

ZMĚNA BIOLOGICKÉ STABILITY PITNÉ VODY

**doc. Ing. Nina Strnadová, CSc., Ing. Lucie Černá, Ph.D.,
Ing. Zuzana Hladíková**

VŠCHT Praha, Technická 5, 166 28 Praha 6
nina.strnadova@vscht.cz

Úvod

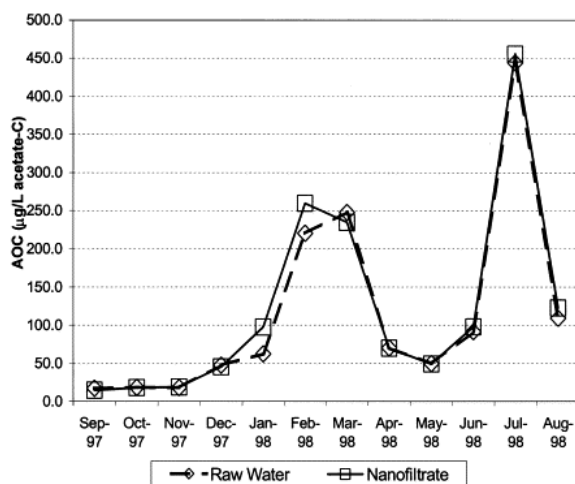
Biologická stabilita pitné vody je definována jako míra odolnosti pitné vody proti rozvoji mikroorganismů a tvorbě biofilmů při její výrobě, akumulaci a distribuci. Biologicky stabilní voda by měla obsahovat minimální koncentrace rozložitelných organických látek, aby ani při dlouhé době zdržení v distribuční síti, ani při vyšší teplotě aj. nedocházelo k růstu a rozmnožování mikroorganismů [1]. Sekundární pomnožování mikroorganismů (tzv. regrowth) včetně potenciálně patogenních typů a tvorba biofilmů na vnitřním povrchu potrubí, na stěnách komor vodojemů a dalších zařízeních ve vodárenských rozvodných sítích i na úpravnách je považováno za projevy právě nedostatečné biologické stability vody [2].

Růst bakteriální biomasy v pitné vodě při její výrobě i distribuci může vést ke snížení kvality vody, porušení legislativních limitů a v důsledku toho pak k nárůstu provozních nákladů. Produkce biologicky stabilní pitné vody závisí na zdroji surové vody a účinnosti technologické linky úpravny vod. Biologická nestabilita vody může být ale také způsobena průnikem organických látek vodárenskou úpravou, průnikem bakterií, vyšších organismů (biosestonu), či zvýšenou koncentrací amoniakálního dusíku, železa a manganu. Amonné ionty jsou v distribučním systému živinou pro chemolitotrofní nitrifikační bakterie, které získávají energii oxidací atomu dusíku. Zdrojem uhlíku je rozpuštěný oxid uhličitý. Organická hmota, vytvořená těmito bakteriemi a bakteriemi oxidujícími železo a mangan, je zdrojem uhlíku pro organotrofní bakterie, které se vyznačují podstatně kratší generační dobou a rychlejším růstem. Biofilmy na vnitřních stěnách potrubí, ale i na stěnách různých zařízení při výrobě pitné vody, dále i sekundárně pomnožená bakteriální biomasa volné vody, zvyšují obsah organických látek a tím i spotřebu desinfekčního činidla, především chloru v rozvodné síti. Dochází rychleji ke snížení či absenci koncentrace aktivního chloru, který je nutný pro hygienické zabezpečení pitné vody. Jasným důsledkem je pak snížená biologická stabilita vody.

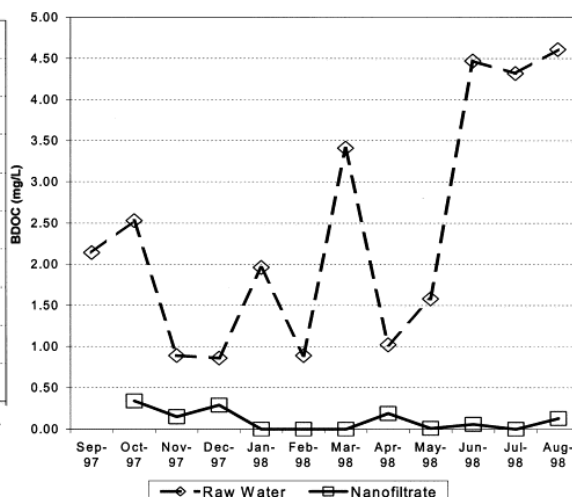
Mezi nejčastěji používané metody pro hodnocení biologické stability vody patří stanovení ukazatelů **AOC** a **BDOC**. Přestože vychází ze společného konceptu, jsou tyto metody odlišné a mají i jinou vypovídací úroveň [3]. Ukazatel AOC (asimilovatelný organický uhlík) vyjadřuje tu část biodegradabilních organických látek, které mohou být využity specifickými kmeny či definovanými směsnými kulturami bakterií *Pseudomonas Fluorescencens* – P17 a *Spirillum* – NOX. Uvádí se v µg/l a vyjadřuje nárůst jejich biomasy v důsledku organických látek přeměněných nebo inkorporovaných do samotné buněčné hmoty [3, 4, 5]. AOC tedy obecně tvoří jen malou část TOC (celkového organického uhlíku), přibližně 0,1-9,0 %. Druhý ukazatel BDOC (biologicky rozložitelný rozpuštěný organický uhlík) je ta část organického uhlíku, která ve vodě podléhá mineralizaci organotrofními mikroorganismy a vyjadřuje se pomocí koncentrace rozpuštěného organického uhlíku (DOC) v mg/l. Ukazatel BDOC má význam i pro

modelování bakteriální aktivity ve vodních ekosystémech. Bylo prokázáno, že pro posuzování růstu a aktivity organotrofních mikroorganismů je vhodnější než samotné stanovení hodnoty AOC, protože jen malá část DOC je využitelná autochtonními mikroorganismy. Většina organických látek v povrchových vodách je bakteriemi rozložitelná omezeně [6].

Při hodnocení a porovnávání těchto dvou metod, AOC a BDOC, je důležité uvědomit si účel hodnocení. Pokud je cílem zjištění potencionálního bakteriálního nárůstu, pak je vhodné měření bakteriální biomasy a v souvislosti s tím parametr AOC. Pokud je zájem soustředěn např. na ev. možný vznik vedlejších produktů chlorace, potom je vhodné stanovení DOC a následně stanovení BDOC (diferenčně pomocí DOC). Jedná se o zjištění obsahu zbytkových organických látek, pomocí kterých se usuzuje na biologicky oxidovatelné organické sloučeniny. Jak bylo uvedeno, každý ukazatel vyjadřuje různým způsobem biologickou stabilitu vzorku vody, tudíž ideálním řešením by bylo stanovení obou zmiňovaných ukazatelů. Zajímavé je zjištění, že např. nanofiltrací je odstraněno 90 % BDOC, zatímco většina AOC do filtrátu prochází (obr. 1 a 2). Důležitá je také informace, že zařazením ozonizace do technologie úpravy vod došlo k nárůstu AOC o 127 %, hodnota BDOC se však zvýšila jen o 49 % [6]. Z uvedeného vyplývá, že stanovením pouze jednoho ze dvou popisovaných ukazatelů může docházet k podhodnocení či nadhodnocení míry potencionálního bakteriálního rozvoje ve vodách. Nicméně vzájemná korelace mezi výsledky těchto dvou metod nebyla prokazatelně stanovena [3, 6].



Obr. 1. Hodnota AOC surové vody a nanofiltrátu (10)



Obr. 2. Hodnota BDOC surové vody a nanofiltrátu (10)

Existuje však významná korelace mezi hodnotou AOC a množstvím organotrofních bakterií v distribučním systému [6]. Obdobně je uváděno, že růst koliformních bakterií je limitován nižší hodnotou AOC, a sice menší než 50-100 µg/l v systému obsahujícím 3-6 mg/l zbytkového chloru [7].

Metody založené na stanovení AOC nedoznávají v ČR významného zastoupení. Jejich hlavní nevýhodou je použití a dostupnost inokula čistých bakteriálních kmenů. Smíšené bakteriální populace (používané pro stanovení BDOC) účinněji využívají směs přírodních organických molekul než čisté bakteriální kmeny. Jsou snadněji dostupné, nepotřebují specifickou preparaci, skladování a dopravu [8]. Metoda stanovení AOC klade vyšší nároky na odbornost laboratorních pracovníků [9]. VÚV T. G. Masaryka v Praze ve spolupráci s matematicko-fyzikální fakultou Univerzity Karlovy v Praze optimalizuje

metodu stanovení AOC s využitím optické detekce na principu měření zákalu růstu mikroorganismů (jedná se o bezkontaktní a neinvazivní metodu).

Podíl biodegradabilního organického uhlíku představuje 10-30 % celkového rozpuštěného organického uhlíku obsaženého v pitné vodě [10]. Jako maximální hodnota pro biologicky stabilní vodu je uváděno 0,15 mg/l, a to i za podmínek nepřítomnosti zbytkového chloru v pitné vodě [11]. Tato hodnota se vztahuje k teplotě vody 20°C, pro teplotu 15°C je uváděna hodnota BDOC 0,30 mg/l. Na základě posouzení vzájemného vztahu mezi ukazatelem BDOC a počtem kultivovatelných bakterií při 20 °C lze při současném hygienickém zabezpečení uvažovat až s hodnotou 0,60 mg/l [12].

Ukazatele AOC a BDOC jsou dva odlišné pojmy, které se nevyklučují, spíše spolu úzce souvisejí a doplňují se. Převážný podíl BDOC je tvořen organickými látkami o vyšších molekulových hmotnostech (fulvinové a humínové kyseliny), AOC pak tvoří především dobře biologicky rozložitelné látky o nižších molekulových hmotnostech.

Obecně tudíž biologická stabilita vody mimo výše uvedené může být dále ovlivněna skladováním vzorku, koncentrací zbytkového chloru a přítomností nutrientů v pitné vodě a v neposlední řadě samotnou koncentrací organických látek.

Posledně uvedená přítomnost snadno rozložitelných organických látek je mnohdy důsledkem použitého způsobu hygienického zabezpečení, především ozonizace. Při ozonizaci vody dochází ke štěpení organických látek na jednodušší, které se projevují právě zvýšením hodnoty BDOC.

Jak již bylo výše uvedeno, představuje ukazatel BDOC biodegradabilní podíl rozpuštěného organického uhlíku (DOC) ve vodě, který je asimilován nebo mineralizován přítomnými bakteriemi. Představuje asi třetinu celkového DOC a je tvořen většinou huminovými látkami a polysacharidy. Pro stanovení hodnot BDOC uvedených v článku byla použita Servého 28 denní metoda (kultivace při 20 °C) spočívající v inokulaci 100 ml vzorku 1 ml směsné kultury autochtonních bakterií. Servais také jako limitní hodnotu pro udržení biologické stability vody navrhl hodnotu BDOC 0,15 mg/l [11]. Protože jsou však hodnoty BDOC závislé na mnoha faktorech, jako je teplota testované vody, kvalita samotného vodního zdroje, koncentrace zbytkového dezinfekčního činidla, je lépe udávat tuto limitní hodnotu pro ukazatel BDOC v intervalovém rozpětí, nejčastěji až do hodnoty 0,60 mg/l.

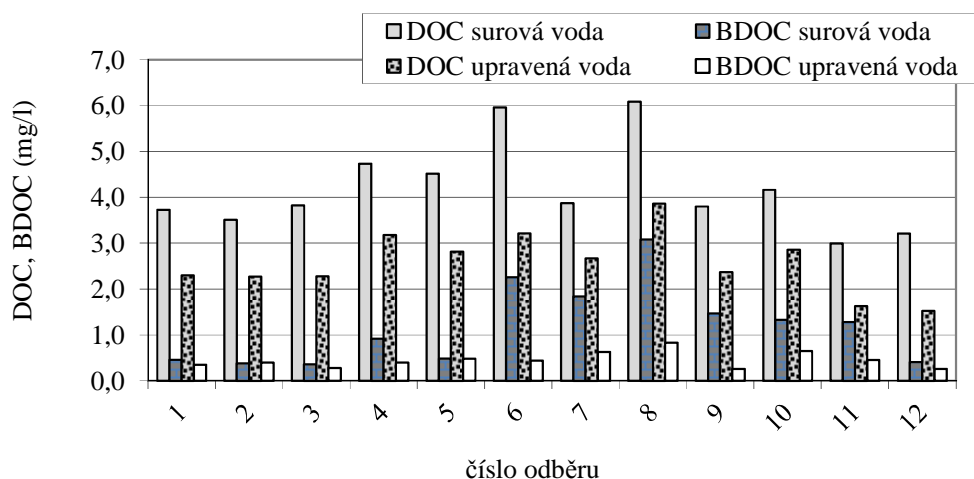
Cílem níže uváděných výsledků je právě skutečnost poukazující na vztah hodnoty ukazatele BDOC, vyjadřujícího biologickou stabilitu vody a použitých způsobů hygienického zabezpečení – chlorace, ozonizace a oxidu chloričitého.

Výsledky

vodní zdroj povrchová voda – hygienické zabezpečení chlorem a ozonem

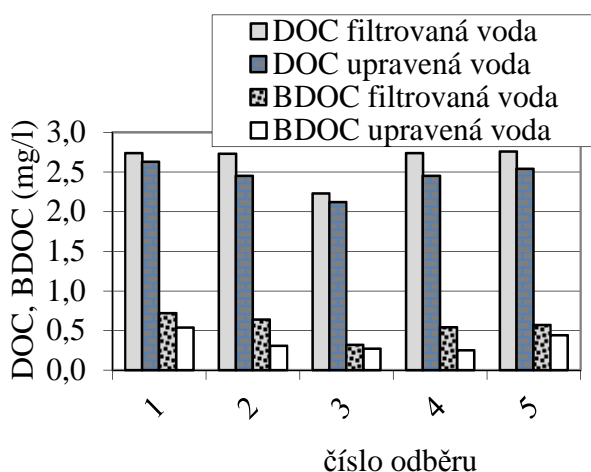
Pitná voda je vyráběna jednostupňovou úpravou, koagulant je síran hlinitý, hygienické zabezpečení je provedeno pomocí chloru, při dopravě vody je využito akumulčních prostor vodojemů.

Hodnoty DOC a BDOC z ročního sledování surové a upravené vody na úpravně A (odběry byly prováděny jednou za měsíc) jsou uvedeny na obr. 3.

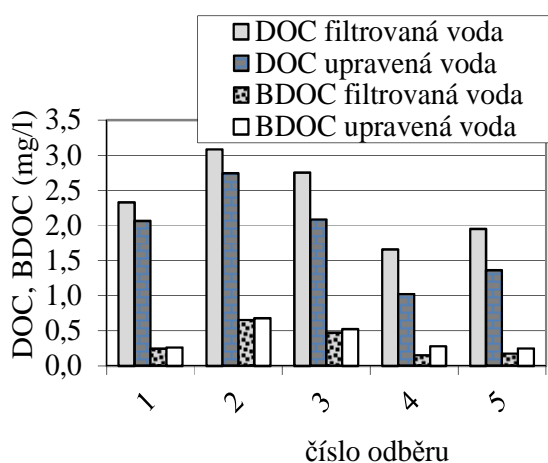


Obr. 3. Hodnoty DOC a BDOC na úpravně A

Z obrázku je zřejmé, že hodnoty BDOC kopírují trend naměřených koncentrací DOC jak v surové, tak v upravené vodě. Na stejné úpravně, pak s odstupem času bylo použito hygienické zabezpečení ozonem. Zdroj vody i technologická skladba byly stejné. Na obr. 4 jsou hodnoty uvedené pro hygienické zabezpečení chlorem, na obr. 5 pak ozonem. Porovnáním obou obrázků můžeme konstatovat, že koncentrace DOC se v upravené vodě více sníží při použití ozonizace, ale dochází cca k 5% navýšení hodnoty BDOC. Lze tudíž konstatovat, jak bylo i výše z literárních údajů uvedeno, že ozonizace přispívá k jistému, byť nepatrnému zhoršení biologické stability vody [13].



Obr. 4. Hodnoty DOC a BDOC -HZ chlorem



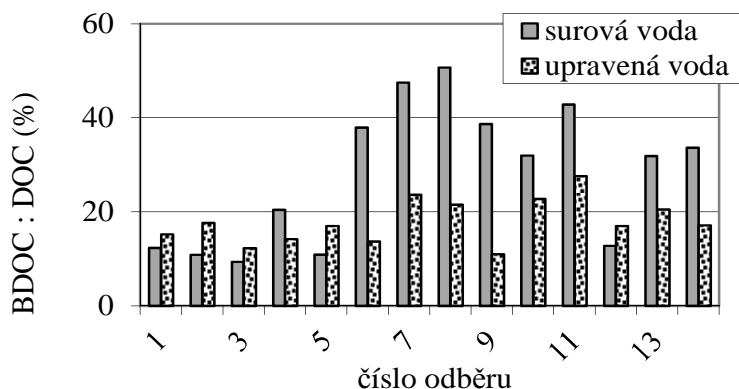
Obr. 5. Hodnoty DOC a BDOC -HZ ozonem

Zajímavé je sledování hodnoty BDOC v distribuční síti, především na přítocích a odtocích z vodojemů, kde se také projevuje mírné navýšení ukazatele BDOC, pravděpodobně v důsledku určité doby zdržení a kolísání hladiny vody ve vodojemu. Např. na odtoku z vodojemů v distribuční síti úpravně A bylo zjištěno navýšení hodnot BDOC cca o 5 až 7%.

Nejvyšší hodnoty BDOC ve vodojemech byly získány převážně na konci jarního období a v letních měsících, nejnižší naopak v měsících zimních.

Pro hodnocení biologické stability vody je potřeba znát nejen hodnotu BDOC, ale také poměrnou hodnotu BDOC : DOC. Na základě této hodnoty můžeme usuzovat na

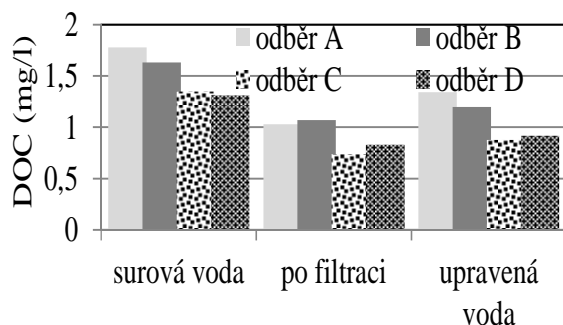
možnost porušení biologické stability vody. Čím je hodnota poměru nižší, tím vyšší je odolnost vody proti tvorbě biofilmů, resp. je menší obava z porušení a zhoršení biologické stability vody. Na úpravně vody A – obr. 6 se poměrná hodnota pohybovala u surové vody v rozmezí 9-50% a pokles byl významný v zimních měsících. V upravené vodě byla hodnota poměru vyrovnanější, dosahovala hodnot 10 – 22 %, průměrná hodnota i medián pro upravenou vodu byly stejné, představovaly 17%.



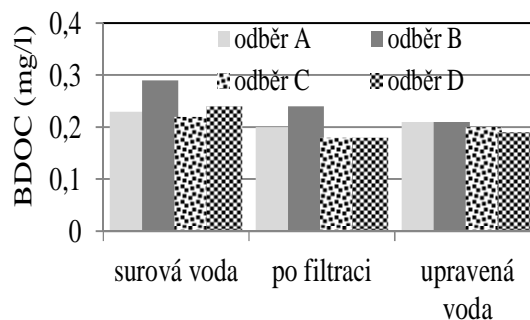
Obr. 6. Hodnoty poměru BDOC a DOC na úpravně A

vodní zdroj povrchová voda – hygienické zabezpečení oxidem chloričitým

Pitná voda je vyráběna jednostupňovou úpravou, koagulant je PAX18, hygienické zabezpečení je provedeno pomocí oxidu chloričitého a voda je upravována do vápenatouhličitanové rovnováhy. Byly provedeny 4 odběry (A, B, C, D) a pro účely článku byla hodnocena kvalita surové vody, vody po filtraci (před hygienickým zabezpečením) a následně po hygienickém zabezpečení – viz obr. 7 a 8.



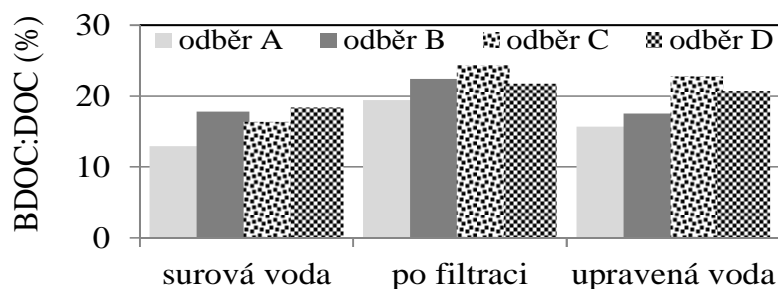
Obr. 7. Hodnoty DOC – úpravna B -HZ oxidem chloričitým



Obr. 8. Hodnoty BDOC – úpravna B -HZ oxidem chloričitým

Z obrázků je zřejmá poměrně stabilní kvalita jak surové, tak upravené vody. Vyrovnané jsou i hodnoty BDOC upravené vody. Ve srovnání s úpravnou A je třeba upozornit, že na úpravně B je používána vysoce kvalitní surová voda. Tento fakt pak jedinečně podtrhuje i v úvodu naznačené tvrzení, že posuzování biologické stability vody je významně závislé i na kvalitě vodního zdroje. Svědčí o tom i nízká hodnota poměru BDOC:DOC – viz obr. 9, která je u surové vody nižší než u vody po některém z technologických stupňů. Vzhledem k tomu, že hygienické zabezpečení na úpravně B je prováděno oxidem chloričitým, lze z předložených výsledků konstatovat, že

biologická stabilita vody není způsobem HZ ovlivněna, poměrná hodnota BDOC:DOC je dokonce u vody ošetřené ClO₂ nižší.



Obr. 9. Hodnoty poměru BDOC a DOC na úpravě B

Závěr

Na základě předložených výsledků ze dvou reálných úprav vody A a B lze usuzovat na snížení biologické stability vody při použití hygienického zabezpečení ozonem (snížení biologické stability vody, cca o 5 – 7%). Ve vyrobené pitné vodě byla prokázána vyšší hodnota BDOC oproti vodě ozonem neošetřené. Tento fakt je možné vysvětlit štěpením organických látek ozonem na jednodušší molekuly, které jsou lépe využitelné testovacím inokulem. Důsledkem je snížení koncentrace DOC v testovaném vzorku vody, resp. zvýšení hodnoty BDOC. Hygienické zabezpečení vody pomocí chloru či oxidu chloričitého nemělo na změnu hodnoty BDOC vliv.

Literatura

1. Sládečková, A.: Faktory ovlivňující biologickou stabilitu vody při úpravě a distribuci, Sborník IV. mezinárodní konference VODA Zlín 2000, 43-49, (2000).
2. Kavalír, P.: Stanovení biologické stability vody v rozvodné síti, Aktuální otázky vodárenské biologie, Praha, (1996).
3. Charnock C., Kjønng O.: Assimilable Organic Carbon and Biodegradable Dissolved Organic Carbon in Norwegian Raw and Drinking Water, *Wat. Res.*, 34, 2629-2642, (2000).
4. Ambrožová, J.: Aplikovaná a technická hydrobiologie, Vydavatelství VŠCHT, Praha, (2003).
5. Servais P., Billen G., Hascoet M.C.: Determination of the Biodegradable Fraction of Dissolved Organic Matter in Waters, *Wat. Res.*, 21, 4, 445-450, (1987).
6. Escobar I. C., Randall A. A.: Assimilable Organic Carbon (AOC) and Biodegradable Dissolved Organic Carbon (BDOC): Complementary Measurements, *Wat. Res.*, 35, 4444-4454, (2001).
7. LeChevallier M. W., Badcock T. M., Lee R. G.: Examination and Characterization of Distribution System Biofilms, *Appl. Environ. Microbiol.*, 53, 2714-2724, (1987).
8. Karácsonyová M., Büchlerová E.: Hodnotenie biologickej stability pitnej vody, *Vodní hospodářství*, 1, 17-19, (2006).
9. Baudyšová D., Váňa M.: Metody stanovení asimilovatelného organického uhlíku, Sborník konference Pitná voda 2012, 21. - 24. 5. 2012, Tábor, (2012).
10. Joret J.C., Levy Y., Volk C.: Biodegradable Dissolved Organic Carbon (BDOC) Content of Drinking Water and Potential Regrowth of Bacteria, *Water Sci. Technol.* 2, 95-101, (1991).
11. Servais P., Billen G., Laurent P., Levi Y. and Randon G.: Bacterial regrowth in distribution systems, *Proceedings AWWAWQTC Conference, FL*, 7.-10.11. 1993, Miami, (1993).
12. Strnadová N., Němcová M., Hušková R.: Hodnocení kvality vody v pražské distribuční síti z pohledu ukazatele BDOC, 125-130, Sborník Vodárenské biologie 2005, 2.-3.2. 2005,
13. Černá L.: Vliv kvality vodních zdrojů na biologickou stabilitu vod, Disertační práce, VŠCHT Praha 2013.