

# Technologie kontinuálně provzdušňované biofilmové nitrifikace při úpravě podzemní vody na vodu pitnou

RNDr. Václav Dubánek<sup>1)</sup>, Jan Chvála<sup>2)</sup>  
FER&MAN Technology<sup>1)</sup>, Vodárenské technologie s.r.o.<sup>2)</sup>

---

## 1. Úvod

V přírodních podzemních a povrchových vodách využívaných ve vodárenství pro úpravu na vodu pitnou je výskyt zvýšených obsahů amonných iontů relativně častý. V současných podzemních vodách je nejčastějším zdrojem zvýšených koncentrací  $\text{NH}_4^+$  rozkládající se biomasa. Obvykle se koncentrace  $\text{NH}_4^+$  pohybují pod úrovní  $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$ , nejsou však výjimkou podzemní vody v nichž obsahy amonných iontů překračují hodnoty  $6 - 9 \text{ mg.l}^{-1}$ .

Přítomnost amonných iontů v upravované vodě významně snižuje účinnost hygienického zabezpečení chlorací v důsledku vzniku chloraminů. Za přítomnosti rozpuštěného kyslíku vznikají v síti bakteriální oxidací nežádoucí dusitany působící hygienickou nezpůsobilost upravené vody k pitným účelům.

Z výše uvedených důvodů je nezbytné snížit obsah amonných iontů v upravené vodě, přičemž obecně lze využít řady technologií.

## 2. Technologie používané pro odstraňování amonných iontů z pitné vody

K odstranění amonných iontů ze surové podzemní a povrchové vody lze použít fyzikálně-chemické a biologické postupy. U první skupiny metod přichází v úvahu iontová výměna a chemická oxidace.

### *Iontová výměna*

S využitím iontové výměny pro snižování obsahu amonných iontů z pitné vody jsou v České republice malé zkušenosti. Významnou nevýhodou iontové výměny je to, že koncentrace  $\text{NH}_4^+$  je oproti ostatním kationtům v roztoku relativně nízká a neselektivní katex pracující v  $\text{H}^+$  cyklu se vyčerpává konkurenčními kationty. Z úvodních technologických zkušeností vyplývá, že regeneraci  $\text{NH}_4^+$  katexové náplně je nezbytné provádět koncentrovanou  $\text{HCl}$ , což se nepříznivě odráží v obsluze a ekonomice provozu iontovýměnných zařízení.

Za potenciálně provozně výhodnější katex lze považovat aktivované nebo přírodní zeolity. Ve vodárenství není aplikace aktivovaných nebo přírodních zeolitů pro odstraňování zvýšených koncentrací amonných iontů zatím běžná, naproti tomu v průmyslovém a komunálním čistírenství se s ní střetáváme častěji.

### *Chlorace a ozonizace*

Odstraňování  $\text{NH}_4^+$  z pitných vod chlorací nebo ozonizací je založeno na oxidaci amonných iontů uvedenými činidly. Z metod chemické oxidace je v praxi nejběžnější chlorace, při níž amonné ionty oxidují až na dusík nebo oxid dusný. Vedlejším produktem chlorace jsou však páchnoucí di- a trichlor amíny, jejichž následný sorpční záchyt na aktivním uhlí je provozně velmi nákladný a často nespolehlivý.

Z provozních zkušeností s ozonizací  $\text{NH}_4^+$  vyplývá, že technologie při vyšších obsazích amonných iontů často nevykazuje požadovanou účinnost, stechiometricky je nevýhodná a ekonomicky nákladná.

## **Biologické metody**

Amonné ionty jsou oxidovány autotrofními nitrifikačními bakteriemi za přítomnosti ve vodě rozpuštěného kyslíku přes dusitany na dusičnany. Zjednodušeně lze chemickou bilanci vyjádřit rovnicí :



Reakce probíhá dvoustupňově za přispění striktně aerobních autotrofních bakterií rodů Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrospira, Nitrocystis a Nitrobakter.

Průběh dvoustupňové nitrifikační oxidace je podmíněn vhodným nosičem nitrifikační biokultury (biofilmu) a je přímo limitován koncentrací ve vodě rozpuštěného kyslíku, přičemž na nitrifikaci 1 mg  $NH_4^+$  je třeba asi 3,55 mg rozpuštěného  $O_2$ . Vzhledem k tomu, že koncentrace ve vodě rozpuštěného kyslíku je při teplotě podzemní vody a v rovnováze se vzduchem omezena na rozmezí  $\approx 9 - 11$  mg.l<sup>-1</sup> a kritická koncentrace  $O_2$  nezbytná pro průběh biofilmové nitrifikace je 2,0 – 2,5 mg.l<sup>-1</sup>, pak technologiemi pracujícími s jednoduchým systémem sycení surové vody vzduchem lze odstranit nejvýše  $\approx 2,5$  mg.l<sup>-1</sup>  $NH_4^+$ . Při nedodržení kritických požadavků nitrifikace obvykle probíhá pouze do 1. stupně za zvýšené tvorby nežádoucích dusitanů.

V porovnání předcházejícími fyzikálně-chemickými postupy je provozování biofilmové nitrifikace bezpečné a méně nákladné. Problémem je však stechiometrické omezení dané rozpustností vzdušného kyslíku v případě, že je nezbytné odstraňovat koncentrace amonných iontů vyšší než  $\approx 2,5$  mg.l<sup>-1</sup>.

Vzhledem k tomu, že zvýšením parciálního tlaku kyslíku např. dávkováním plynného  $O_2$  by vedlo k intoxikaci biofilmu je nezbytné intenzifikaci kyslíkové bilance řešit při normálním atmosférickém tlaku technickým uspořádání nitrifikačního systému.

V zásadě lze biofilmovou nitrifikaci podzemních nebo povrchových vod s vysokým obsahem  $NH_4^+$  technicky řešit :

- a) *recirkulací upravené vody*
- b) *vícestupňovým provzdušněním*
- c) *kontinuálním provzdušňováním*

V případě technického řešení biofilmové nitrifikace recirkulací, je část upravené vody směšována před provzdušňovačem s vodou surovou a tak dochází k jejímu naředění na mez zvládnutelnou jednostupňovým systémem. V tomto uspořádání je nezbytné zařadit vyrovnávací akumulaci z níž je čerpána upravená voda jak do sítě, tak k recirkulaci, což je v současnosti energeticky nákladné.

Vícestupňový systém zahrnuje sériově řazené provzdušňovače a bioreaktory, obvykle opět s meziakumulací pro přečerpávání. Ovládání akumulací je složité, přečerpávání opět energeticky relativně nákladné. Uvedený typ úpravy o výkonu 6 l.s<sup>-1</sup> byl realizován v roce 1999 na lokalitě Hevlín, provozovatel VAS a.s., divize Znojmo.

Technologicky pravděpodobně nejefektivnější uspořádání biofilmové nitrifikace je kontinuálně provzdušňovaný biofilmový reaktor (souproudem, protiproudem). Upravovaná voda prochází bionitrifikačním reaktorem, který je kontinuálně sycený stechiometrickým přebytkem vzdušného kyslíku, přičemž nitrifikací spotřebovaný kyslík se průběžně doplňuje z dosud nerozpuštěného přebytku.

Biofilmový reaktor lze řešit jako klasické filtrační lože nebo jako fluidní systém. Značnou úsporu pořizovacích nákladů představuje menší nárok na filtrační plochu bioreaktoru (více než o polovinu oproti přecházejícím variantám).

Úpravna vody založená na kontinuálně provzdušňované biofilmové nitrifikaci byla realizována počátkem roku 2001 v Hrušovanech nad Jevišovkou, provozovatel

technické služby města. Vzhledem k tomu, že jde o první provozní realizaci uvedeného typu úpravy v České republice přibližíme si technologické a technické řešení úpravy vody v následujícím textu.

### 3. Úpravna vody Hrušovany nad Jevišovkou

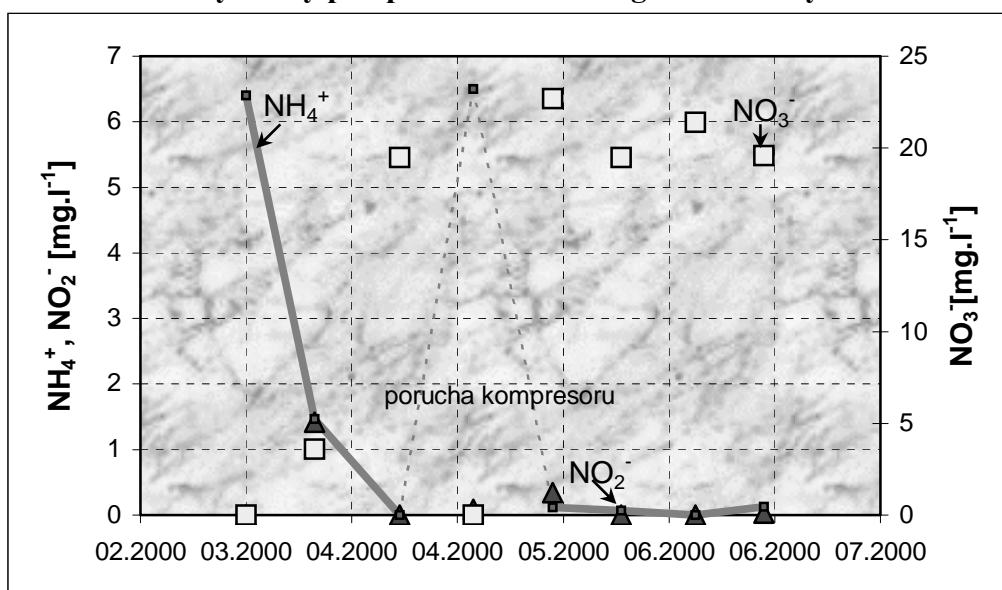
#### *Technologická příprava – poloprovozní zkoušky*

S přihlédnutím k malým technologickým zkušenostem s kontinuálně provzdušňovanou biofilmovou nitrifikací v České republice bylo provedeno šestiměsíční poloprovozní ověření navrženého systému. Poloprovozní technologické zkoušky probíhaly ve spolupráci s provozovatelem městského vodovodu v období od 15.3.2000 do 5.7.2000.

V experimentálním zařízení byl jako nosič nitrifikačních bakterií použit běžný  $MnO_2$ -preparovaný vodárenský písek zrnitosti 1,0 – 1,6 mm a výšce vrstvy 1,6 m doplněný o rozvodnou hydraulickou vrstvu z kačírku 4 – 8 mm a zatížený kačírkovou vrstvou 2 – 4 mm. Celková výška filtrační náplně 1,8 m, filtrační plocha 0,0167 m<sup>2</sup>.

V průběhu poloprovozního ověření byla surová voda byla vedena v množství 0,5 - 0,6 l.min<sup>-1</sup> do biofilmového reaktoru a provzdušňovaná sou proudem vzduchu z nízkotlakého kompresoru v množství ÷ 4 - 8 l.min<sup>-1</sup>.

**Obr.1. Výsledky poloprovozní technologické zkoušky.**



Surová podzemní voda vykazovala silně alkalickou reakci (pH ÷ 8,5), byla velmi měkká (celková tvrdost ÷ 0,3-0,6 mmol.l<sup>-1</sup>). Surová voda měla zvýšenou celkovou mineralizaci (0,7 – 0,8 g.l<sup>-1</sup>), na které se podílely zejména ionty Na<sup>+</sup> a HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Obsahy dalších kationtů a aniontů jsou relativně nízké. Teplota podzemní vody je oproti standardním podmínkám asi o 3 °C vyšší a činí 13 – 14 °C, což je výhodné pro biologickou nitrifikaci. Obsah rozpuštěného O<sub>2</sub> < 0,5 mg.l<sup>-1</sup>.

Surová podzemní voda překračovala MH vyhl. 376/2000 Sb. zejména v koncentraci amonných iontů (6,2 – 7,2 mg.l<sup>-1</sup>) a MH pro Fe (až 0,62 mg.l<sup>-1</sup>). Výsledky poloprovozní zkoušky uvádíme na obr. 1.

Při předpokladu konstantní růstové rychlosti nitrifikačních bakterií a koncentrace rozpuštěného kyslíku lze odhadovat rychlostní konstantu nitrifikace - rovnice pro reakční kinetiku I. řádu, a to v rozmezí 8,6 – 9,5 hod<sup>-1</sup>.

Na základě příznivého výsledku poloprovozního ověření technologické účinnosti biofilmové nitrifikace v Hrušovanech nad Jevišovkou byla navržena úpravárenská technologie v maximální kapacitě  $7 \text{ l.s}^{-1}$  a přípustné koncentraci amonných iontů v surové podzemní vodě  $<10 \text{ mg.l}^{-1}$ .

### **Technické řešení**

Dosavadní technologie odstraňování znečištění pitné vody amonnými ionty byla založena na chloraci koncentrovaným roztokem chlornanu sodného do bodu zvratu při úpravě pH thiosíranem sodným.

Tato chlorační deamonizace byla dostatečně účinná, avšak mimořádně nákladná (vysoká dávka  $\text{NaClO}$ ) a provozně problematická (vysoké dávky chloru a nebezpečí průniku do sítě, trvalá obsluha). Současně s vysokými dávkami  $\text{NaClO}$  docházelo ke zvýšené korozi technologického zařízení, elektrovýzbroje a stavebních prvků armaturní komory vodojemu, kde byla technologie umístěna.

Z výše uvedeného důvodu město Hrušovany nad Jevišovkou rozhodlo o realizaci alternativní technologie deamonizace, která by byla technologicky a ekonomicky příznivější.

Na základě příznivých výsledků poloprovozní zkoušky bylo přistoupeno k realizaci technologie kontinuálně provzdušňované biofilmové nitrifikace vestavbou do armaturního objektu vodojemu  $2 \times 650 \text{ m}^3$  (obr.2).

**Obr.2. Armaturní objekt vodojemu  $2 \times 650 \text{ m}^3$   
v Hrušovanech nad Jevišovkou.**



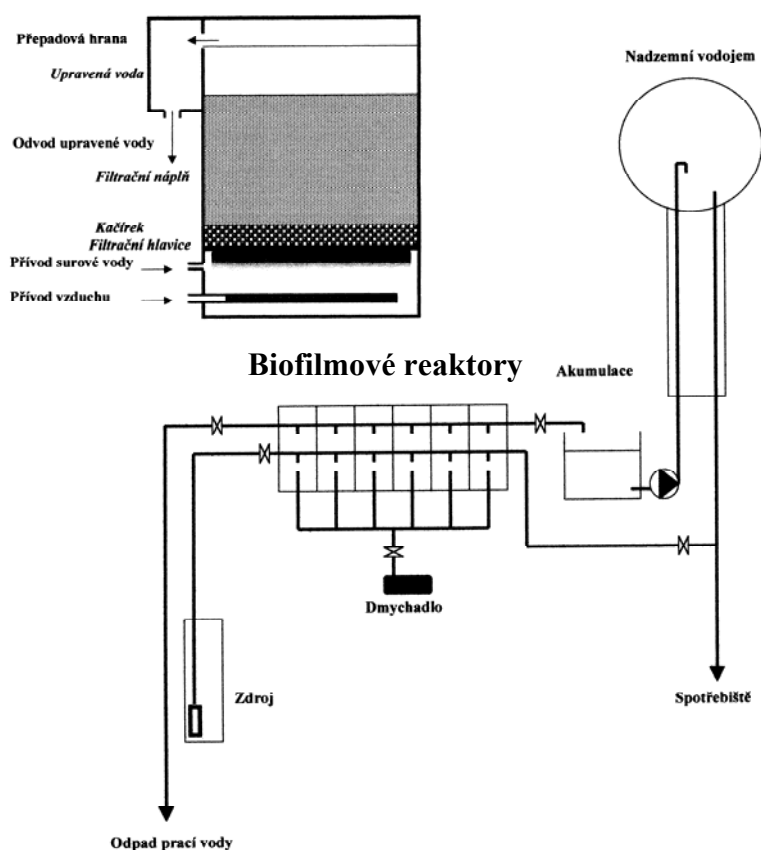
Vlastní technické řešení úpravy vody spočívalo zejména v umístění technologie z důvodu snížení investičních nákladů do stávajícího objektu úpravy. Zástavbové rozměry místnosti armaturního objektu určené pro umístění technologie (obr.2.) byly pouze  $8,0 \times 5,5 \text{ m}$ . Proto bylo nezbytné rozměry bioreaktorů přizpůsobit rozměrům zástavbovým včetně dostatečného prostoru pro obsluhu.

V průběhu projektových prací jsme se soustředili zejména na řešení následujících problémů :

- *Dostatečné a rovnoměrné provzdušnění filtrační náplně - nosiče nitrifikačních bakterií v celé ploše a výšce.*

- Zachování separačních vlastností náplně s ohledem na průtočné množství vzduchu a surové vody.
- Řešení ukotvení oxigenačních jednotek v mezidně reaktoru s ohledem na tlakové rázy při praní filtrační náplně.
- Návrh prostorového uspořádání umožňujícího snadný přístup k oxigenačním jednotkám pro jejich kontrolu a případnou výměnu z důvodu opotřebení či poruchy.

**Obr. 3. Obecné technologické schéma úpravní vody v Hrušovanech nad Jevišovkou a detail biofilmového reaktoru.**



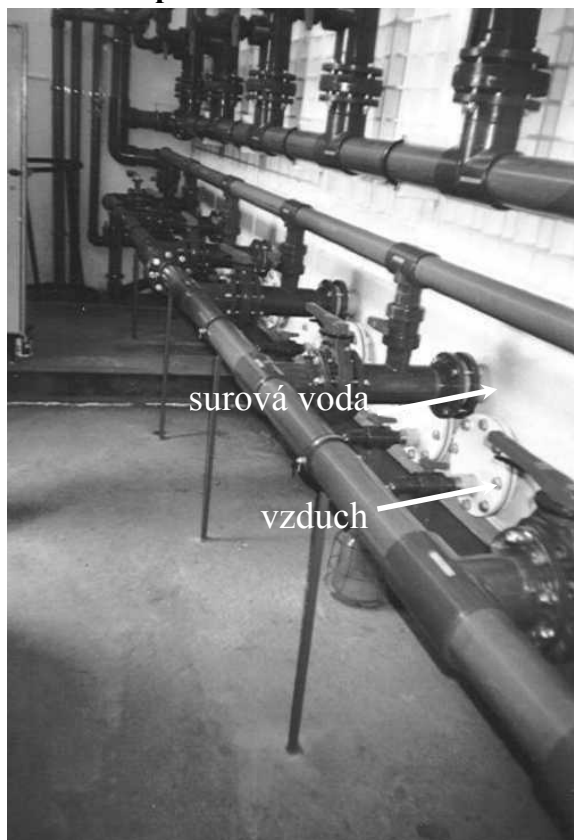
### **Popis technologického systému**

Orientační technologické schéma úpravní vody uvádíme na obr.3. Surová voda s vysokým obsahem amonných iontů je ze zdroje čerpána v množství až  $7 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  do úpravní vody. Zde je indukčním průtokoměrem snímáno čerpané množství a pomocí regulačního ventilu upravováno na požadovanou hodnotu. Dále je voda potrubním systémem rozvedena k šesti samostatným atypickým bioreaktorům s typovým označením FOP 1,8 – BIO o celkové ploše  $10,8 \text{ m}^2$  (obr.4.).

Základ biofilmové nitrifikační jednotky tvoří otevřený plastový filtr ( detail viz.obr.3.) plochy  $1,8 \text{ m}^2$  s implementovanou oxigenační jednotkou do mezidna filtru. Jako filtrační náplň a nosič nitrifikačních bakterií byl použit stejně jako při poloprovozním pokusu běžný  $\text{MnO}_2$  – preparovaný písek zrnitosti  $\varnothing 2,0 \text{ mm}$  a výšce vrstvy  $1,6 \text{ m}$  doplněný o rozvodnou hydraulickou vrstvu z kačírku  $4 - 8 \text{ mm}$  a zatížený kačírkovou vrstvou  $2 - 4 \text{ mm}$ .

Surová voda je přiváděna do mezidna bioreaktoru k tomuto účelu přizpůsobenému. Zde je též zaústěn tlakový vzduch přiváděný od dmyhadla do oxigenační jednotky o vypočtené intenzitě aerace  $< 5,0 \text{ l.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$ .

**Obr.4. Detail spodní části nitrifikačních reaktorů.**



Surová voda v souprůdu se vzduchem prochází nejdříve volnou spodní částí mezidna. Zde dochází k primárnímu přesycení  $\text{O}_2$  upravované vody jemnobublinnou aerací. Do přepážky mezidna jsou namontovány filtrační hlavice, kterými je voda se vzduchem přiváděna do rozvodné vrstvy kačírku, která rovnoměrně rozdělí vzduch po celé ploše reaktoru.

Filtrační náplň voda prochází zdola-vzhůru. Při průchodu náplní dochází k dalšímu postupnému sycení vody kyslíkem a k záchytu suspendovaných částic. Upravená voda je odváděna gravitačně přes přepadovou hranu potrubím do akumulární nádrže. Do potrubí je zaústěno dávkování koncentrovaného  $\text{NaClO}$  pro hygienické zabezpečení. Z akumulární nádrže je voda pomocí čerpadel čerpána do nadzemního vodojemu a z něj gravitačně distribuována do rozvodné sítě.

Praní bioreaktorů je prováděno postupně výhradně vodou v intenzitě  $10 \text{ l.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$ , a to v intervalu 3 týdnů. Prací voda je přiváděna gravitačně z nadzemního vodojemu.

#### **4. Zkušební provoz úpravny**

Zkušební provoz úpravny vody byl zahájen 9.5.2001 a ukončen k 9.11.2001 tj. po 6 měsících. V průběhu zkušebního provozu se podařilo prokázat dostatečnou technickou i technologickou spolehlivost navrženého systému.

V intervalech 14 dnů byla prováděna řídicím technologem kontrola nastavení úpravny a odběr technologických vzorků surové a upravené vody se zaměřením na stanovení barvy, zákalu, koncentrace  $\text{Fe}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  a mikrobiálního znečištění před chlorací. Certifikáty analytických rozborů jsou uloženy u provozovatele.

Nezávisle ověřený maximální výkon úpravní v průběhu zkušební provozu byl  $6,3 \text{ l.s}^{-1}$ , provozovatel upravoval koncem července 2001  $7,0 \text{ l.s}^{-1}$  s drobnými výkyvy v jakosti, které měly tendenci k ústupu s délkou provozu (zpracování).

Během zkušební provozu se nevyskytly vážnější technické závady na instalovaném zařízení, jakost vody na výstupu po měsíčním zpracování vyhovovala požadavkům vyhl. 376/2000 Sb., a to jak v ukazateli amonné ionty, tak i v dalších sledovaných ukazatelích  $\text{NO}_2^-$ , Fe,  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  a mikrobiologických ukazatelích. Koncentrace amonných iontů v surové vodě se v průběhu zkušební provozu pohybovala v rozmezí  $5 - 7 \text{ mg.l}^{-1}$ .

Řídké technologické výpadky týkající se výhradně produkce dusitanů v max. koncentraci  $<0,7 \text{ mg.l}^{-1}$  (v technologii následně oxidovaných dávkou NaClO) byly většinou ve vazbě na občasné provozní obtíže (technologická nekázeň obsluhy).

Na základě zkušební provozu bylo prokázáno, že náhlé změny průtoku biofilmovými reaktory vedou k dočasnému zhoršení jakosti upravené vody, která se do 2 – 3 dnů opět zlepší po adaptaci nitrifikační kultury na vyšší množství  $\text{NH}_4^+$ .

**Tabulka 1. Výsledek kontrolního rozboru surové a upravené vody ze dne 16.10.2001 odebraného v rámci zkušební provozu.**

stanovení	jednotky	surová	upravená	nejist.
koliformní bakterie	KTJ/100 m	0	0	20 %
enterokoky - fekální	KTJ/100 m	0	0	10 %
mezofilní bakterie	KTJ/ml	1	12	30 %
psychofilní bakterie	KTJ/ml	6	19	20 %
dusičnany	mg/l	<1	20,5	10 %
barva	mg/l Pt	<1	<1	15 %
zákal	ZF	<1	<1	15 %
železo - Fe	mg/l	0.12	<0.1	13 %
amonné ionty	mg/l	5.65	<0.05	15 %
dusitany	mg/l	<0.01	<0.01	10 %
Escherichia coli	KTJ/100 m	0	0	

## 5. Závěr

Na základě dosavadních zkušeností lze považovat technologii kontinuálně provzdušňované biofilmové nitrifikace při úpravě pitné vody za perspektivní technologické řešení v případech, že je nezbytné upravovat podzemní nebo povrchové vody s vysokým obsahem amonných iontů.

S přihlédnutím na omezené provozní zkušenosti 8 měsíců lze konstatovat, že jde o technologii provozně spolehlivou a obslužně nenáročnou. Za období zkušební provozu lze úsporu provozních nákladů odhadovat v rozmezí 100 – 150 000,- Kč v porovnání s předcházející chlorační technologií, a to bez častých problémů s přechlorováním pitné vody v distribuční síti.