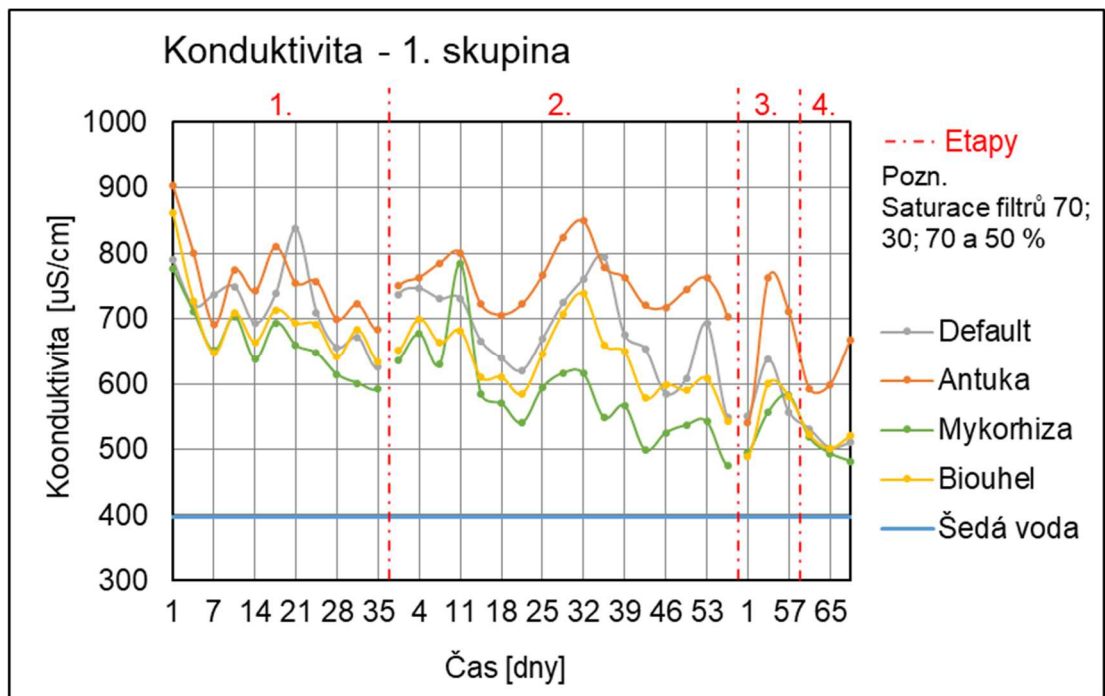
Příloha 112: Přehled pH hodnot naměřených v průběhu druhé etapy



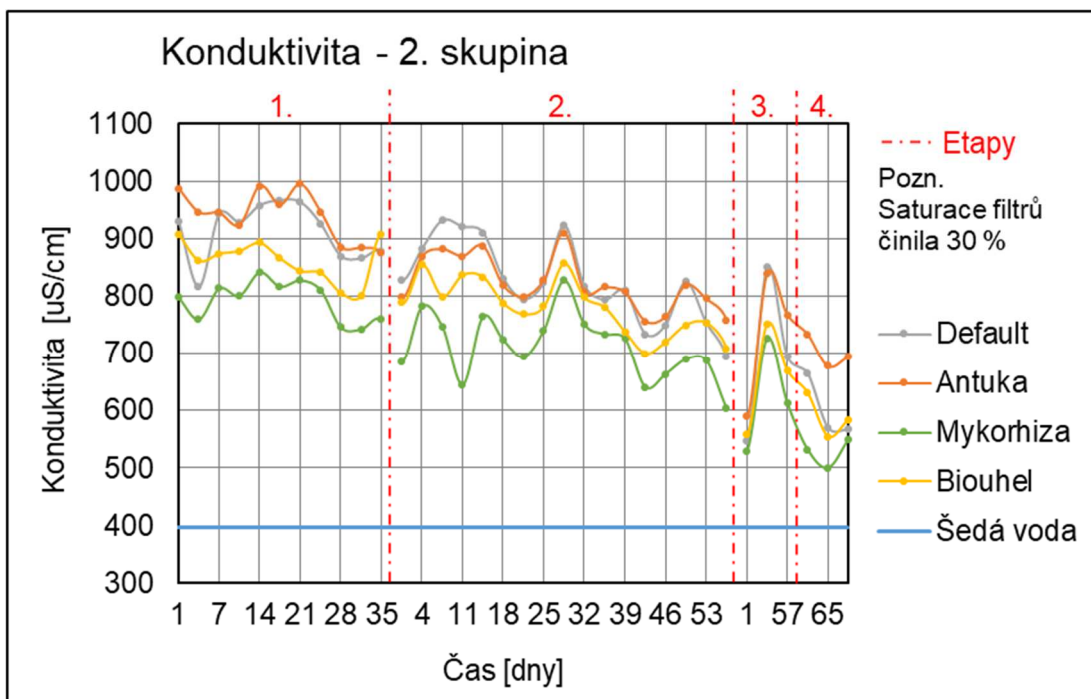
Příloha 113: Přehled pH hodnot naměřených v průběhu třetí etapy



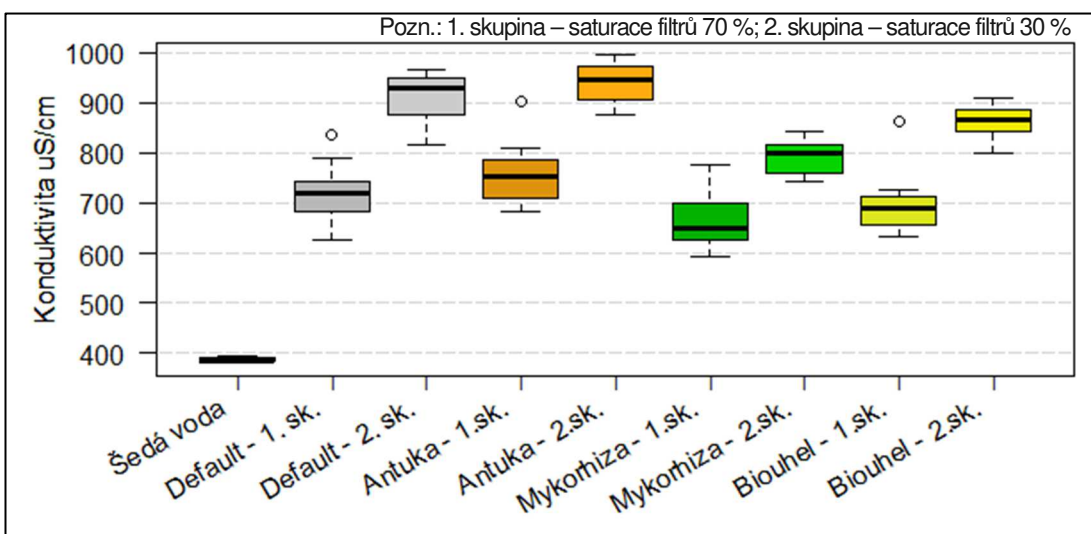
Příloha 114: Přehled pH hodnot naměřených v průběhu čtvrté etapy



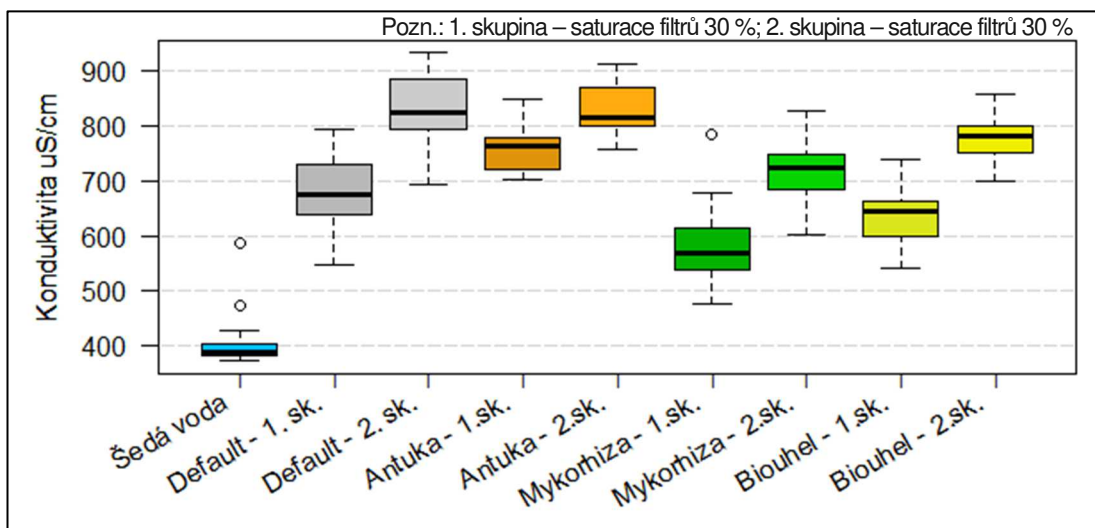
Příloha 115: Průběh hodnot konduktivity (1. skupina)



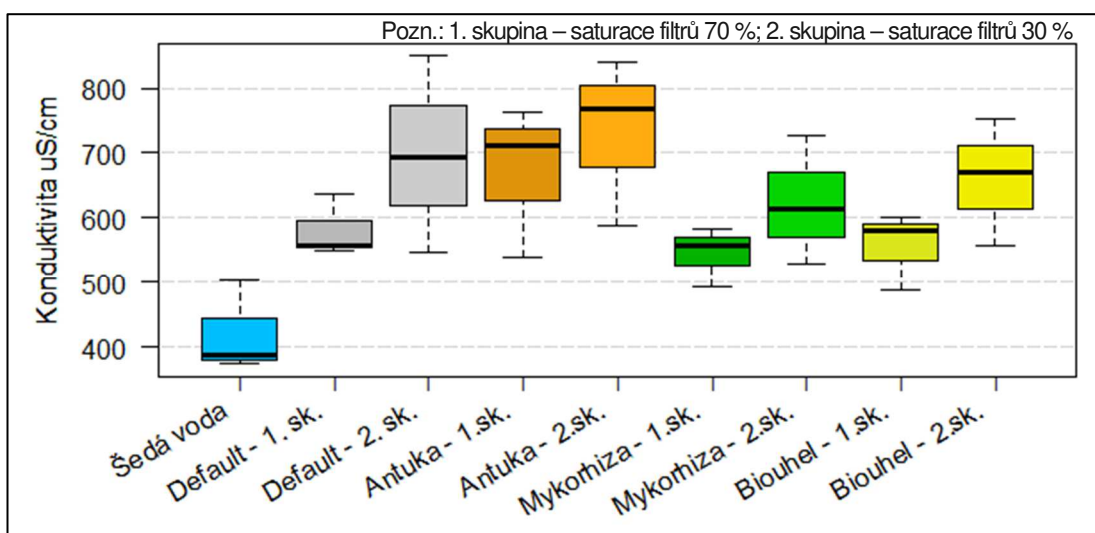
Příloha 116: Průběh hodnot konduktivity (2. skupina)



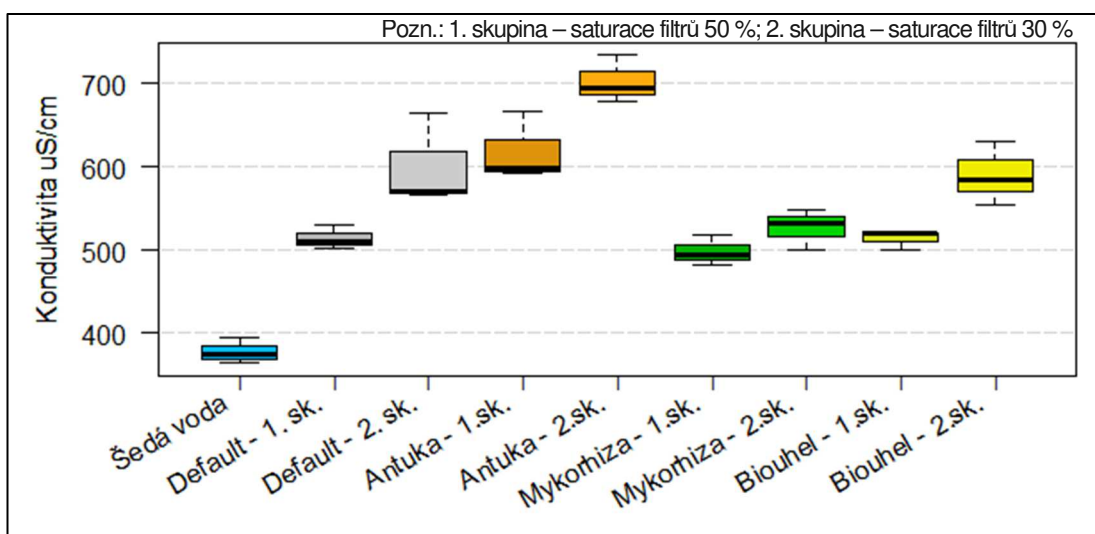
Příloha 117: Přehled hodnot konduktivity naměřených v průběhu první etapy



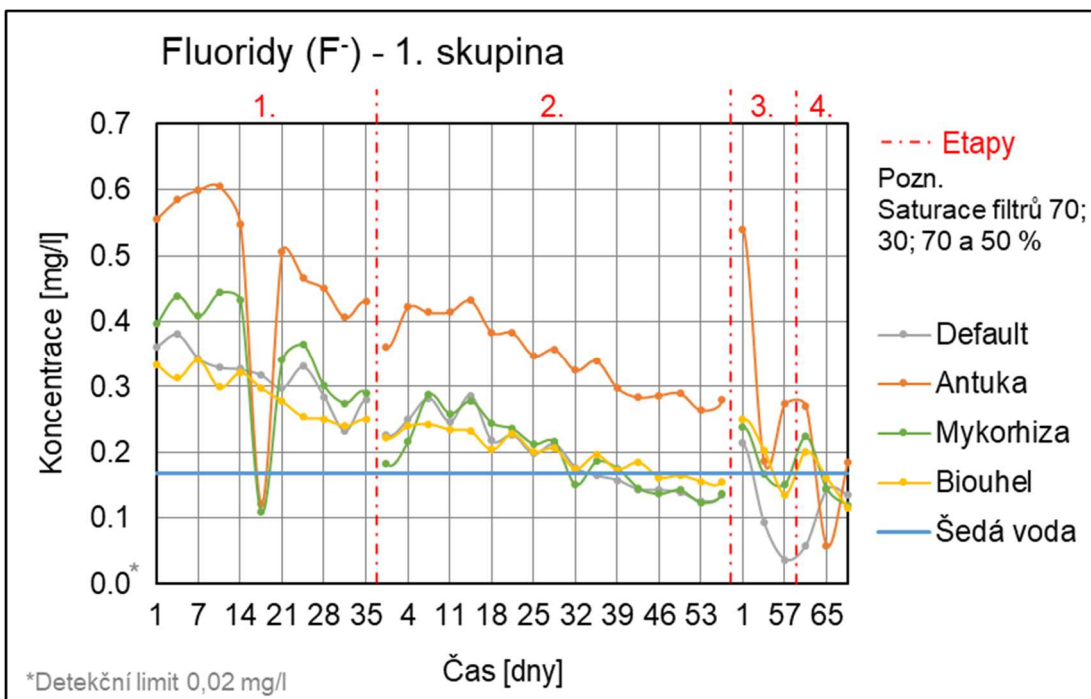
Příloha 118: Přehled hodnot konduktivity naměřených v průběhu druhé etapy



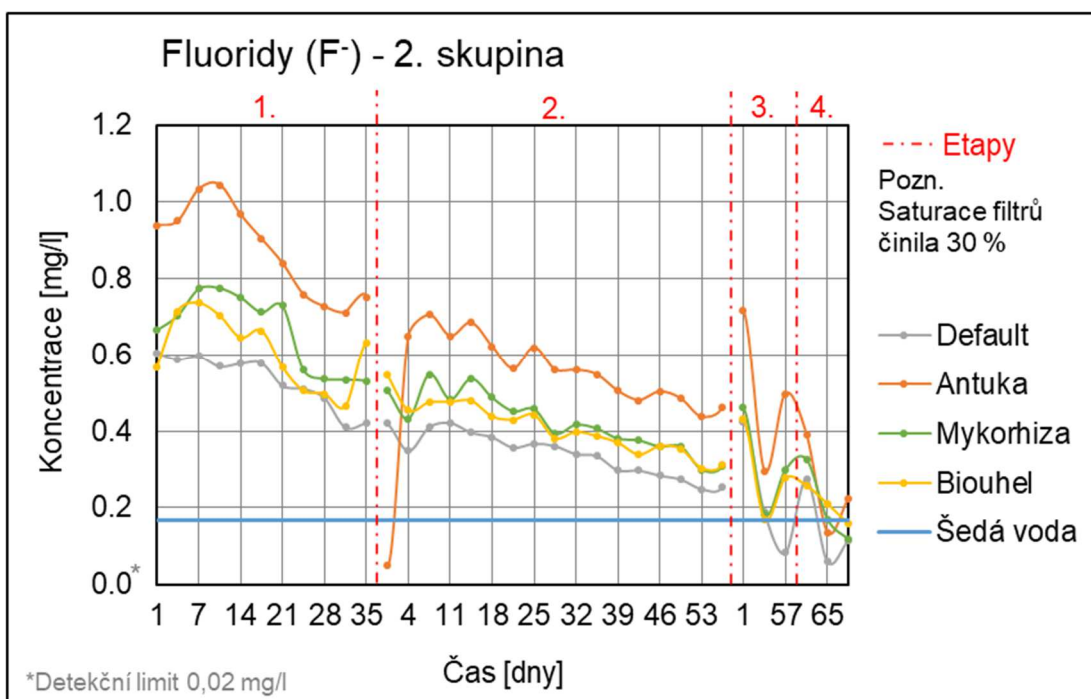
Příloha 119: Přehled hodnot konduktivity naměřených v průběhu třetí etapy



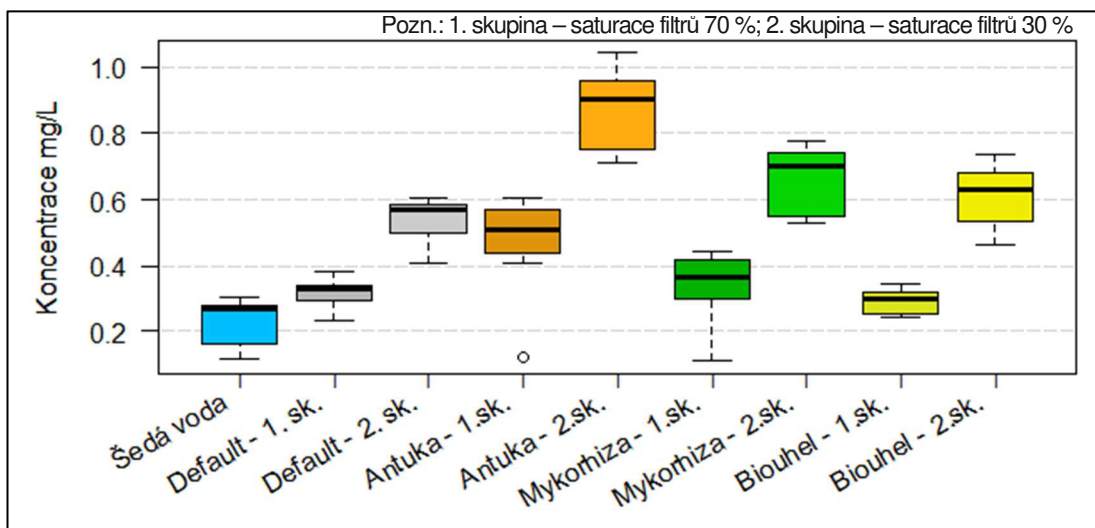
Příloha 120: Přehled hodnot konduktivity naměřených v průběhu čtvrté etapy



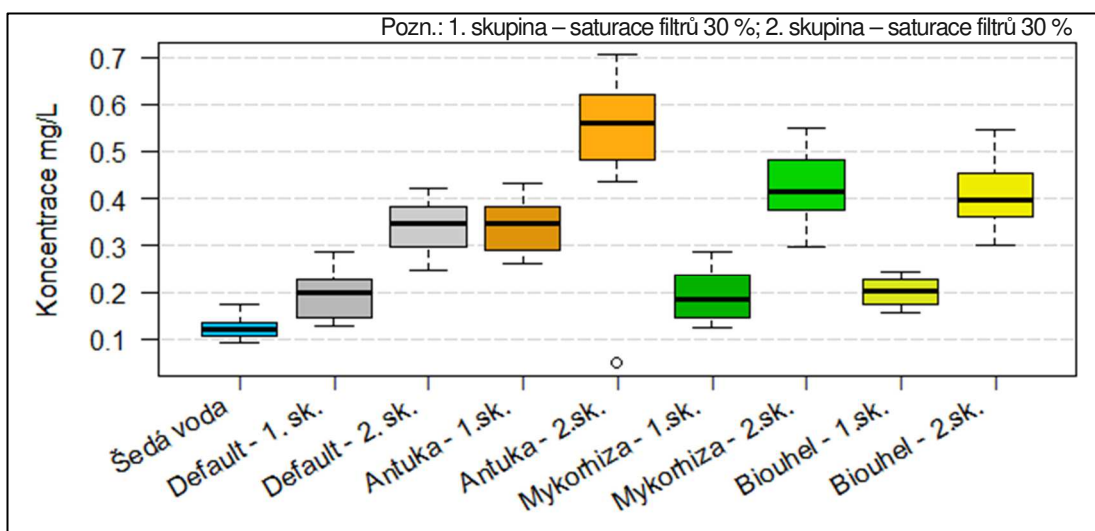
Příloha 121: Průběh koncentrací fluoridů (1. skupina)



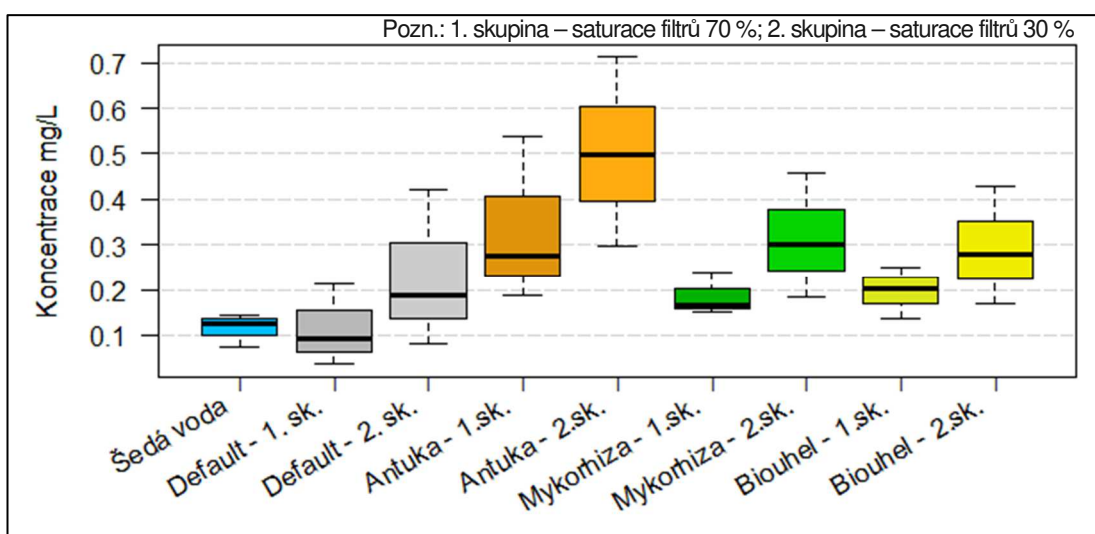
Příloha 122: Průběh koncentrací fluoridů (2. skupina)



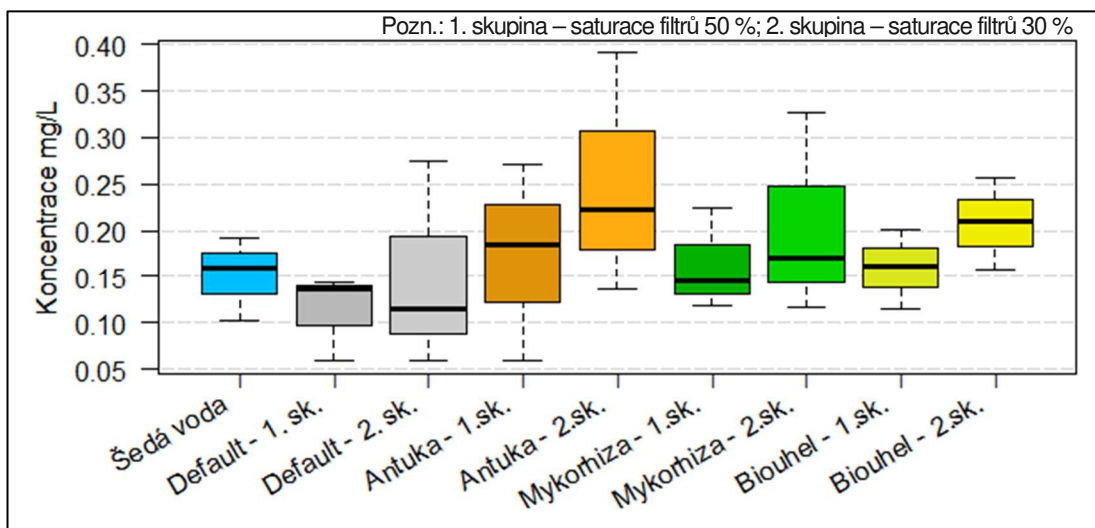
Příloha 123: Přehled koncentrací fluoridů naměřených v průběhu první etapy



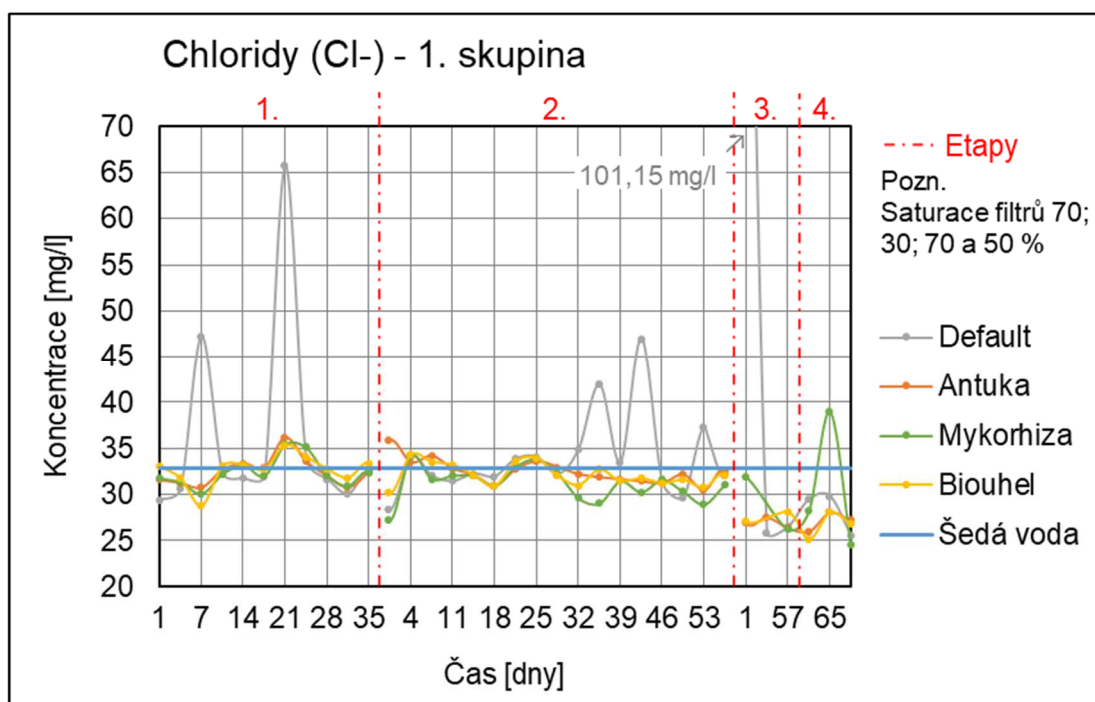
Příloha 124: Přehled koncentrací fluoridů naměřených v průběhu druhé etapy



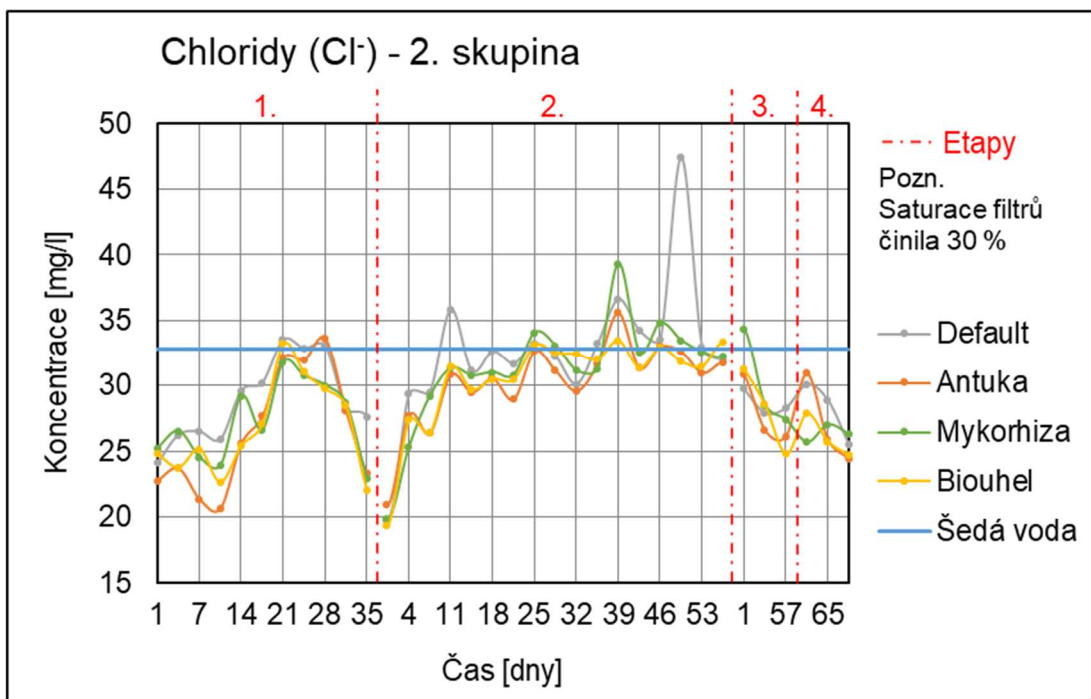
Příloha 125: Přehled koncentrací fluoridů naměřených v průběhu třetí etapy



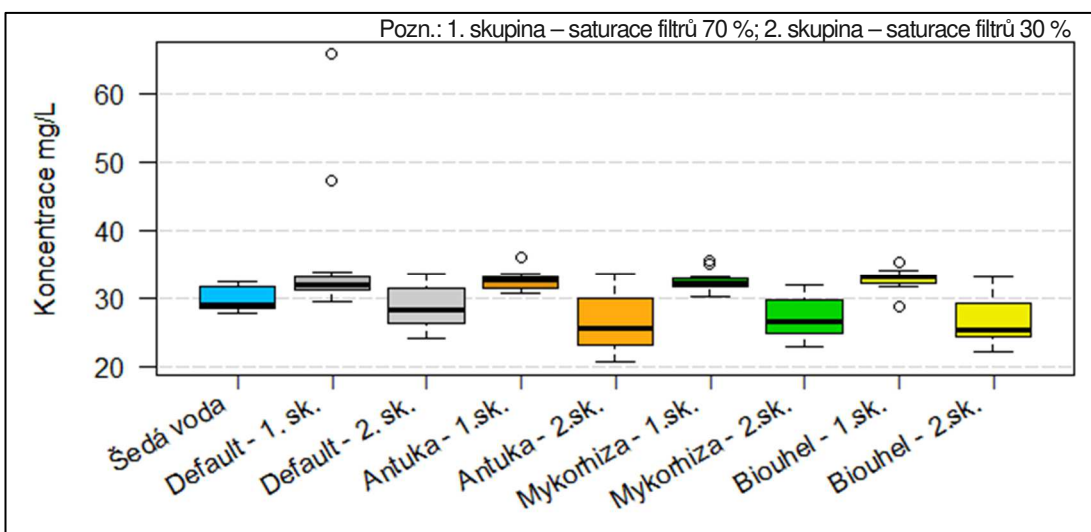
Příloha 126: Přehled koncentrací fluoridů naměřených v průběhu čtvrté etapy



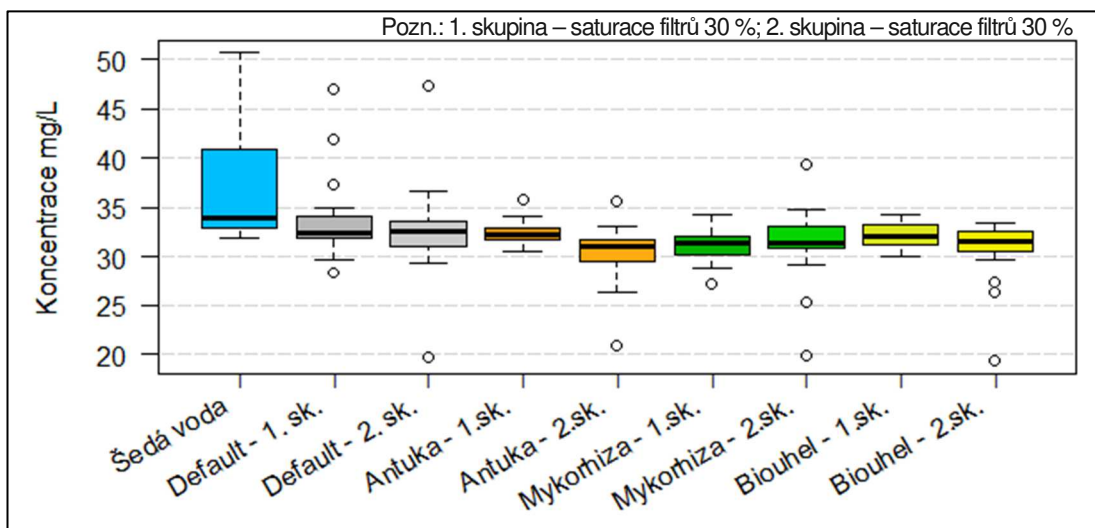
Příloha 127: Průběh koncentrací chloridů (1. skupina)



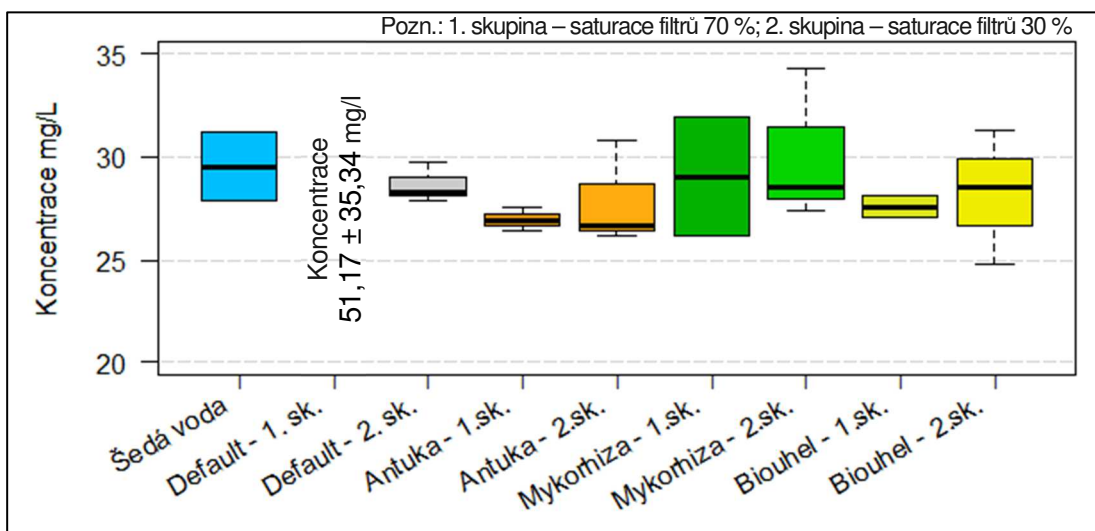
Příloha 128: Průběh koncentrací chloridů (2. skupina)



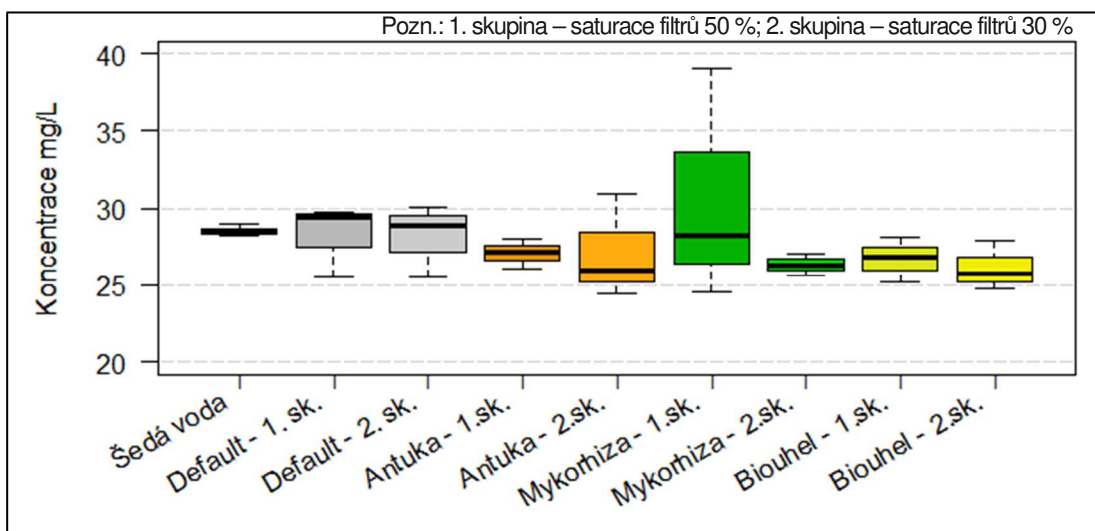
Příloha 129: Přehled koncentrací chloridů naměřených v průběhu první etapy



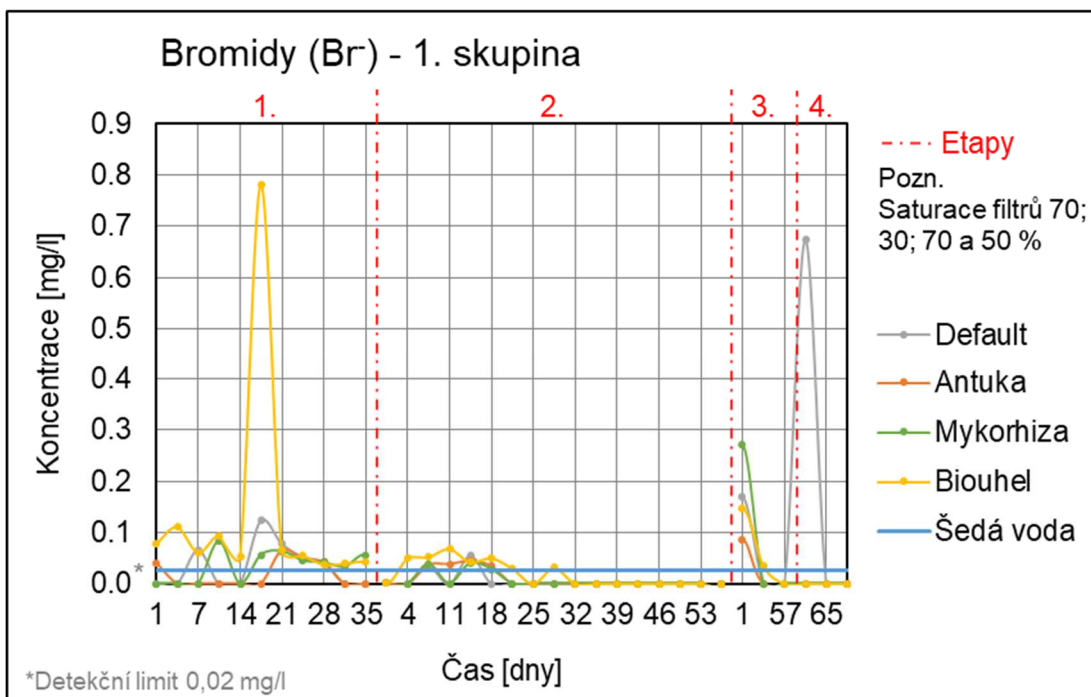
Příloha 130: Přehled koncentrací chloridů naměřených v průběhu druhé etapy



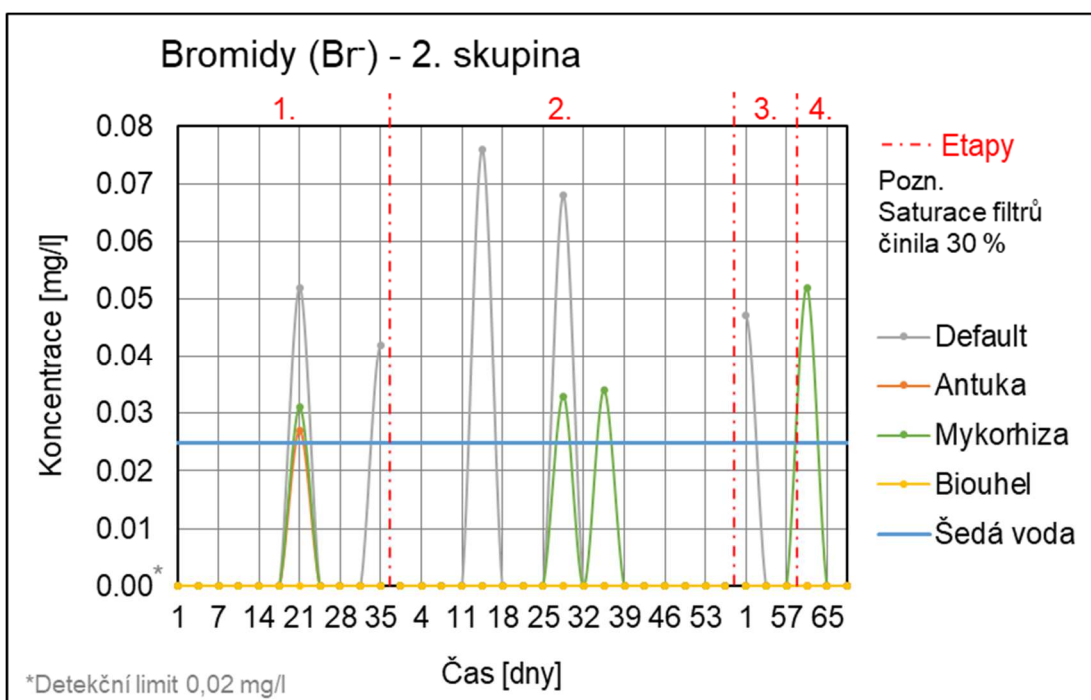
Příloha 131: Přehled koncentrací chloridů naměřených v průběhu třetí etapy



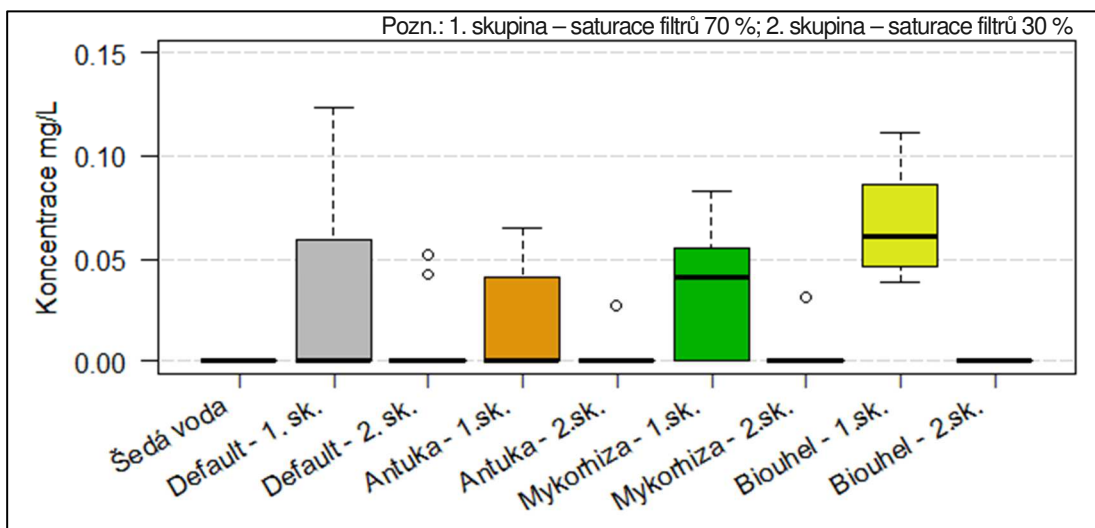
Příloha 132: Přehled koncentrací chloridů naměřených v průběhu čtvrté etapy



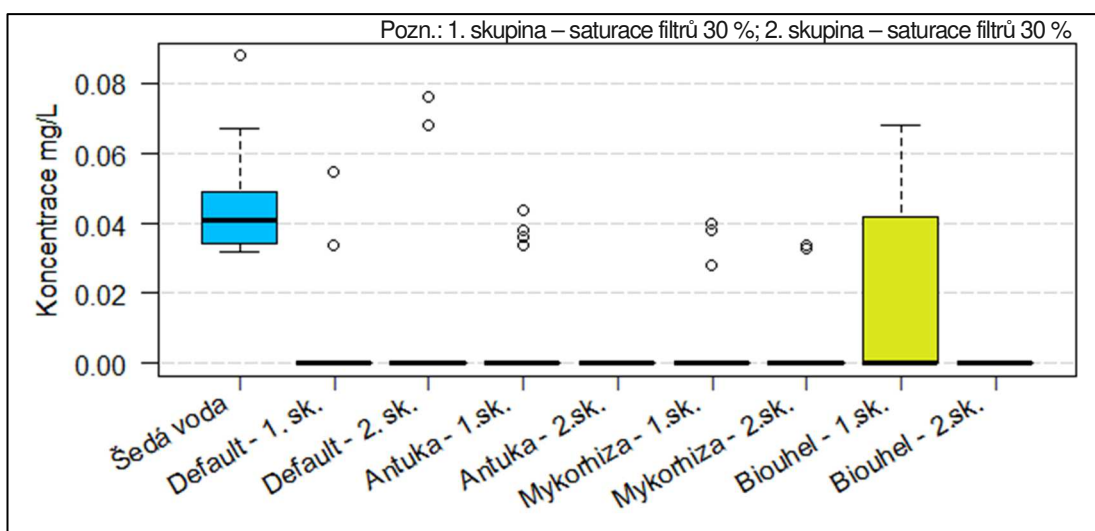
Příloha 133: Průběh koncentrací bromidů (1. skupina)



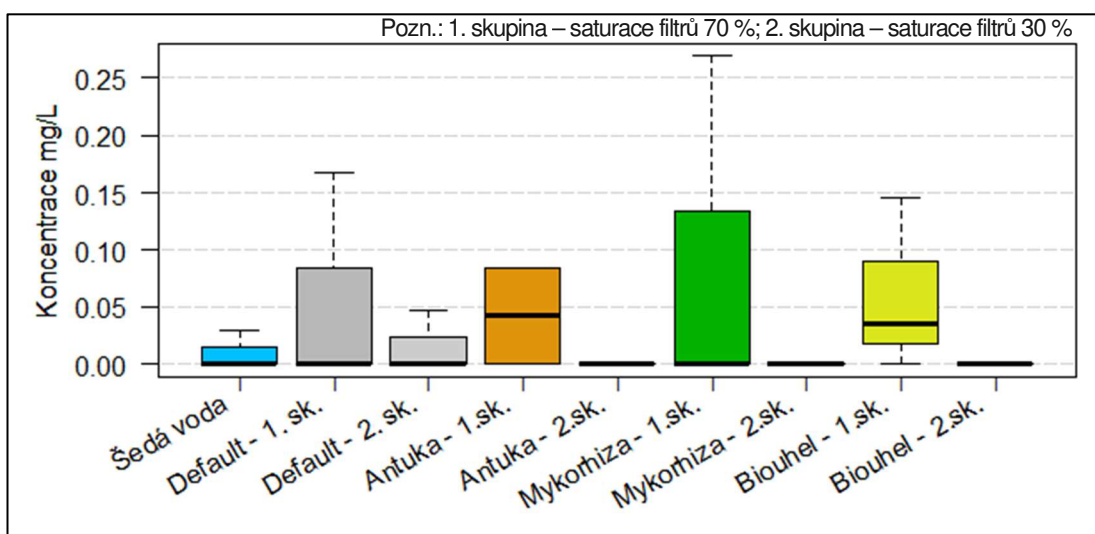
Příloha 134: Průběh koncentrací bromidů (2. skupina)



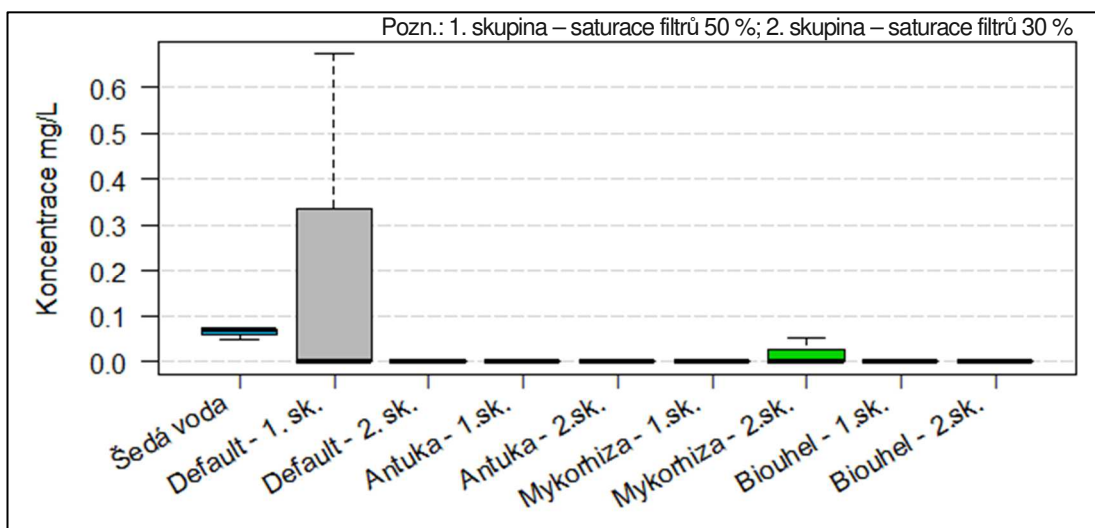
Příloha 135: Přehled koncentrací bromidů naměřených v průběhu první etapy



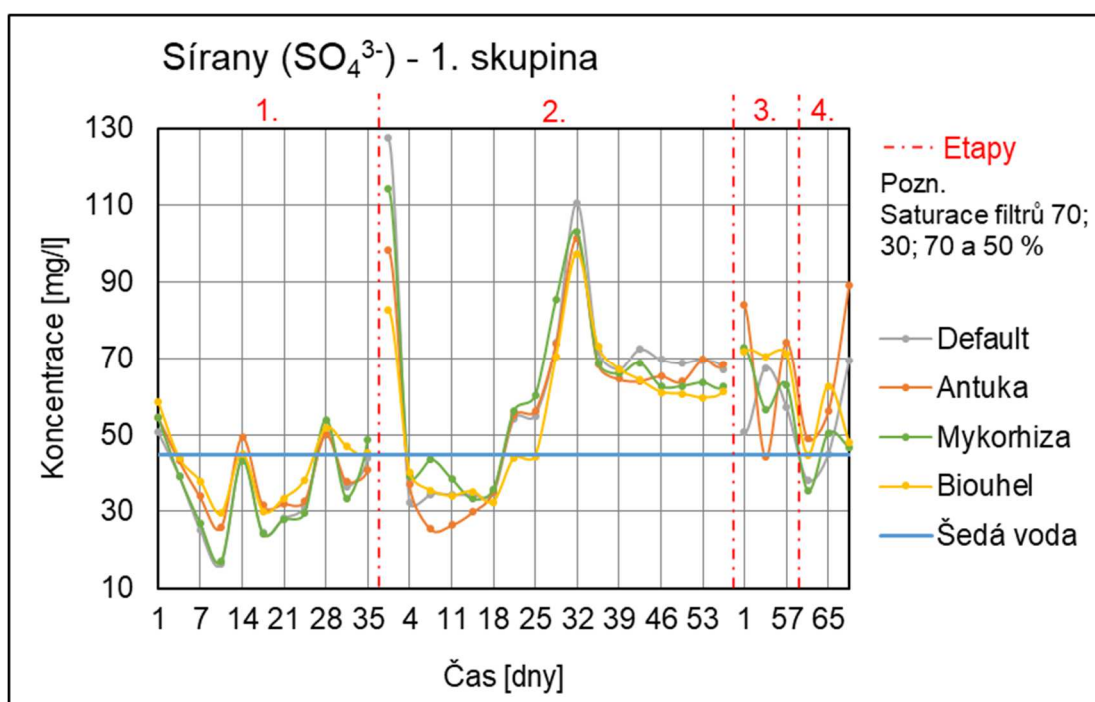
Příloha 136: Přehled koncentrací bromidů naměřených v průběhu druhé etapy



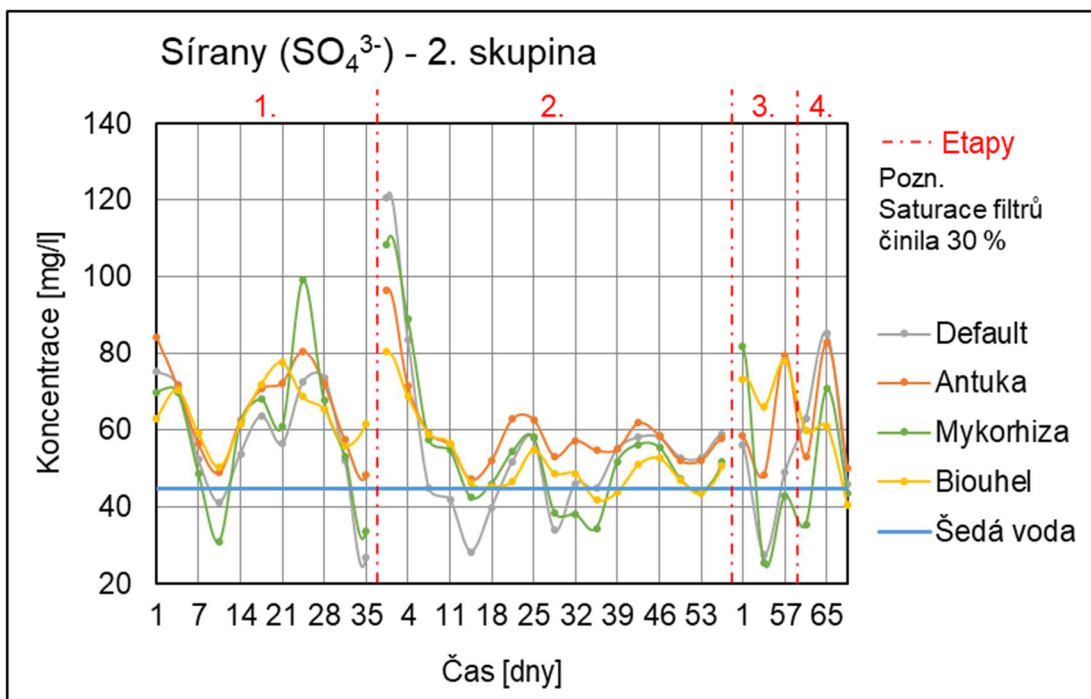
Příloha 137: Přehled koncentrací bromidů naměřených v průběhu třetí etapy



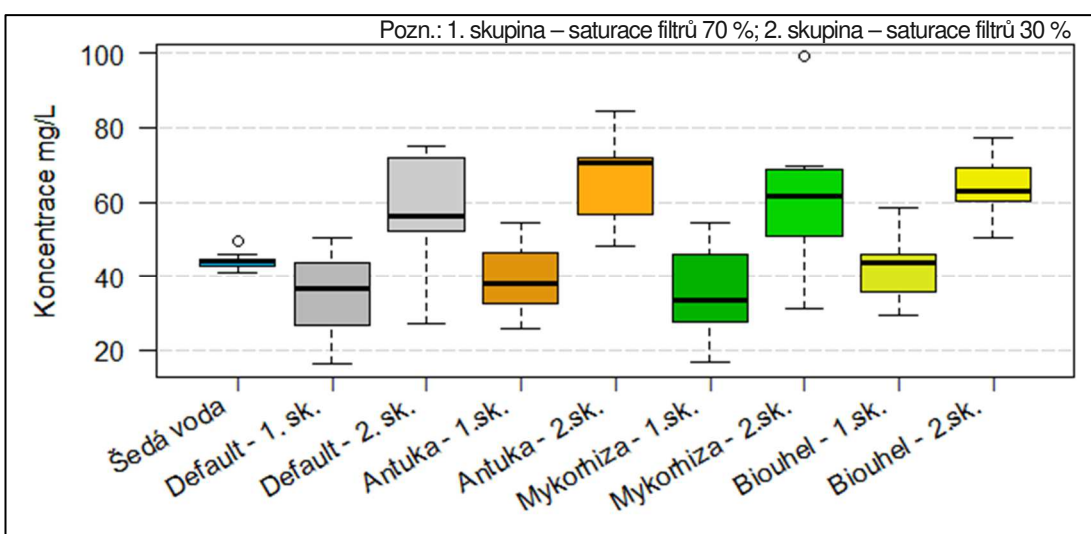
Příloha 138: Přehled koncentrací bromidů naměřených v průběhu čtvrté etapy



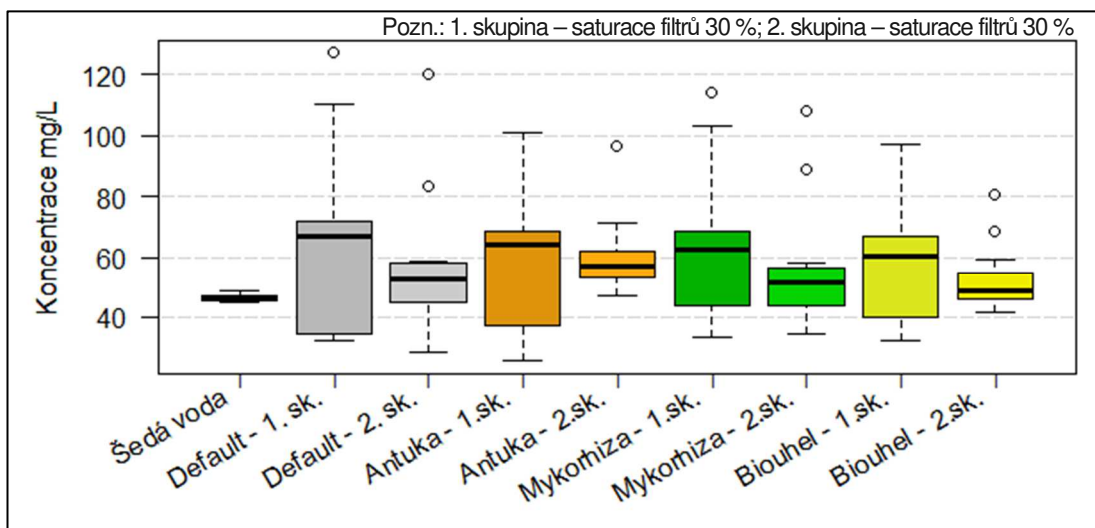
Příloha 139: Průběh koncentrací síranů (1. skupina)



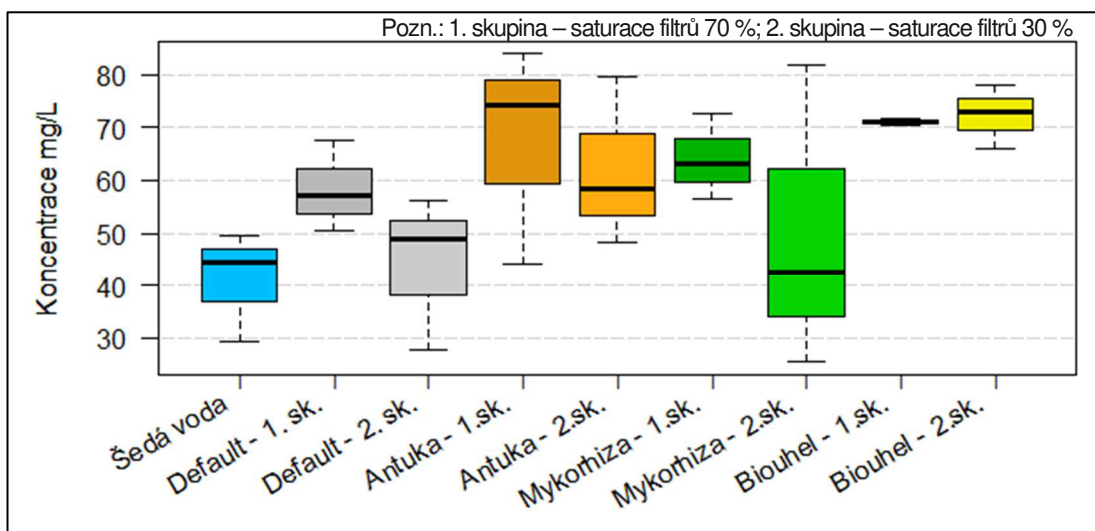
Příloha 140: Průběh koncentrací síranů (2. skupina)



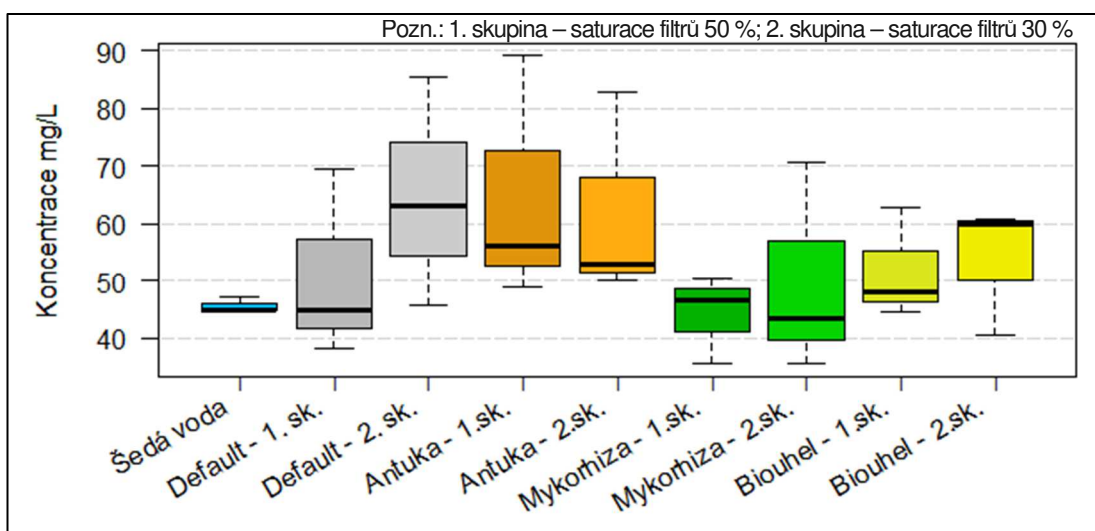
Příloha 141: Přehled koncentrací síranů naměřených v průběhu první etapy



Příloha 142: Přehled koncentrací síranů naměřených v průběhu druhé etapy



Příloha 143: Přehled koncentrací síranů naměřených v průběhu třetí etapy



Příloha 144: Přehled koncentrací síranů naměřených v průběhu čtvrté etapy