



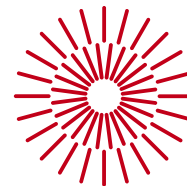
Komparativní testování kartuší pro domácí úpravu vody

Dlouhodobé testování 3 vybraných filtrů

TESTOVACÍ PROTOKOL

leden 2023

Vypracovali: Mgr. Milena Johnová
Ing. Michal Komárek, Ph.D.
Radka Fabiánová



Úvod

Společnost ArtCarbon s.r.o. se zabývá problematikou úpravy a čištění pitné vody s použitím nejmodernějších technologií. Společnost vyvinula vlastní filtr určený pro použití v domácnostech využívající imobilizované uhlíkové nanotrubičky, který byl předmětem komparativního testování.

Předmět a cíle studie

Cílem testů, které byly na základě zadání realizovány na Technické univerzitě v Liberci, bylo porovnání třech vybraných filtrů pro domácí úpravu vody z hlediska vývoje tlakové ztráty za konstantního průtoku. Celý test probíhal za podmínek, které simulovaly reálné použití filtru v domácnosti a reflektoval doby relaxace při vypínání a zapínání vodovodní baterie. Současně byly sledovány i mikrobiologické parametry na odtoku za účelem odhalení případné mikrobiální kontaminace filtru.

Součástí testu bylo i porovnání účinnosti vybraných filtrů. Účinností byla myšlena schopnost jednotlivých filtračních systémů odstraňovat vybrané mikropolutanty za reálných a srovnatelných podmínek (podrobněji zpracováno v dokumentu Analytické rozborů odebraných vzorků vod a jejich vyhodnocení).

Testovány byly celkem tři filtry, které jsou běžně dostupné na trhu. Všechny testované filtry jsou koncipované tak, aby bylo možné je snadno umístit v domácnosti na přívod vody v kuchyni pod vodovodní baterii.

Metodika

Testované filtry

Za účelem vzájemného porovnání byly testovány následující tři filtry (výběr filtrů byl proveden zadavatelem, tj. společností Art Carbon s.r.o.):

1. Filtr od společnosti 3M s aktivním uhlím
2. Filtr společnosti Filbec obsahující práškové aktivní uhlí
3. Filtr AQUA VIVA od společnosti ART CARBON s.r.o. využívající imobilizované uhlíkové nanotrubičky.

Pro účely testu bylo nutné odhadnout objem vyplněný adsorbentem. V případě filtru AQUA VIVA byl tento údaj poskytnut zadavatelem, v případě dalších dvou filtrů byl objem dopočítán na základě rozměru patrony (Filbec) a rozměrů vnějšího pláště filtru (3M). Níže jsou uvedeny hodnoty objemu sorpčního lože pro jednotlivé filtry a dopočítané průtoky, které odpovídají požadovanému kontaktnímu času 15 vteřin (EBCT, tzv. *empty bed contact time*).

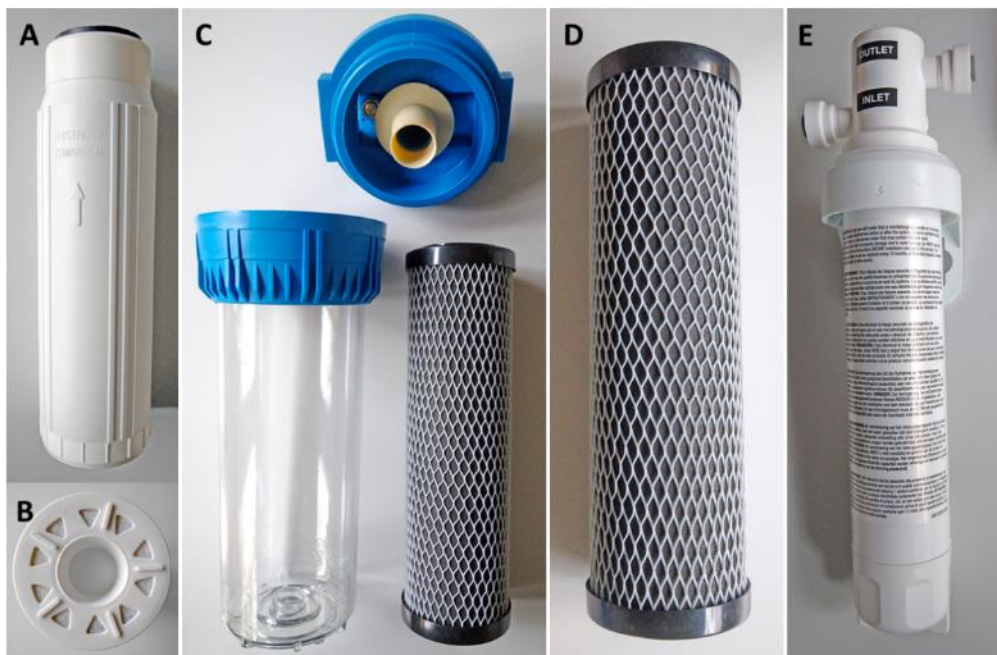
Filtr 3M 210 cm³, Q = 50 l·h⁻¹

Filtr Filbec 680 cm³, Q = 163 l·h⁻¹



Filtr AQUA VIVA 600 cm^3 , $Q = 144 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$

Jednotlivé filtry jsou uvedeny na Obr. 1.

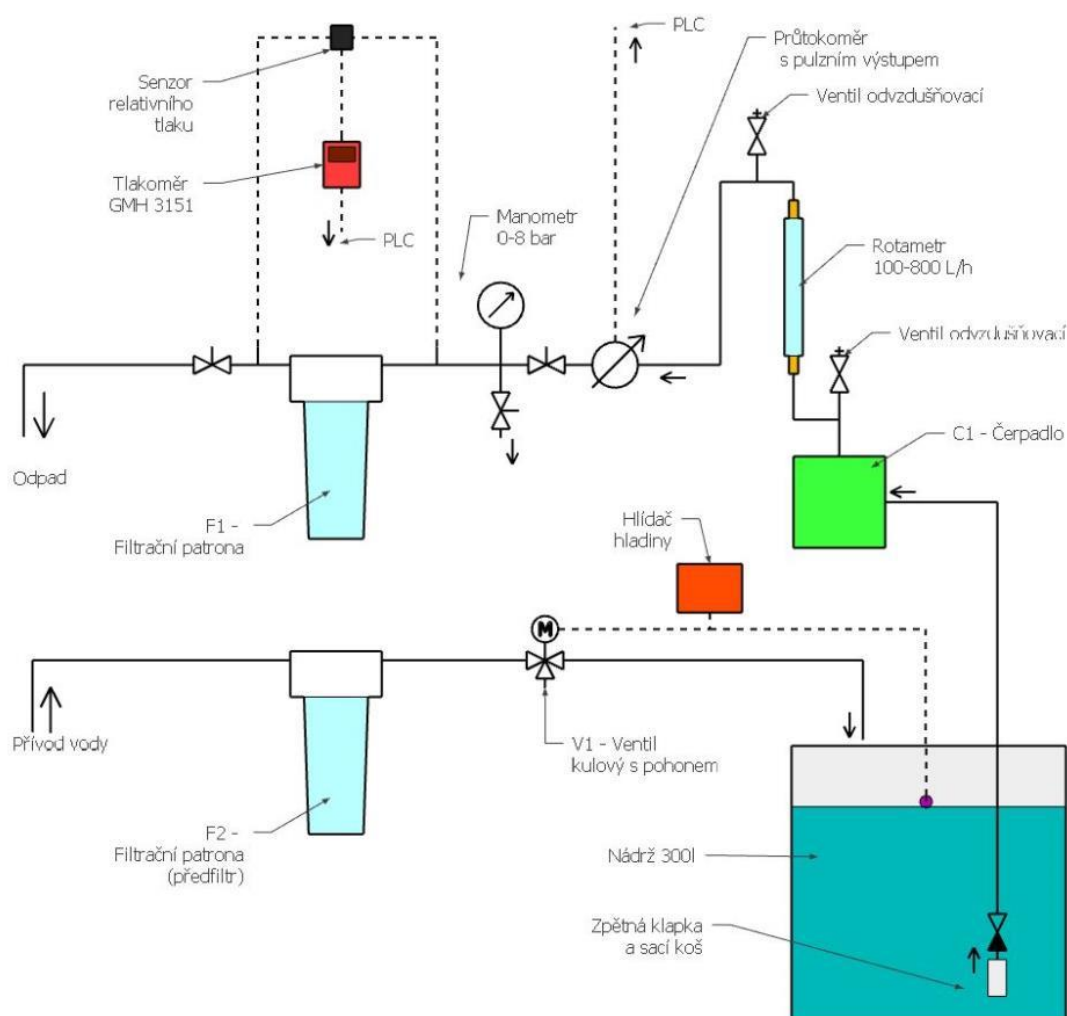
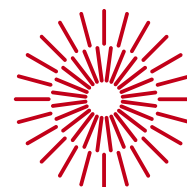


Obr. 1: Testované filtry určené pro domácí použití: A) filtr AQUA VIVA – celkový pohled; B) filtr AQUA VIVA – nátokové otvory; C) filtr společnosti Filbec – celkový pohled na housing s filtrační patronou; D) filtr společnosti Filbec – detail filtrační patrony; E) filtr společnosti 3M – celkový pohled

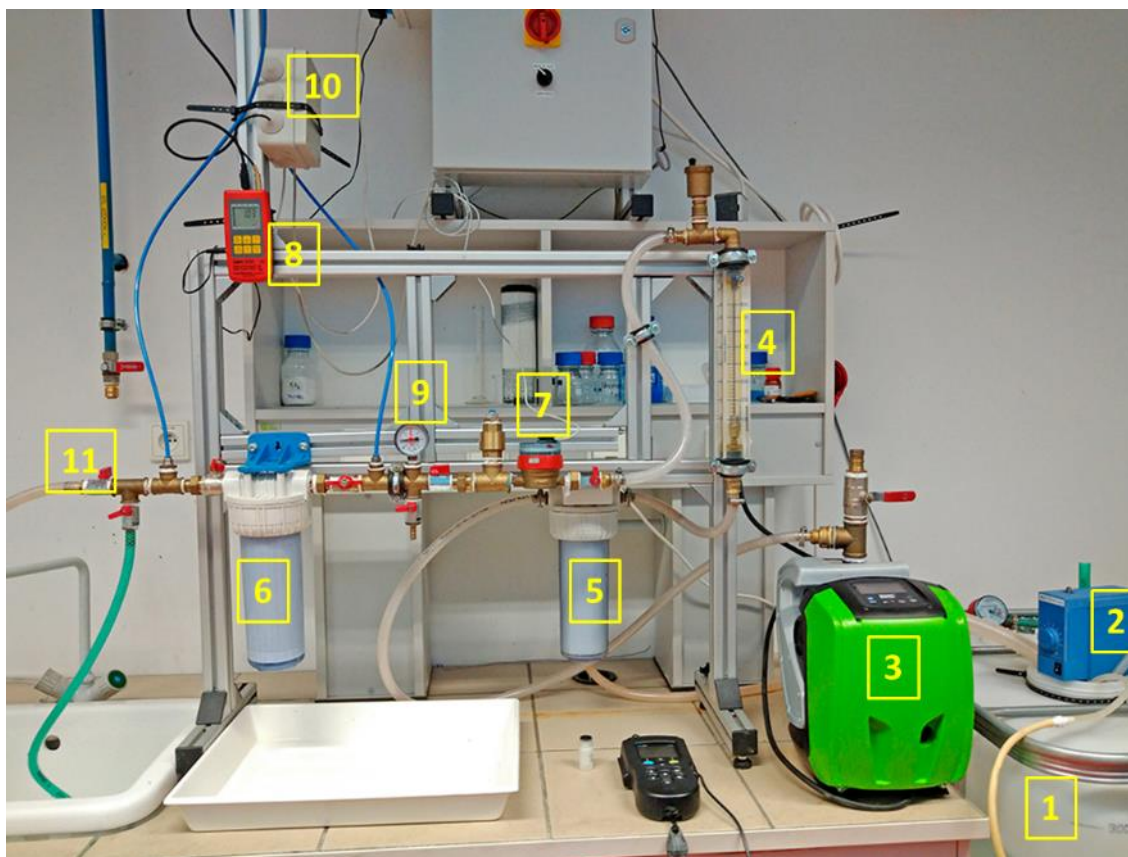
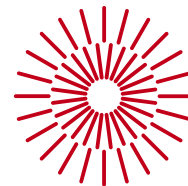
Testovací trať

Pro účely dynamických testů byla využita již zkonstruovaná trať umožňující simulovat předpokládané využití filtru pro domácnost, a to ve zrychleném semikontinuálním režimu. Doba testování byla pro každý filtr 3, resp. 4 dny (filtr 3M) a přes jednotlivé filtry bylo postupně přefiltrováno vždy 1000 litrů uměle kontaminované vodovodní vody. Testování vlastností filtrů bylo uskutečněno za provozních podmínek simulující reálnou aplikaci filtru v domácnosti (vypínání/zapínání vodovodní baterie), za detailně kontrolovaných testovacích podmínek. Laboratorní testování probíhalo v laboratořích TUL na testovací aparatuře umožňující průběžnou kontrolu vlastností filtračního elementu a kontinuální záznam dat. Testovací aparatura umožňuje automatické ukládání hodnot aktuálního průtoku a tlakové ztráty. Tato funkce je zajištěna využitím PLC v kombinaci s ovládacím software, jenž byl optimalizován týmem TUL specificky pro tuto konkrétní aplikaci. Dále bylo použito čerpadlo s možností programování chodu (regulace vstupního tlaku, rozpoznání krizových situací – chod naprázdno). Schéma zapojení testovací aparatury je uvedeno na Obr. 2.

Před spuštěním experimentu s každým filtrem byla jednotka včetně IBC kontejneru sanitována roztokem 3,5% peroxidu vodíku. Tato sanitace byla provedena za účelem odstranění případné mikrobiologické kontaminace jednotky, která by mohla ovlivnit výsledky mikrobiologických analýz.



Obr. 2: Schéma zapojení testovací aparatury pro dynamické zkoušky



Obr. 3: Laboratorní testovací trať pro komparativní testování filtračních kartuší: IBC kontejner 300 l s nátokem (1); hřídelové míchadlo (2); čerpadlo (3); rotametr (4); předfiltr se zádržností 1 μm (5); testovaný filtr (6); průtokoměr (7); digitální tlakoměr se dvěma tlakovými čidly (8); manometr (9); PLC (10); odtok z aparatury (11)

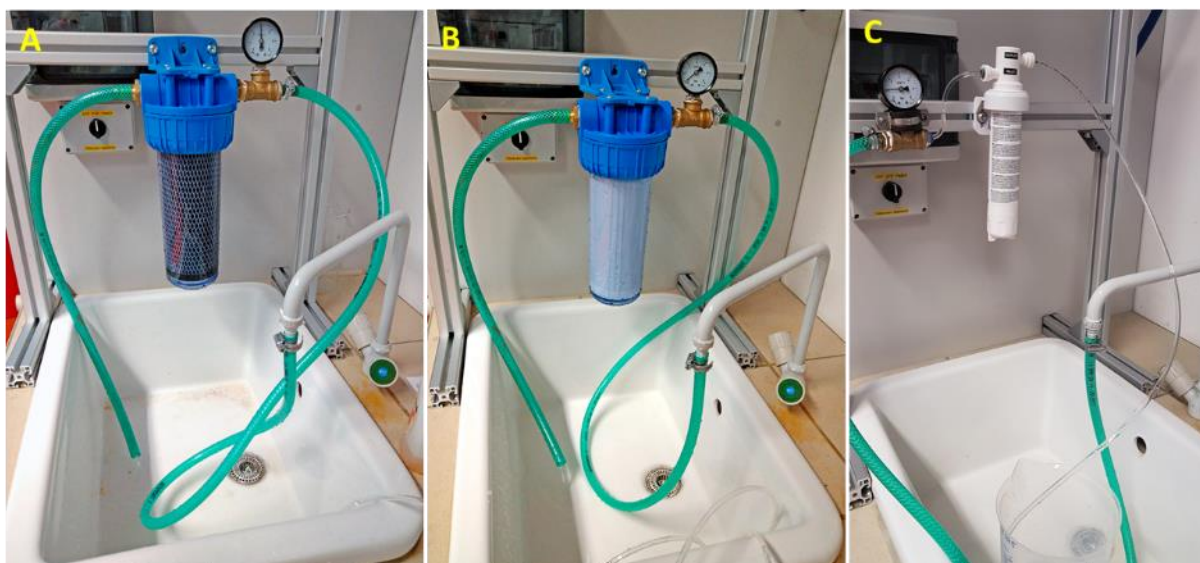
Modelová voda

Vodovodní voda (vodárna Bedřichov, zdroj vodní nádrž Josefův důl) byla odplyněna (zbavena residuálního chloru) hydrodynamickým mícháním v IBC kontejneru o objemu 300 l v průběhu plnění, které probíhalo 0,5 až 1 hodinu při laboratorní teplotě. Takto upravená vodovodní voda byla kontaminována směsí vybraných kontaminantů (podrobněji popsáno v dokumentu Analytické rozborly odebraných vzorků vod a jejich vyhodnocení). Souhrnná koncentrace spikovaných kontaminantů se pohybovala kolem $10 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Skutečná přesná koncentrace jednotlivých kontaminantů byla stanovena vždy počáteční analýzou připravené modelové vody. Obohacená modelová voda měla následující vstupní parametry: TOC v rozmezí $3,4 - 4,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, redox potenciál 400–470 mV.



Mikrobiologické analýzy

Odběry na mikrobiologické analýzy byly prováděny z každého kontejneru, tj. z každých 250 l vody. Odebrán byl vždy směsný vzorek z nátoky (odběr z kontejneru) a bodový vzorek za filtrem po protečení 250 l vody. Odběry byly prováděny do sterilních skleněných vzorkovnic a ihned předávány na kulturační testy. Po skončení experimentu s jednotlivými filtry byly filtry uchovávány zavodněné po dobu 14 dní a následně byly nainstalovány na vodovodní baterii. Po přefiltrování cca 2 l vody byl odebrán další vzorek na mikrobiologické analýzy s cílem sledovat případnou kontaminaci filtru. Způsob zapojení filtru je vidět na Obr. 4.



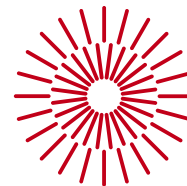
Obr. 4: Zapojení testovaných filtrů při odběru na mikrobiologickou analýzu po 14 dnech relaxace v zavodněném stavu

K testování byly zvoleny standardní normované metody využívané při rutinních odběrech vod. Sledovány byly následující parametry: *E. coli* a koliformní bakterie (na nátoky i odtok); *Pseudomonas aeruginosa* (pouze na odtok); KTJ 22 °C a KTJ 36 °C (na nátoky i odtok); mikroskopický obraz (pouze na odtok z posledního kontejneru). Kultivace cílených mikroorganismů probíhala na specifických chromogenních mikrobiologických médiích (pro detekci mikroorganismů jsou využívány jejich biochemické vlastnosti). Byly využity následující postupy:

ČSN EN ISO 9308-1 Stanovení *Escherichia coli* a koliformních bakterií, HiCrome Chromogenic Coliform Agar (Himedia), 37 °C/24–48 hod

ČSN EN ISO 16266 Stanovení *Pseudomonas aeruginosa*, CN Pseudomonas Cetrimide Nalixid Acid Agar (BIORAD) 37 °C/24–48 hod

Stanovení kultivovatelných bakterií vycházelo z normovaných metodik pro stanovení počtu kolonií očkovaním do živného agarového kulturačního média:



ČSN EN ISO 6222 Jakost vod – Stanovení kultivovatelných mikroorganismů – Stanovení počtu kolonií očkovaním do živného agarového kultivačního média

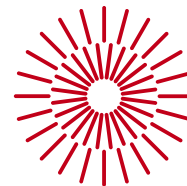
KTJ 22 °C – Plate Count Agar without Dextrose (BIO-RAD) 22 °C/72 hod

KTJ 36 °C – Plate Count Agar without Dextrose (BIO-RAD) 36 °C/48 hod

Mikroskopický obraz proběhl dle následujících normovaných metodik:

ČSN 75 7713 Kvalita vod – Biologický rozbor – Stanovení abiosestonu

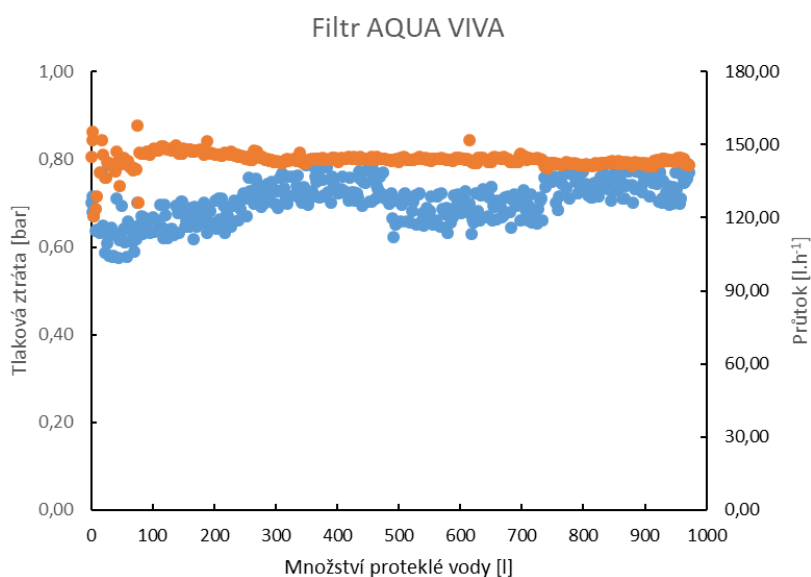
ČSN 75 7712 Kvalita vod – Biologický rozbor – Stanovení biosestonu



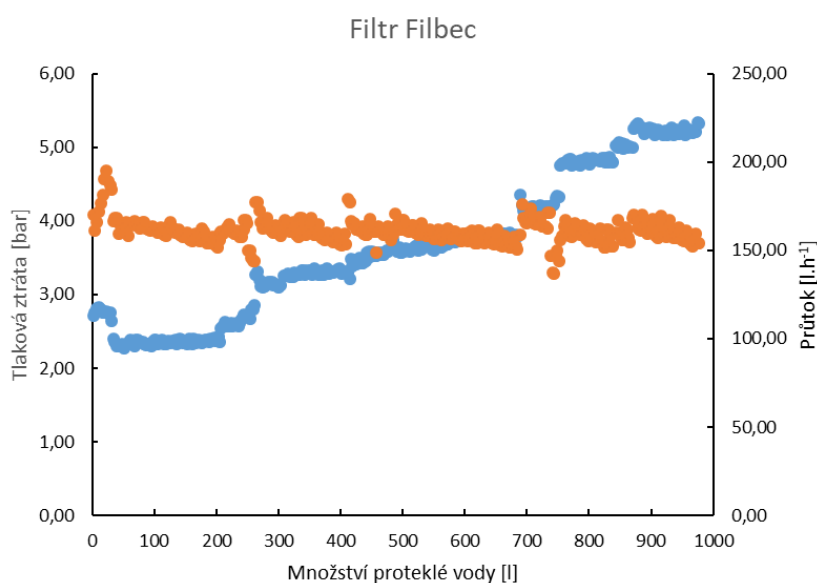
Výsledky

Hydraulické vlastnosti filtrů

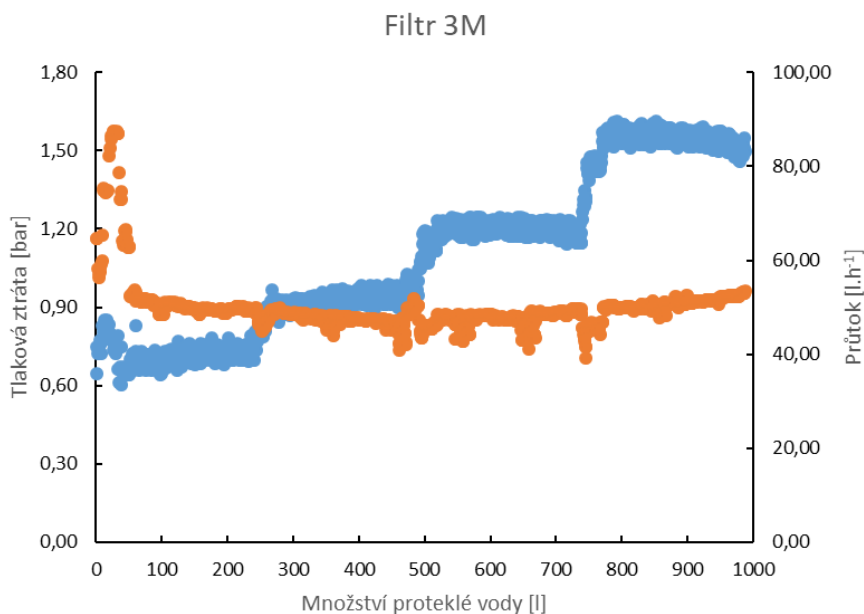
V průběhu filtrace byl kontinuálně zaznamenáván vývoj tlakové ztráty, který je pro každý filtr vyhodnocen na Obr. 5-7. V případě filtru AQUA VIVA byl průtok udržován na hodnotě $144 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$, v případě filtru Filbec na hodnotě $163 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$ a v případě filtru 3M na hodnotě $50 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$. Na počátku každého z testů docházelo k ustálení průtoku na požadovaných hodnotách. Z tohoto důvodu jsou hodnoty v průběhu filtrace prvních cca 50 l u všech filtrů výrazně rozkolísané.



Obr. 5: Hodnoty průtoku a vývoj tlakové ztráty v průběhu testu pro filtr AQUA VIVA



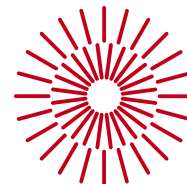
Obr. 6: Hodnoty průtoku a vývoj tlakové ztráty v průběhu testu pro filtr Filbec



Obr. 7: Hodnoty průtoku a vývoj tlakové ztráty v průběhu testu pro filtr 3 M

Z grafů je patrné, že nejnižší tlakové ztráty dosahoval za daných podmínek filtr AQUA VIVA. Hodnota tlakové ztráty se v průběhu testu pohybovala v rozmezí 0,6 – 0,8 bar a nebyl zaznamenán žádný výrazný nárůst po přefiltrování 1000 l vody. Při odběru vzorku na mikrobiologickou analýzu po 14 dnech relaxace byla při průtoku $174 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$ zaznamenána tlaková ztráta 1 bar. Nejvyšší tlakové ztráty dosahoval za daných podmínek filtr Filbec. V průběhu filtrace prvních 250 l se tlaková ztráta pohybovala na hodnotách kolem 2,4 baru a v průběhu testování se postupně zvyšovala až na hodnoty přes 5 barů při filtraci posledních 250 l vody. Odběr na mikrobiologickou analýzu byl po 14 dnech relaxace proveden při tlakové ztrátě 3 bary, což odpovídalo průtoku $72 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$. Vyšší tlakové ztráty nebylo možné při daném uspořádání (napojení na vodovodní řad) dosáhnout. V případě filtru 3M byl pozorován skokový nárůst tlakové ztráty na počátku filtrace každého kontejneru. V průběhu filtrace prvního kontejneru dosahovala tlaková ztráta průměrné hodnoty 0,7 bar, druhého kontejneru 0,9 bar, třetího kontejneru 1,2 bar a čtvrtého kontejneru 1,5 bar. Odběr na mikrobiologickou analýzu byl po 14 dnech relaxace proveden při tlakové ztrátě 2 bary, což odpovídalo průtoku $56 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$.

V průběhu experimentů s jednotlivými filtry byl dle požadavku zadavatele sledován i oxidačně-redukční potenciál na nátoku a odtoku z každého kontejneru. Výsledky jsou uvedeny v Tab. 3.



Tab. 3: Oxidačně-redukční potenciál měřený na nátoku a odtoku z každého kontejneru v průběhu testování jednotlivých filtrů

Kontejner*	Typ vzorku	REDOX [mV]		
		AQUA VIVA	Filbec	3M
K1 (0-250 l)	nátok	430	456	420
	odtok	384	420	394
K2 (251-500 l)	nátok	456	457	430
	odtok	428	420	365
K3 (501-750 l)	nátok	430	457	400
	odtok	413	405	365
K4 (751-1000 l)	nátok	430	474	415
	odtok	390	420	371

* v závorce je uveden přibližný údaj o množství proteklé vody



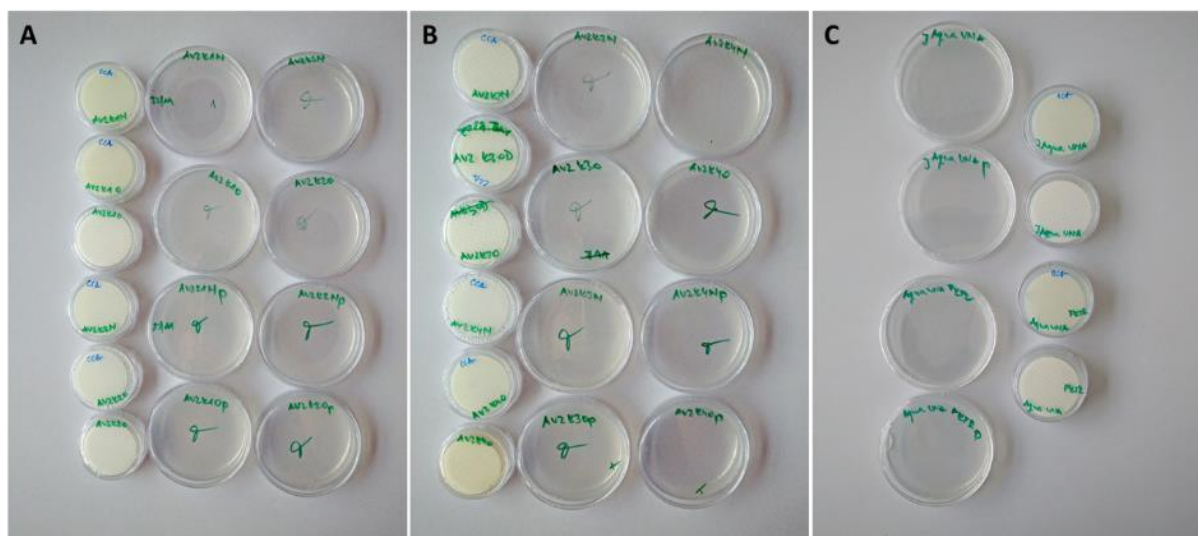
Mikrobiologické analýzy

Výsledky mikrobiologických analýz pro jednotlivé filtry jsou shrnuty v Tab. 4-6. Agarové plotny s odečtem kolonií jsou pro jednotlivé filtry zdokumentovány na Obr. 8-10. V případě mikroskopického obrazu byly výsledky jednotlivých filtrů totožné (abioseston na úrovni 1 %; bioseston v počtu 0 jed/ml).

Tab. 4: Výsledky mikrobiologických analýz pro filtr AQUA VIVA

Kontejner*	Typ vzorku	E. coli KTJ/100 ml	Koliformní KTJ/100 ml	22 °C KTJ/100 ml	36 °C KTJ/100 ml	Pseudomonas KTJ/100 ml
K1 (0-250 l)	nátok	0	0	0	1	-
	odtok	0	0	0	0	0
K2 (251-500 l)	nátok	0	0	0	0	-
	odtok	0	0	0	0	0
K3 (501-750 l)	nátok	0	0	0	0	-
	odtok	0	0	0	0	0
K4 (751-1000 l)	nátok	0	0	0	0	-
	odtok	0	0	0	0	0
Po 14 dnech		0	0	0	0	0

* v závorce je uveden přibližný údaj o množství proteklé vody



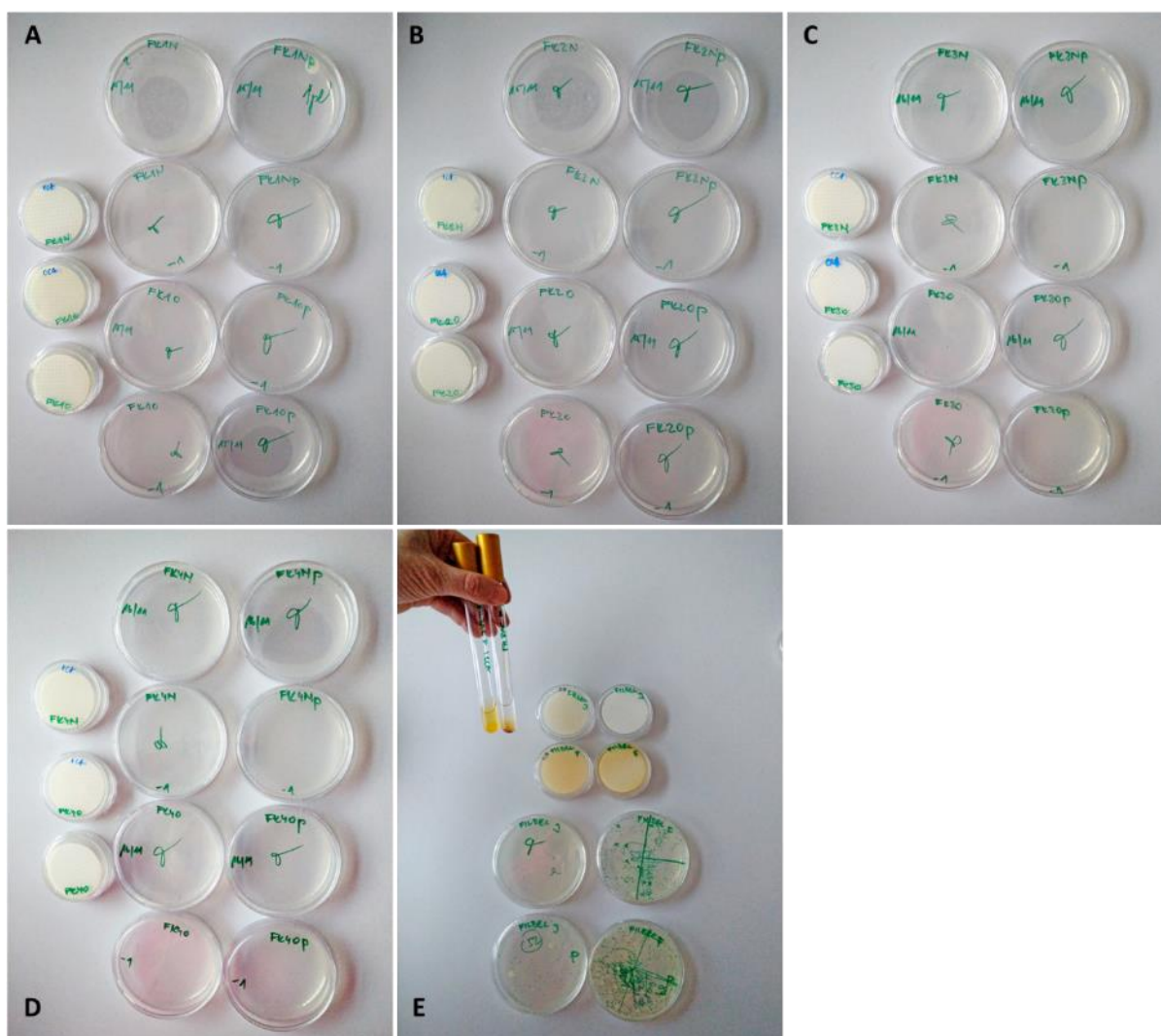
Obr. 8: Agarové plotny s odečtem kolonií pro filtr AQUA VIVA: A) vzorky z 1. a 2. kontejneru; B) vzorky ze 3. a 4. kontejneru; C) vzorky z odběru po 14 dnech relaxace zavodněného filtru



Tab. 5: Výsledky mikrobiologických analýz pro filtr Filbec

Kontejner*	Typ vzorku	E. coli KTJ/100 ml	Koliformní KTJ/100 ml	22 °C KTJ/100 ml	36 °C KTJ/100 ml	Pseudomonas KTJ/100 ml
K1 (0-250 l)	nátok	0	0	1	1	-
	odtok	0	0	0	0	0
K2 (251-500 l)	nátok	0	0	0	0	-
	odtok	0	0	0	0	0
K3 (501-750 l)	nátok	0	0	0	0	-
	odtok	0	0	0	1	0
K4 (751-1000 l)	nátok	0	0	0	0	-
	odtok	0	0	0	0	0
Po 14 dnech		0	0	301	233	179

* v závorce je uveden přibližný údaj o množství protéké vody



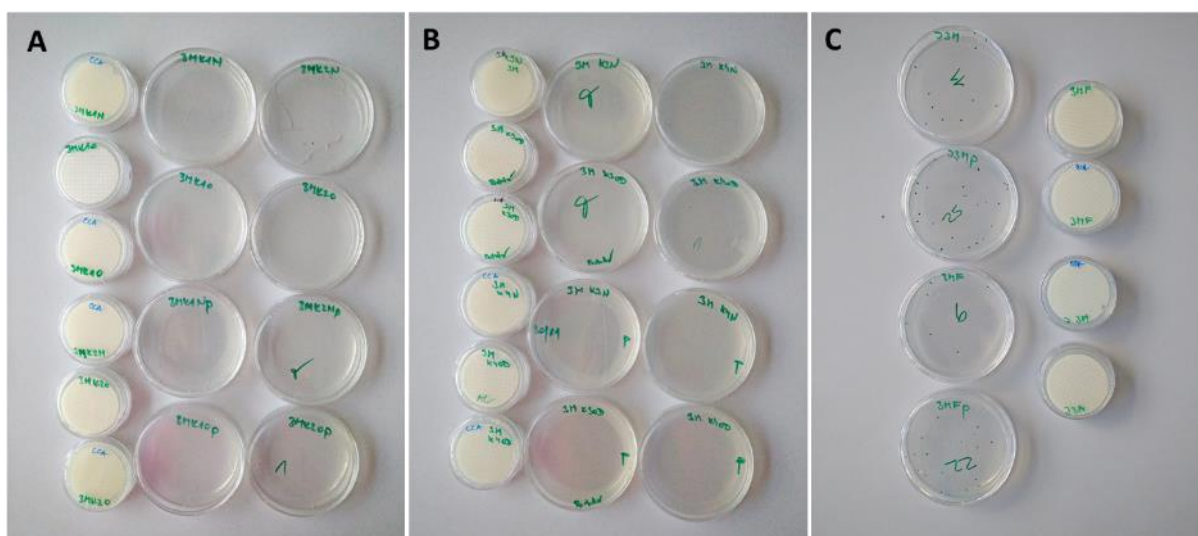
Obr. 9: Agarové plotny s odečtem kolonií pro filtr Filbec: A) vzorky z 1. kontejneru; B) vzorky 2. kontejneru; C) vzorky z 3. kontejneru; D) vzorky ze 4. kontejneru; E) vzorky z odběru po 14 dnech relaxace zavodněného filtru



Tab. 6: Výsledky mikrobiologických analýz pro filtr 3M

Kontejner*	Typ vzorku	E. coli KTJ/100 ml	Koliformní KTJ/100 ml	22 °C KTJ/100 ml	36 °C KTJ/100 ml	Pseudomonas KTJ/100 ml
K1 (0-250 l)	nátok	0	0	0	0	-
	odtok	0	0	0	0	0
K2 (251-500 l)	nátok	0	0	0	1	-
	odtok	0	0	1	0	0
K3 (501-750 l)	nátok	0	0	0	0	-
	odtok	0	0	0	0	17
K4 (751-1000 l)	nátok	0	0	0	1	-
	odtok	0	0	0	1	6
Po 14 dnech		0	0	22	6	22

* v závorce je uveden přibližný údaj o množství protéké vody



Obr. 10: Agarové plotny s odečtem kolonií pro filtr 3M: A) vzorky z 1. a 2. kontejneru; B) vzorky z 3. a 4. kontejneru; C) vzorky z odběru po 14 dnech relaxace zavodněného filtru

Mikrobiologické analýzy byly vyhodnoceny nejlépe pro filtr AQUA VIVA. U tohoto filtru nebyla ve vzorcích zaznamenána žádná ze sledovaných bakterií a rovněž hodnoty KTJ při 22 a 36 °C byly rovny nule. Stejných nulových výsledků bylo dosaženo i ze vzorku přefiltrovaného po 14 dnech relaxace filtru. V případě filtru Filbec byly výsledky ze vzorků odebíraných v průběhu filtrace 1000 l vody obdobné (jednotkové hodnoty se vyskytly pouze u KTJ při 22 a 36 °C v případě kontejneru 1 a 3). Po 14 dnech relaxace filtru bylo však množství kolonií narostlých z přefiltrované vody výrazně vyšší. Nevyskytovala se sice E. coli, ale množství zárodků, tj. KTJ při 22 a 36 °C dosahovalo počtu 301 resp. 233 KTJ/100 ml. Obdobně bylo zaznamenáno i velké množství kolonií bakterie *Pseudomonas aeruginosa*. V případě filtru 3M byla zaznamenána bakterie *Pseudomonas aeruginosa* na odtoku ze 3. a 4. kontejneru. S ohledem na nulové hodnoty na nátoku lze předpokládat, že původcem kontaminace byl filtr, případně jiné součásti jednotky (hadice). Ve vzorku přefiltrované vody odebrané po 14 dnech relaxace filtru byly stanoveny zárodky při 22 i 36 °C i bakterie *Pseudomonas aeruginosa*. Jednalo se o řádově nižší hodnoty než u filtru Filbec.



Závěr

V rámci realizovaného komparativního testování bylo zjištěno, že jednotlivé filtry se liší nejen v rámci účinností odstranění sledovaných kontaminantů (blíže zpracováno v dokumentu Analytické rozborý odebraných vzorků vod a jejich vyhodnocení), ale i v rámci hydraulických vlastností a případných antimikrobiálních vlastností. Žádný z testovaných filtrů neprokázal optimální výsledky ve všech sledovaných parametrech.

Z hlediska hydraulických vlastností se nejstabilněji choval filtr AQUA VIVA, u kterého byla při požadovaném průtoku zaznamenána po celou dobu experimentu stabilní nízká tlaková ztráta v rozmezí 0,6-0,8 bar. U ostatních dvou filtrů byl v průběhu experimentu pozorován nárůst tlakové ztráty, který byl u filtru Filbec rovnoměrný, u filtru 3M spíše skokový v souvislosti s dlouhými dobami relaxace mezi jednotlivými kontejnery. Tlaková ztráta u Filtru Filbec narostla při požadovaném průtoku až na hodnoty přes 5 barů v závěru experimentu, v případě filtru 3M se jednalo o hodnoty kolem 1,5 baru.

Mikrobiologické analýzy byly vyhodnoceny nejlépe pro filtr AQUA VIVA. U tohoto filtru nebyla ve vzorcích filtrátu zaznamenána žádná ze sledovaných bakterií a rovněž hodnoty KTJ při 22 a 36 °C byly rovny nule, a to i po 14 dnech relaxace zavodněného filtru. V případě ostatních dvou filtrů byly pozitivní nálezy především ve filtrátu po 14 dnech relaxace. Jednalo se jak o zárodky, tak o výskyt bakterie *Pseudomonas aeruginosa*. V případě filtru 3M byla bakterie *Pseudomonas aeruginosa* zaznamenána na odtoku již při filtraci 3. a 4. kontejneru. Odečtené hodnoty byly ve všech případech nad limity stanovenými vyhláškou pro pitnou vodu.