

Charakter a účinnost biologické filtrace

Jana Ambrožová ¹⁾, Jana Hubáčková ²⁾, Táňa Matulová ¹⁾

¹⁾ Vysoká škola chemicko-technologická, Ústav technologie vody a prostředí
Technická 5, 166 28 Praha 6, jana.ambrozova@vscht.cz, tana.matulova@vscht.cz

²⁾ Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka Praha
Podbabská 30, 160 62 Praha 6, jana_hubackova@vuv.cz

Úvod

Úprava vody pomalou (biologickou) filtrací je analogií procesů probíhajících v přírodě. Během 150 let provozu pomalé filtrace, nedoznal její princip podstatných změn. Písková filtrační vrstva je prostředím, v němž probíhají procesy biologické, fyzikální a chemické. Pomalé filtry historicky předcházejí rychlofiltry, kterými byly postupně nahrazovány. Pomalá (anglická) filtrace, je založena na využití biotechnologického principu metabolické aktivity mikroorganismů biologické blány vytvořené na povrchu pískového lože (× teorie filtrace). Filtrační vrstva je tvořena pískem o velikosti zrn 0,3 až 1,0 mm, vysoká je 100 až 120 cm (s podkladní vrstvou vysokou 40-60 cm a tvořící plynulý přechod od zrn o průměru 1 mm do průměru 30 mm). Biologická blána se vytváří v cca 1 cm až 2 cm vrstvě písku silně oživené aerobními mikroorganismy. Pro provoz filtru je důležitá přítomnost rozpuštěného kyslíku v přitékající vodě [1, 2]. Charakter biologické blány je dán světelnými podmínkami. Biologická blána působením mikroorganismů mineralizuje organické látky, zachycuje bakterie, viry, plankton a abioseston a příznivě působí na organoleptické vlastnosti vody [3]. Výška vody nad náplní je 50 cm, následkem tlakových ztrát může vystoupit až na 150 cm. Ztráta tlaku při pomalé filtraci je způsobena zvyšováním mocnosti filtrační biologické blány. Přefiltrovaná voda je odebírána drenážním systémem umístěným na dně a zasypaným největšími zrny písku. Délka cyklu závisí na sezóně, např. v létě trvá 3 až 6 týdnů, v zimě trvá trochu déle, tj. 7 až 12 týdnů. Po ukončení cyklu se filtr regeneruje sejmutím či seškrábnutím vrstvy i s částí písku, zapracování filtru je dáno sezónou (léto × zima). Nevýhodou pomalých filtrů jsou velké investiční náklady, výhodou pak jednoduchý a nenáročný provoz. Doporučují se pro zásobování menších obcí.

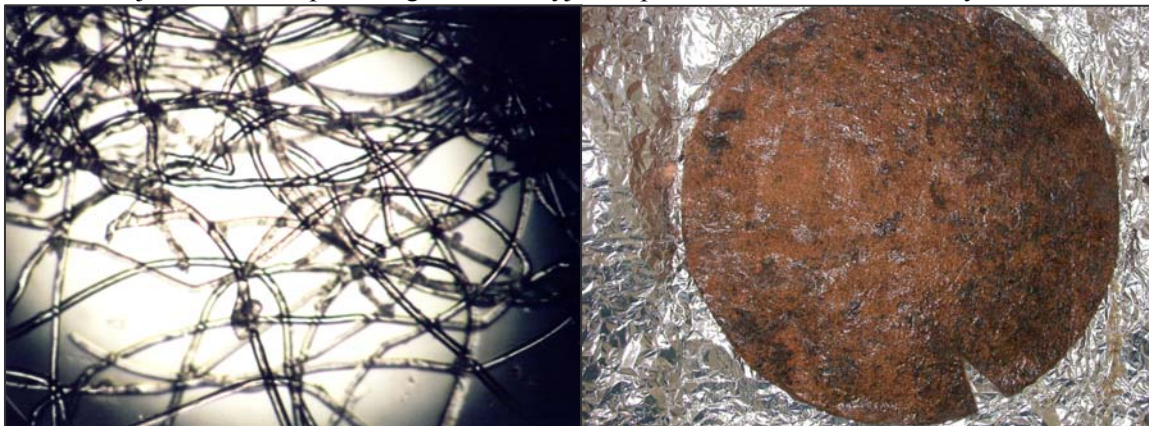
Voda vhodná pro pomalou filtraci nesmí přesáhnout hodnoty 6 mg O₂.l⁻¹ CHSK_{Mn}, 30 mg Pt.l⁻¹ barvy, 50 mg.l⁻¹ nerozpuštěných látek a 100 mg SiO₂.l⁻¹ zákalu. Filtrační rychlost závisí na množství nerozpuštěných látek v surové vodě, při jejich koncentraci do 25 mg.l⁻¹ je filtrační rychlost 0,2 až 0,3 m.h⁻¹, při koncentraci 25-50 mg.l⁻¹ je rychlost 0,1-0,2 m.h⁻¹. Pomalá filtrace se používá ve vsakovacích nádržích pro umělou infiltraci [1, 2, 3].

Dosáhne-li odpor biologického filtru maximální hodnoty, musí se vrchní nejvíce zanesená vrstva seříznout za suchého stavu. Pro její odstranění byly vyvinuty různé mechanismy na seřezávání vrstvy písku a jeho dopravu k pračce písku nebo snímání horní vrstvy odsáváním, kdy je filtrační lože zaplaveno vodou a nebo praní bez snímání horní vrstvy (hydraulicky). Modernizovaly se metody regenerace. Další možností usnadnění regenerace biologického filtru bylo použití tenké vrstvy zeolitu případně geotextilie. Jak geotextilii s biologickou blánou, tak vrstvu zeolitu prorostlou biologickou blánou bylo možné po vyčerpání tlakové výšky za suchého stavu pouze svinout a nahradit novou. Pro náš modelový výzkum jsme si vybrali použití geotextilie jako podkladového média.

Specifikace modelu a sledování

Pro náš modelový výzkum jsme si vybrali použití geotextilie z podniku MITOP a.s. v Mimoní jako podkladového média. Po delším jednání se Severočeskými vodovody a kanalizacemi, a.s. byla vybrána lokalita ÚV Velebudice, kde v začátku srpna 2004 byl osazen model pomalého biologického filtru s podkladovým médiem – geotextilií 63/50 (viz obr. 1).

Obr. 1 a 2. Obr. vlevo - pohled pod mikroskopem na jednu z vrstev geotextilie, foceno při 4× zvětšení objektivu. Obr. vpravo – geotextilie vyjmutá po ukončení 2. filtračního cyklu



Model (obr. 3) byl napojen na vodu z přívaděče z Nechranické nádrže. Po dobu modelového provozu byla zachovávána plovákem hladina a postupně se snižovalo profiltrované množství vody. Pro kalibraci byl vybrán průtok Q 5 ml/s, který odpovídal filtrační rychlosti v_f 6,54 m/den a celkovému dennímu množství Q_d 0,43163 m³/d.

Obr. 3. Model biologického filtru s hydraulickými parametry



Týden	1. filtrační cyklus		2. filtrační cyklus		3. filtrační cyklus	
	$\varnothing v_f$	$Q_{7denní}$	$\varnothing v_f$	$Q_{7denní}$	$\varnothing v_f$	$Q_{7denní}$
	[m/d]	[m ³ /d]	[m/d]	[m ³ /d]	[m/d]	[m ³ /d]
0 - 1	6,02	2,78	6,81	3,15	5,5	2,54
1 - 2	5,89	2,72	6,41	2,96	5,5	2,54
2 - 3	5,63	2,60	5,76	2,67	5,37	2,48
3 - 4			5,76	2,67	4,84	2,24
4 - 5			5,37	2,48	3,53	1,63
5 - 6			5,37	2,48		
Σ		8,10		16,42		11,43
<i>Celkové množství proteklé filtrem za období 9.8.04 - 15.11.04:</i>						
35,9506 m ³						

První filtrační cyklus byl zahájen 9. srpna 2004 uvedením modelového filtru do provozu zapracováním (po dobu jednoho týdne), tj. vytvoření biologické blány. Byly odebrány vzorky surové a profiltrované vody na chemický a biologický rozbor v pravidelných týdenních intervalech, pravidelně byl kontrolován průtok vody filtrem. Celkem byly vyhodnoceny tři filtrační cykly o různé době trvání. Délka filtračního cyklu byla

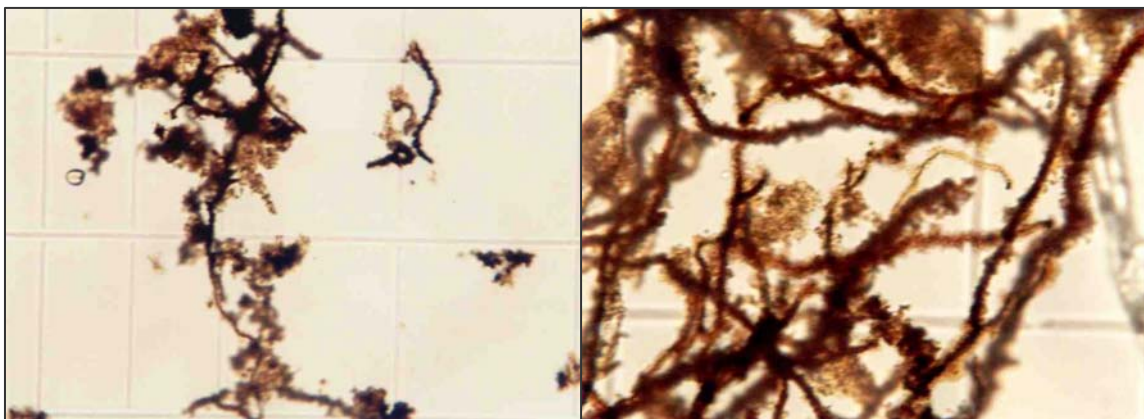
určována snížením průtoku filtrem, tj. prodlužujícím se časem naplnění kalibračního válce, kterým byl kontrolován průtok. První filtrační cyklus trval 3 týdny, druhý 6 týdnů a třetí 5 týdnů. Při ukončení každého filtračního cyklu byl uzavřen přítok surové vody, ve filtru se nechala zaklesnout hladina vody cca 10 cm pod úroveň písku a vyzvednutá geotextilie s biologickou blánou byla zaměněna za novou. Filtrační náplň písku ve filtru byla vyprána a vydezinfikována chlornanem, opětovně napuštěna surovou vodou a promyta. Pro další filtrační cyklus byl filtr znovu napuštěn surovou vodou, až k plováku a znovu uveden do provozu. Po jednotýdenním zapracování byly opět odebírány vzorky surové a upravené vody k chemickým a hydrobiologickým rozborů. Stejně bylo postupováno i při třetím filtračním cyklu, který skončil v polovině listopadu. Geotextilie byla vyjímána po ukončení druhého i třetího cyklu a stejným způsobem zpracována jako v případě ukončení prvního filtračního cyklu (současně byla pořizována fotodokumentace, a to jak při provádění odběrů vzorků, kontroly provozu filtru, tak i při samotném mikroskopickém vyhodnocování vzorků).

Biologické sledování

Sledování (zde uvedené) bylo zaměřeno na charakter biologického oživení na přivaděči do ÚV Velebudice, kde byla osazena jednotka biologické filtrace. Účinnost biologické filtrace byla hodnocena na základě vzorků volné vody surové vody (kohout), surové vody nad geotextilií (viz obr. 4 a 5), upravené vody (pod filtrem), upravené vody (výúst' 3 m) a dále biologické blány tvořící se na geotextilii. Odběry vzorků byly prováděny v minimálně týdenních intervalech. Kvalitativní a kvantitativní rozbor byl založen na mikroskopickém hodnocení vzorku, dle platných norem řady ČSN (75 7711 „Biologický rozbor. Stanovení mikroskopického obrazu“, 75 7712 „Biologický rozbor. Stanovení biosestonu“, 75 7713 „Biologický rozbor. Stanovení abiosestonu“) na základě zjištění přítomnosti a počtu jedinců v 1 ml v počítací komůrce CYRUS I. Metodika, popisující způsob odběru a samotný hydrobiologický rozbor, týkající se hodnocení nárostů, je kompletně uvedena v normě ČSN 75 7715 „Biologický rozbor. Stanovení nárostů“. Mikroorganismy byly hodnoceny i na základě TNV 75 5940 „Mikroskopické posuzování separační účinnosti vodárenské technologie“. Zvýšená pozornost byla věnována abiosestonu, zejména železitým bakteriím, jejichž mikroskopické vyhodnocení bylo doplněno i bakteriologickým rozbohem.

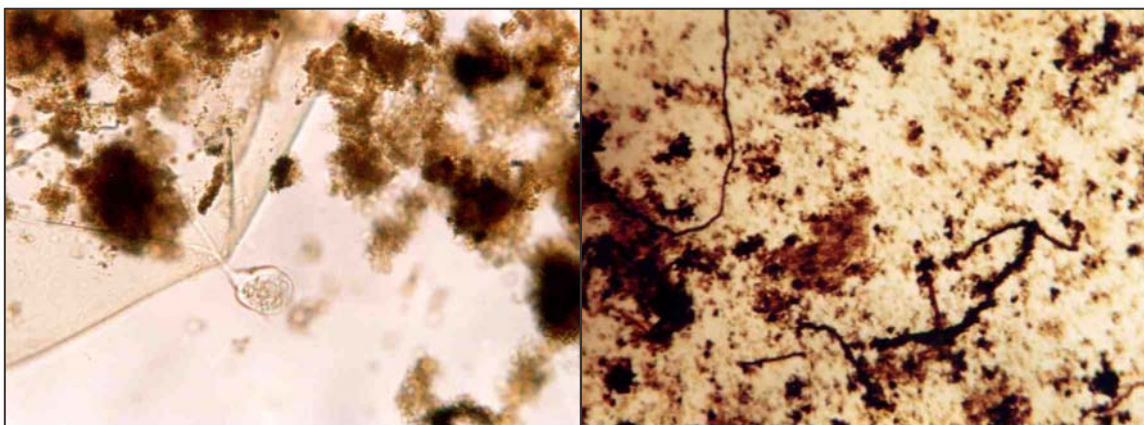
Spolu s geotextilií bylo osazováno nad filtrační plochu mikroskopické sklo, na kterém byl pod mikroskopem sledován charakter vytvářené biologické blány (viz obr. 7). Navíc byl prováděn biologický rozbor biologické blány vytvořené na geotextilii po ukončení každého filtračního cyklu (viz obr. 2 a 6). Z geotextilie byla vystřižena část, která byla přenesena do 100 ml vody, ponechána louhovat po dobu 4 hodin, protřepávána a kapka takto promíchaného vzorku byla přenesena na počítací komůrku, vyhodnocení bylo provedeno dle ČSN 75 7711 až 13. Po biologické stránce bylo oživení biologické blány velmi zajímavé, vzhled plstnatý, barva černohnědá, makroskopická struktura mazlavá a mezi prsty jemná. Jelikož byl filtr provozován ve tmě, nebylo zbarvení biologické blány zelené, jak často uvádí odborná literatura, ale bylo hnědočerné. Například po ukončení prvního filtračního cyklu byly přítomny tyto organismy: sinice *Phormidium* sp., rozsivky *Melosira varians* a *Aulacoseira subarctica* (1 jedinec, tj. 100 μ m délky, zde 4 fragmenty), *Asterionella formosa*, *Synedra ulna*, *Navicula capitata*, *Navicula* sp., *Nitzschia sigmoidea*, *Nitzschia* sp., *Gomphonema* sp., *Cocconeis* sp., *Achnanthes* sp., *Rhoicosphenia curvata*, *Fragillaria crotonensis* (1 jedinec, tj. 100 μ m délky, zde 18 fragmentů), chlorokokální řasy *Oocystis* sp., vláknité zelené řasy *Klebsormidium* sp., krásnoočka *Trachelomonas* sp., organismy celkem 5 \cdot 10⁵ org./ml, procento pokryvnosti abiosestonu > 40 %.

Obr. 4 a 5. Obr. vlevo - vzorek surové vody ze dne 11.10.2004, pohled na železité stopky od *Anthophysa vegetans*, korozní produkty, sraženiny železa a manganu. Obr. vpravo - vzorek surové vody nad geotextilií ze dne 11.10.2004, pohled na železité stopky od *Anthophysa vegetans*, živé kolonie bičíkovce



Po ukončení třetího filtračního cyklu byl odebrán písek z biologického filtru, cca 5 až 7 cm do hloubky od hladiny, část písku byla převedena do kádinky, ve které byl odměřen objem 200 ml, představované pískem, k němu byl přidán objem 400 ml vodovodní vody, ponechalo se louhovat po dobu 24 hodin, pak bylo protřepáno a kapka z takto promíchaného vzorku byla přenesena na počítací komůrku a vyhodnocena pod mikroskopem.

Obr. 6 a 7. Obr. vlevo – vzorek sedimentu z geotextilie, korozní produkty, sraženiny železa a manganu, detritus, schránka korýše s uchyceným nálevníkem rodu *Vorticella*. Obr. vpravo - vzorek exponovaného skla v době od 6.9. do 11.10.2004, provedeno vyhodnocení přímo pod mikroskopem dle ČSN 75 7713, korozní produkty, sraženiny železa a manganu, železité stopky od *Anthophysa vegetans*



Výsledky

Po biologické stránce byl charakter a složení biologické blány velmi zajímavý.

Příklady nacházeného abiosestonu: detritus, rostlinné zbytky, škrob, pylová zrna, schránky rozsivek a zlativek, ptačí peří, zbytky korýšů, motýlí šupiny, štětiny oligochaet, sraženiny železa a manganu (ve shlucích sraženin železa a manganu byly zachycovány schránky rozsivek a jejich zbytky), písek, korozní produkty. Dále byly přítomné hyfy a konidie mikromycet, speciálně konidie *Alternaria* sp., železité bakterie (*Gallionella* sp., *Leptothrix echinata*, *Planctomyces bekefii*), shluky bakterií, atd. jejichž vyhodnocení probíhalo semikvantitativně, tj. vyjádřením abundance (stupněm hojnosti). Jelikož ve vzorku upravené vody bylo pozorováno hojné množství železitých bakterií

(abundance 9, více jak 40 % pole pokryvnosti), bylo provedeno kontrolní mikrobiologické stanovení na přítomnost (v surové vodě $6,74 \cdot 10^5$ KTJ/1ml heterotrofních bakterií a z toho 600 KTJ/1ml, v upravené vodě $8,3 \cdot 10^5$ KTJ/1ml heterotrofních bakterií a z nich žádná železitá bakterie).

Příklady nacházeného biosestonu: sinice *Phormidium* sp., *Synechococcus* sp.; zlativky *Chrysococcus rufescens*, *Synura* sp.; obrněnky *Peridinium cinctum*, *Katodinium* sp.; skrytěnky *Cryptomonas* sp., rozsivky *Melosira varians*, *Aulacoseira subarctica*, *Asterionella formosa*, *Synedra ulna*, *Navicula capitata*, *Navicula* sp., *Nitzschia sigmaidea*, *Nitzschia acicularis*, *Nitzschia* sp., *Diatoma* sp., *Gomphonema* sp., *Cocconeis* sp., *Achnanthes* sp., *Rhoicosphenia curvata*, *Tabelaria* sp., *Fragillaria crotonensis*; chlorokokální řasy *Scenedesmus* sp., *Chlamydomonas* sp., *Crucigenia* sp., *Oocystis* sp., *Chlorococcum* sp.; vláknité zelené řasy *Klebsormidium* sp.; krásnoočka *Trachelomonas* sp.; bezbarví bičíkovci *Entosiphon* sp., *Anthophysa* sp., *Peranema* sp.; měňavky; nálevníci *Aspidisca* sp., *Stylonichia* sp., *Litonotus* sp.; vířníci *Rotaria citrina*, *Brachionus urceolaris*.

Závěry

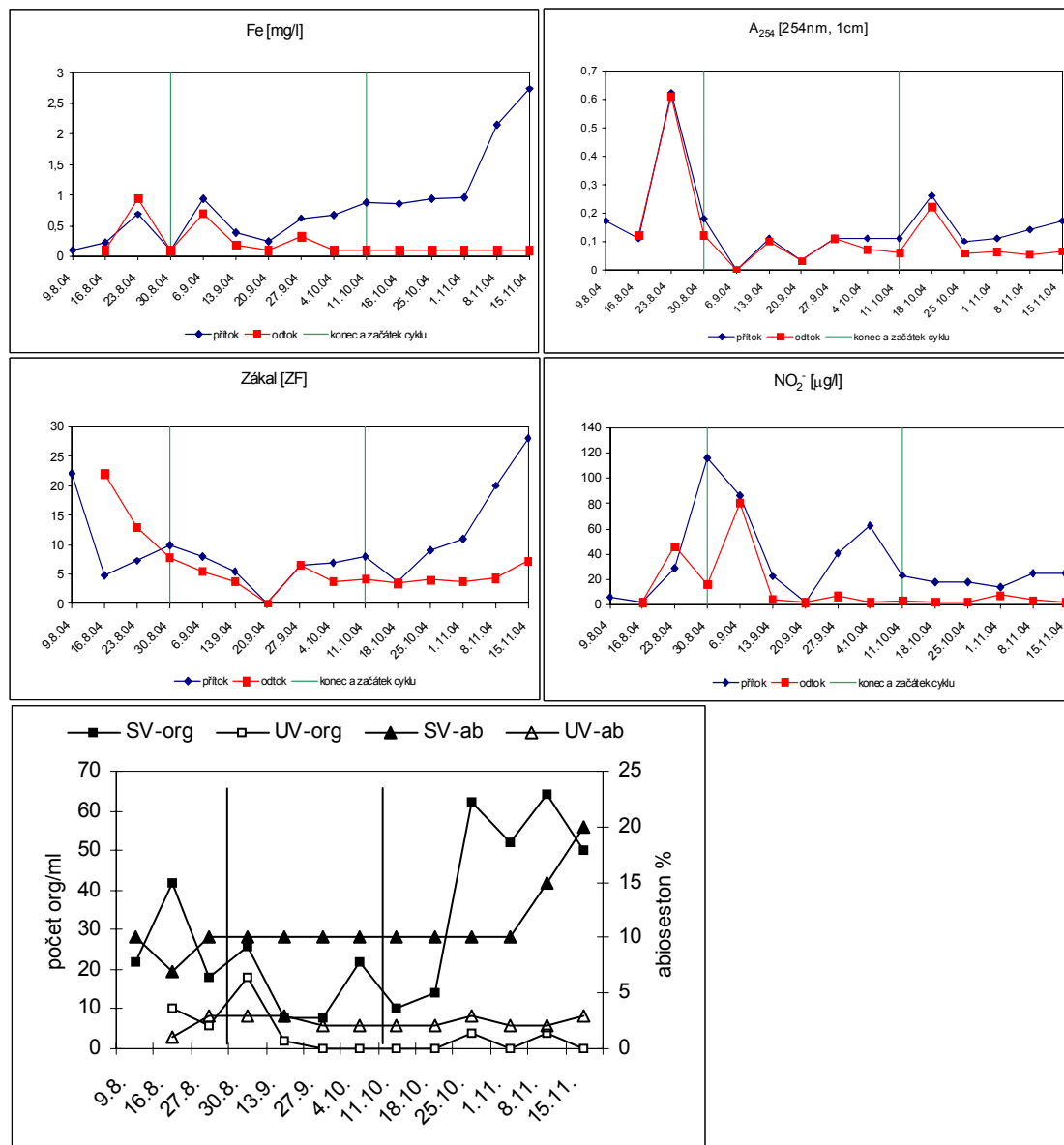
Výsledky biologického sledování bylo nutné vzhledem k posouzení účinnosti procesu biologické filtrace upravit. Zjištěné výsledky mikroskopických rozborů na vzorcích upravené vody účinnost celého procesu zkreslují v ukazateli živé mikroorganismy, kterými jsou zde zejména bezbarví bičíkovci a nálevníci. Tito heterotrofní prvoci indikují přísun organicky rozložitelného substrátu. V modelových zkouškách není počítáno s hygienickým zabezpečením, které by limitovalo výskyt heterotrofních prvků, tj. bezbarvých bičíkovců a nálevníků, tudíž v tabulce 1 byla tato skupina z výsledného hodnocení vyloučena [4].

Tabulka 1. Charakter biosestonu a abiosestonu během filtračních cyklů

Data odběrů během cyklů	Surová voda				Upravená voda	
	Bioseston org./ml		Abioseston %		Bioseston org./ml	Abioseston %
	kohout	nad textilií	kohout	nad textilií	výúst'	výúst'
1. cyklus	9.8.2004	22		10		
	16.8.2004	42		7	10	1
	27.8.2004	18	58	10	20-40	3
	30.8.2004	26	32	10	10	3
2. cyklus	6.9.2004	696		10	36	1-3
	13.9.2004	8	2	10	20	3
	20.9.2004	7 208	494	20	10	43
	27.9.2004	8	2	10	10	0
	4.10.2004	22		10		0
	11.10.2004	10	22	10	20	0
3. cyklus	18.10.2004	14		10		0
	25.10.2004	62		10		4
	1.11.2004	52	46	10	10	0
	8.11.2004	64	88	10-20	10-20	4
	15.11.2004	50	80	20	20-40	0

I když se nám během tří filtračních cyklů nepodařilo vytvořit klasickou „biologickou blánu“, která je charakteristická pro pomalé filtry a určuje jejich účinnost, byly docíleny zajímavé výsledky při odstranění železa, absorbance, zákalu a dusičnanů, viz obr. 8. Geotextilie jako podkladové médium se osvědčila, po jednotlivých cyklech postačovalo vyměnit geotextilii a nebylo nutné seřezávat horní vrstvu písku.

Obr. 8. Průběh charakteru obsahu železa, absorbance, zákalu, dusičnanů a biologického oživení v surové a upravené vodě během všech tří filtračních cyklů



Práce jejíž výsledky jsou zde publikovány byly řešeny v rámci projektu NAZV QD1004. Autorky děkují za poskytnuté finanční prostředky. Dále děkují pracovníkům SčVK a.s. za spolupráci při modelovém výzkumu a pracovníkům MITOP a.s. za poskytnutí geotextilií.

Použitá literatura

- [1] STRNADOVÁ, N. & JANDA, V. (1995): Technologie vody I.- Skriptum VŠCHT Praha: 274 pp.
- [2] TUČEK, F., CHUDOBA, J. & KONÍČEK, Z. (1977): Základní procesy a výpočty v technologii vody.- SNTL Praha: 496 pp.
- [3] HEREIT, F. (1973): Filtrace vody ve vodárenství.- Dům techniky ČVTS Pardubice: 134 pp.
- [4] HUBÁČKOVÁ, J., AMBROŽOVÁ, J. & MATULOVÁ, T. (2005): Biologická filtrace s podkladovým médiem.- Sbor. konf. Vodárenská biologie 2005, Praha 2.-3.2.2005: p. 6 - 10