

## Poděkování

Zpracováno s podporou projektu Technologické agentury České republiky – T02020621.

RNDr. Dana Baudišová, Ph.D.<sup>1</sup>,  
Ing. Miroslav Váňa<sup>1</sup>, RNDr. Zdenka Boháčková<sup>2</sup>,  
Ing. Zdeňka Jedličková<sup>2</sup>,

RNDr. Andrea Benáková, Ph.D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.,

<sup>2</sup>VAS, a.s. Brno

dana\_baudisova@vuv.cz

Příspěvek prošel lektorským řízením.

## Key words

assimilable organic carbon – drinking water – heterotrophic microorganisms – total bacteria counts – water treatment plants

## ZMĚNY EKOSYSTÉMU STABILIZAČNÍ NÁDRŽE VENKOVSKÉ ČISTÍRNY PO APLIKACI BIOTECHNOLOGICKÉHO PŘÍPRAVKU

Ladislav Havel, Blanka Desortová

## Klíčová slova

čistírna odpadních vod – stabilizační nádrž – biotechnologický přípravek – ekosystém – hydrobiologické sledování

## Souhrn

V rámci řešení výzkumného projektu TA ČR „Výzkum intenzifikace venkovských a malých ČOV neinvestičními prostředky“ probíhalo v letech 2011 až 2013 (v návaznosti na hydrochemický monitoring) i hydrobiologické sledování usazovací nádrže a stabilizační nádrže, které tvoří systém čištění odpadních vod v menší obci.

Odběr vzorků pro hydrobiologické analýzy (koncentrace chlorofylu-a, abundance zooplanktonu) byl vždy spojen s měřením základních fyzikálně-chemických ukazatelů *in situ* (průhlednost, teplota, pH, koncentrace rozpuštěného kyslíku, nasycení kyslíkem).

Rok 2011 je považován za referenční (nebyly aplikovány biotechnologické přípravky). Z výsledků je zřejmé, že oproti roku 2011 došlo v letech 2012 a 2013 (aplikace biotechnologických přípravků) k výrazným změnám ve vzhledu stabilizační nádrže, výskytu makrofyt, koncentraci rozpuštěného kyslíku, koncentraci chlorofylu-a a kvalitativním složení zooplanktonu. V případě koncentrace chlorofylu-a a složení zooplanktonu byl oproti roku 2011 zaznamenán v průběhu vegetačních sezon v letech 2012 a 2013 odlišný vývoj.

## Úvod

Hydrobiologické sledování extenzivní venkovské ČOV je součástí řešení výzkumného projektu TA ČR „Výzkum intenzifikace venkovských a malých ČOV neinvestičními prostředky“. Jeho cílem je prokázat, zda lze pomocí systémového využití biotechnologických přípravků zlepšit stav a funkci malých ČOV a zároveň stanovit optimální postup sledování aplikace a účinku biotechnologických přípravků na ČOV a vodní ekosystém.

Biotechnologické přípravky (většinou na bázi směsi nepatogenních bakterií a enzymů) jsou jejich výrobci často prezentovány jako „univerzální řešení“ pro řadu aplikací od zahradních bazénů přes různé typy povrchových vod, kanalizačních systémů až po čistírny odpadních vod. V odborné literatuře ale není mnoho dostupných a použitelných údajů o složení těchto přípravků (většinou jde o firem-

Assimilable organic carbon in systems of production and distribution of drinking water (Baudišová, D.; Váňa, M.; Boháčková, Z.; Jedličková, Z.; Benáková, A.)

The aim of this study was the detection of assimilable organic carbon (AOC) at four water treatment plants of different sizes, source waters and technologies. Besides AOC, detection of heterotrophic microorganisms (heterotrophic plate count at 22 and 36 °C, moulds), total bacterial counts, and basic chemical parameters were performed. The average values of AOC in source waters were from 70 to 127 µg/l. The influence of technological processes to concentration of AOC was in agreement to other authors (ozonization increases the level of AOC, sand filtration and GAU filtration decrease it). In one of the water treatment plants studied, the concentration of AOC was always below 20 µg/l. No correlation between AOC concentration and other chemical, physicochemical and microbiological parameters was found.

ní tajemství) a jejich účinnosti (Wanner a Mlejnská, 2010; Mlejnská, 2013). Zároveň neexistují relevantní údaje o jejich dlouhodobém vlivu na příslušný ekosystém (Duras et al., 2008).

Příspěvek navazuje na článek Beránkové et al. (2013), který prezentuje výsledky sledování vybraných hydrochemických ukazatelů (CHSK<sub>Cr</sub>, BSK<sub>5</sub>, NL, P<sub>celk</sub>) stejné venkovské čistírny odpadních vod se stabilizační nádrží v menší obci (parametry čistírny jsou ve výše uvedeném článku) za stejných podmínek aplikace biotechnologických přípravků:

- 2011 bez aplikace biotechnologických přípravků;
- 2012 a 2013 s aplikací biotechnologických přípravků.

Příspěvek odpovídá i na některé z podnětů uvedených v diskusi k článku (Dusílek, 2013).

## Metodika

Vzorky pro hydrobiologické analýzy byly odebírány ze tří profilů: zemní usazovací nádrž (pouze vzorky pro stanovení fytoplanktonu), stabilizační nádrž-přítok, stabilizační nádrž-odtok (schéma odběrových profilů je na obr. 1). Četnost vzorkování byla mimo vegetační sezonu (listopad až únor) čtyřtýdenní, ve vegetační sezoně (březen až říjen) čtrnáctidenní. V prvním roce řešení projektu (2011) byl odběr vzorků zahájen až ve druhé polovině dubna.

Odběr pro stanovení hydrobiologických vzorků byl vždy spojen s *in situ* měřením základních fyzikálně-chemických ukazatelů (průhlednost, teplota, pH, koncentrace rozpuštěného kyslíku, nasycení kyslíkem) a fotodokumentací sledovaných lokalit.

V hydrobiologické laboratoři VÚV TGM, v.v.i., byly analyzovány ukazatele:

- biomasa fytoplanktonu (vyjádřená jako koncentrace chlorofylu-a v µg/l) a jeho kvalitativní složení,
- abundance zooplanktonu (počet jedinců v 1 litru) a jeho kvalitativní složení.



Obr. 1. Schéma lokality, profily odběru vzorků hydrobiologie (B)  
Fig. 1. Locality scheme, sampling profiles – hydrobiology (B)

Vzorky byly odebrány a zpracovány podle příslušných platných norem a metodik (ČSN 75 7712; ČSN ISO 10260; ČSN EN 15110; Komárková, 2006; Příkrýl, 2006).

## Výsledky

### Vzhled stabilizační nádrže, výskyt makrofyt

Ve vegetační sezoně 2011 byla hladina stabilizační nádrže přibližně z 90 % pokryta okřehekem (*Lemna* sp.) – obr. 2; dno (především v odtokové zóně) bylo zarostlé submerzními makrofyty (dominoval růžkatec *Ceratophyllum demersum*).

V letech 2012 a 2013 došlo k zásadní změně: emerzní (okřehek) ani submerzní makrofyty (růžkatec) nebyla přítomna (obr. 3).

Degradace makrofyt ve druhé polovině léta 2011 vedla nejen k podstatným změnám ve sledovaných hydrobiologických ukazatelích (společenstva fytoplanktonu a zooplanktonu), ale nepochybně se výrazně podílela na zvýšení koncentrace CHSK<sub>cr</sub> a BSK<sub>5</sub> v tomto období (viz Beránková et al., 2013; obr. 4 a 5).

### Koncentrace rozpuštěného kyslíku

V letech 2012 a 2013 došlo oproti roku 2011 k výrazné změně v koncentraci rozpuštěného kyslíku v odtokové části stabilizační nádrže.

V roce 2011 bylo analyzováno 11 vzorků; minimální zjištěná koncentrace rozpuštěného kyslíku byla 0,23 mg/l, maximální 8,86 mg/l. Koncentrace < 1 mg/l se vyskytla v sedmi vzorcích (63,6 % vzorků).

V roce 2012 bylo analyzováno 12 vzorků; minimální zjištěná koncentrace rozpuštěného kyslíku byla 0,56 mg/l, maximální 17 mg/l. Koncentrace < 1 mg/l se vyskytla v jednom vzorku (8,3 % vzorků).



**Obr. 2.** Stabilizační nádrž, léto 2011  
**Fig. 2.** Stabilization pond, summer 2011

V roce 2013 bylo analyzováno 15 vzorků; minimální zjištěná koncentrace rozpuštěného kyslíku byla 1,6 mg/l, maximální 19,95 mg/l. Koncentrace < 1 mg/l nebyla zjištěna v žádném vzorku.

### Fytoplankton

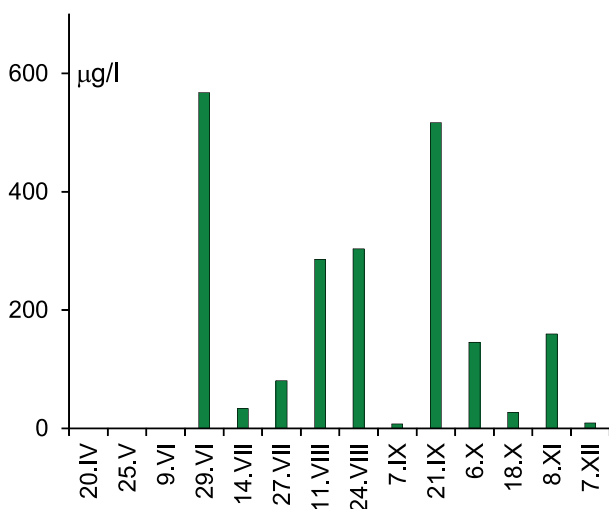
Vývoj koncentrací chlorofylu-a v zemní usazovací nádrži v průběhu vegetačních sezon v letech 2011 a 2013 nevykazoval významné rozdíly (lišily se pouze jejich absolutní hodnoty). Nejvyšší koncentrace se pravidelně vyskytovaly v letním období (obr. 4–5).

Ve stabilizační nádrži se sezonní průběh koncentrací chlorofylu-a v roce 2011 oproti roků 2012 a 2013 výrazně lišil. V roce 2011 (obr. 6) rozvoj fytoplanktonu ovlivnil výskyt emerzních a submerzních makrofyt (zastínění, konkurence o živiny) – ke zvýšení koncentrací chlorofylu-a došlo až po degradaci makrofyt, maxima dosahovaly na podzim a v zimě. Lze předpokládat i přítomnost jarního maxima fytoplanktonu (před rozvojem makrofyt), ale to nebylo vzhledem k pozdnímu začátku sledování zachyceno. Koncentrace chlorofylu-a v letech 2012 a 2013 měly značně odlišný průběh (obr. 7 a 8). Po vysokých hodnotách v období březen–duben (stovky µg/l) se po zbytek roku (až na ojedinělé výjimky) udržovaly pouze v jednotkách µg/l. Důvodem byl predační tlak velkého filtrujícího zooplanktonu (*Daphnia magna*).

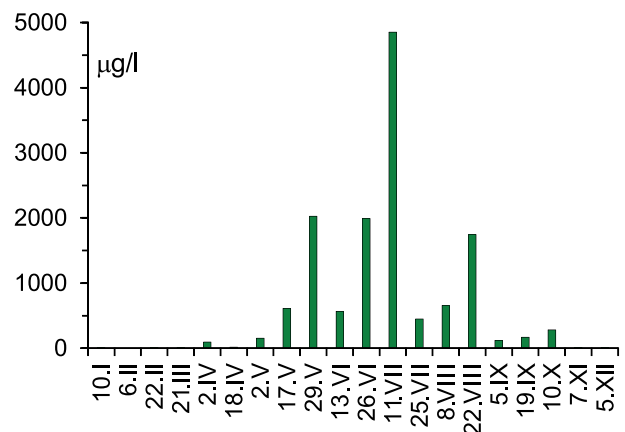
Kvalitativní složení fytoplanktonu bylo po celé sledované období 2011 až 2013 ve všech třech sledovaných profilech obdobné. Dominovali drobní zelení bičíkovci r. *Chlamydomonas* a zástupce skupiny krásnooček *Euglena viridis*. Pouze výjimečně se ve větším množství ve stabilizační nádrži vyskytli zástupci kokálních zelených řas rodů *Chlorella*, *Kirchneriella*, *Monoraphidium*, *Oocystis*, *Scenedesmus* (říjen,



**Obr. 3.** Stabilizační nádrž, léto 2012 a 2013  
**Fig. 3.** Stabilization pond, summer 2012 and 2013



**Obr. 4.** Usazovací nádrž; koncentrace chlorofylu-a (µg/l), 2011  
**Fig. 4.** Sedimentation pond; chlorophyll-a concentration (µg/l), 2011



**Obr. 5.** Usazovací nádrž; koncentrace chlorofylu-a (µg/l), 2012  
**Fig. 5.** Sedimentation pond; chlorophyll-a concentration (µg/l), 2012

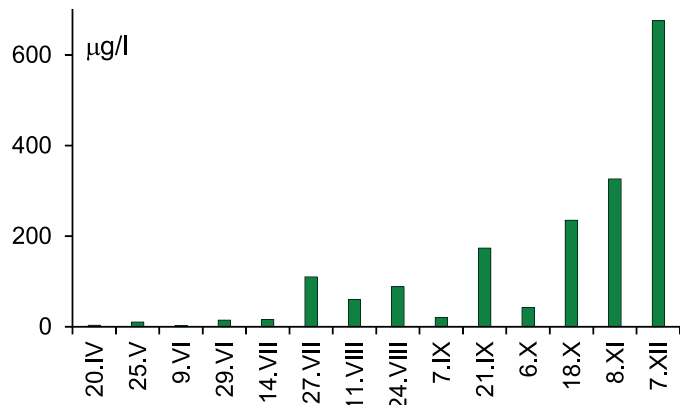
listopad 2011) a jednorázově další zástupce skupiny krásnooček *Colacium cyclopicola* (červen 2012).

### Zooplankton stabilizační nádrže

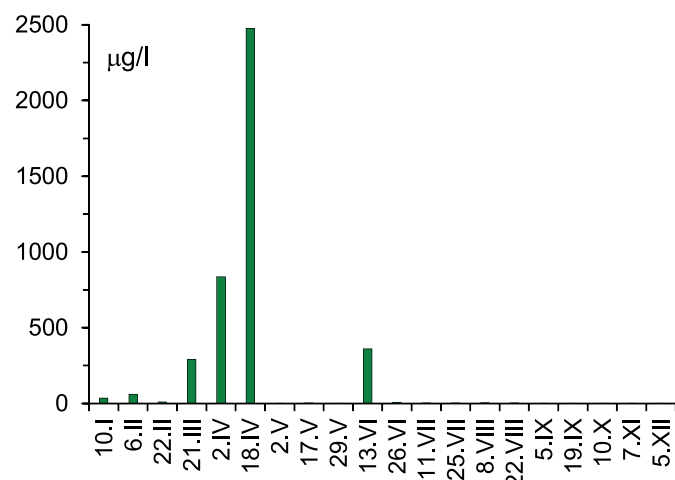
V abundanci zooplanktonu (počet jedinců v 1 litru) ani v jejím sezonním průběhu není patrný rozdíl mezi rokem 2011 a roky 2012 a 2013. Ve srovnatelném období vzorkování (duben–prosinec) byla nejvyšší hodnota (3 800 jed./l) zjištěna v roce 2013, nejnižší

(2 400 jed./l) v roce 2012; nejvyšší průměrná abundace na vzorek (770 jed./l) v roce 2011, nejnižší (500 jed./l) v roce 2012 (obr. 9–11).

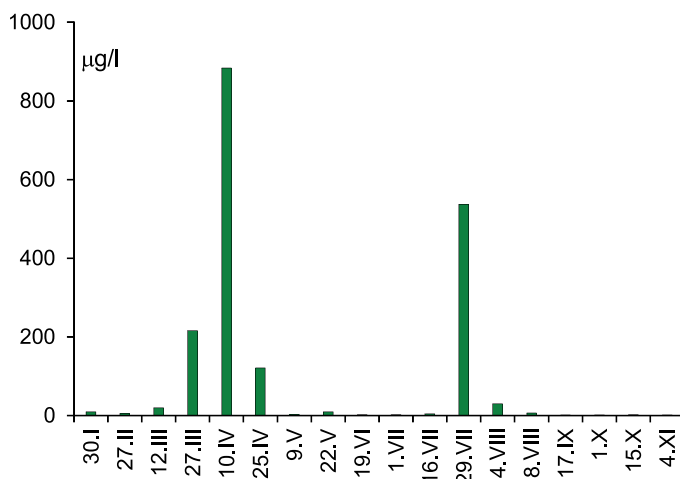
Oproti roku 2011 došlo v roce 2012 k výrazné změně v kvalitativním složení zooplanktonu, která přetrvávala i v roce 2013. Z obr. 12 a 13 je zřejmé, že v roce 2011 byl zooplankton tvořen především malými druhy, zatímco v letech 2012 a 2013 převažovaly velké perloočky (Cladocera) *Daphnia magna*. Procentuální podíl jednotlivých



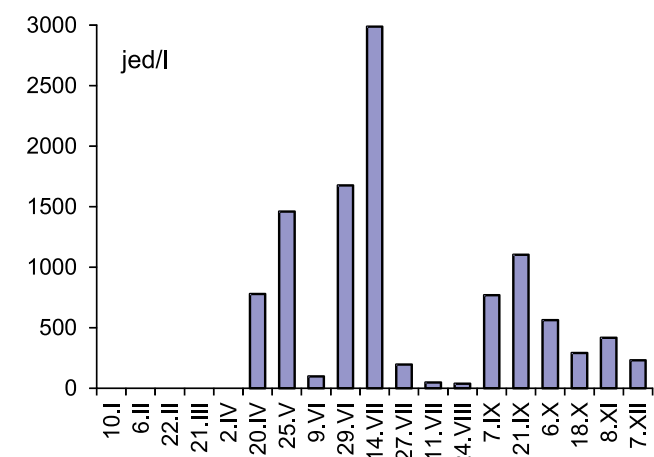
**Obr. 6.** Stabilizační nádrž; koncentrace chlorofylu-a (µg/l), 2011  
**Fig. 6.** Stabilization pond; chlorophyll-a concentration (µg/l), 2011



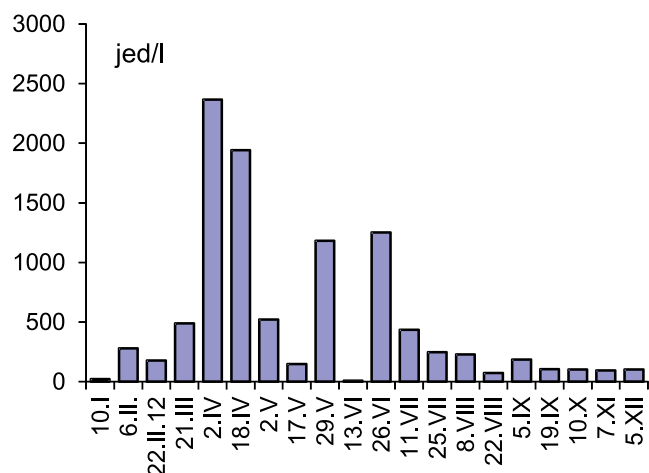
**Obr. 7.** Stabilizační nádrž; koncentrace chlorofylu-a (µg/l), 2012  
**Fig. 7.** Stabilization pond; chlorophyll-a concentration (µg/l), 2012



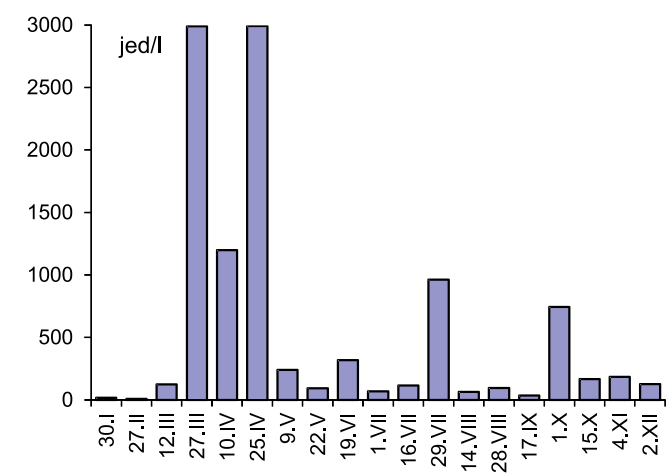
**Obr. 8.** Stabilizační nádrž; koncentrace chlorofylu-a (µg/l), 2013  
**Fig. 8.** Stabilization pond; chlorophyll-a concentration (µg/l), 2013



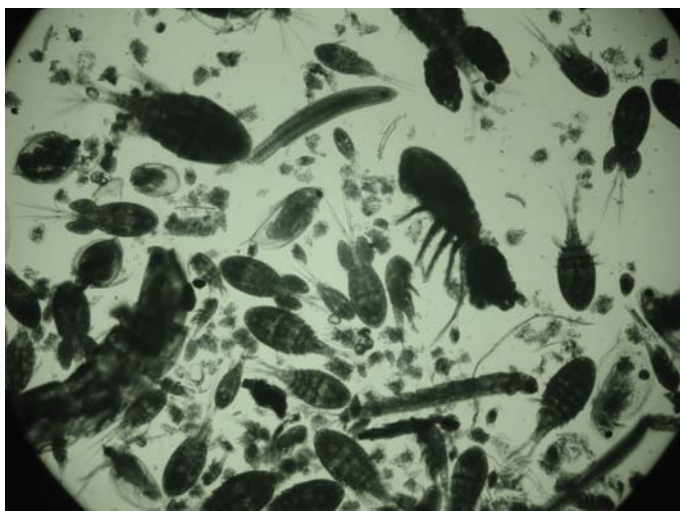
**Obr. 9.** Stabilizační nádrž; abundace zooplanktonu (jed./l), 2011  
**Fig. 9.** Stabilization pond; zooplankton abundance (ind./l), 2011



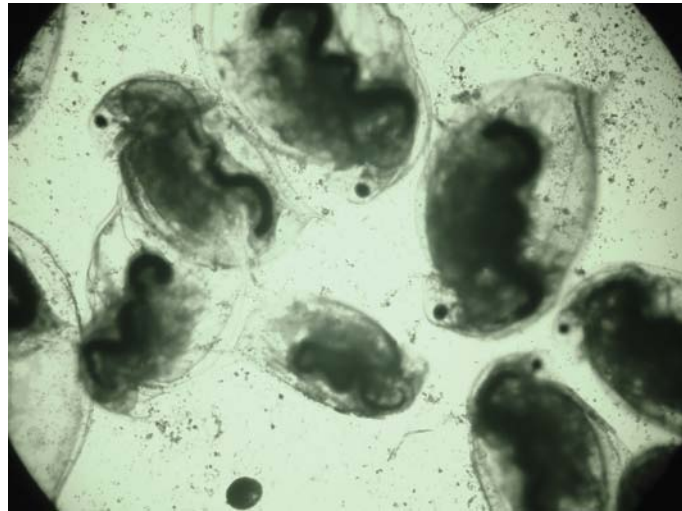
**Obr. 10.** Stabilizační nádrž; abundace zooplanktonu (jed./l), 2012  
**Fig. 10.** Stabilization pond; zooplankton abundance (ind./l), 2012



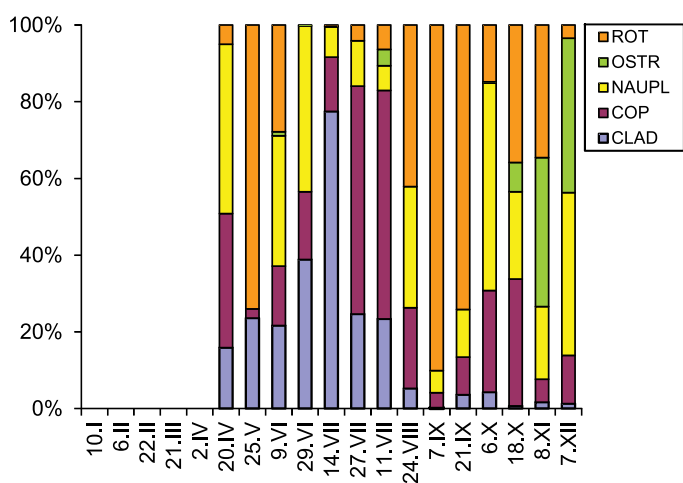
**Obr. 11.** Stabilizační nádrž; abundace zooplanktonu (jed./l), 2013  
**Fig. 11.** Stabilization pond; zooplankton abundance (ind./l), 2013



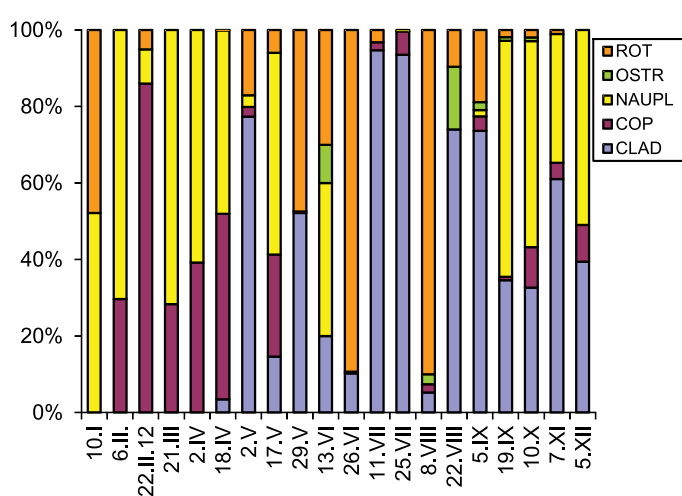
**Obr. 12.** Zooplankton stabilizační nádrže, 2011  
**Fig. 12.** Zooplankton of stabilization pond, 2011



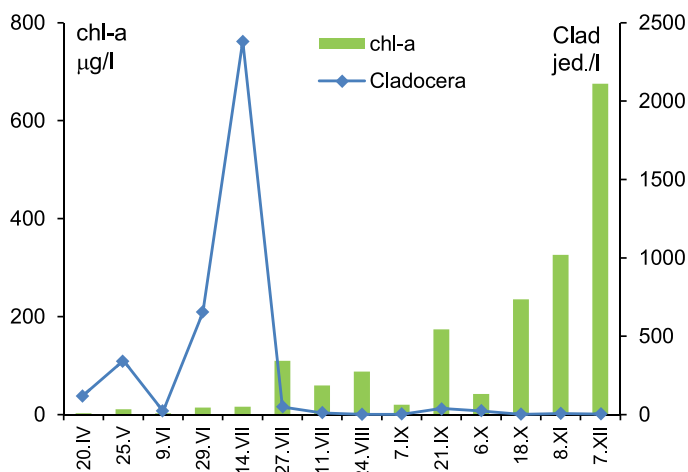
**Obr. 13.** Zooplankton stabilizační nádrže, 2012 a 2013  
**Fig. 13.** Zooplankton of stabilization pond, 2012 and 2013



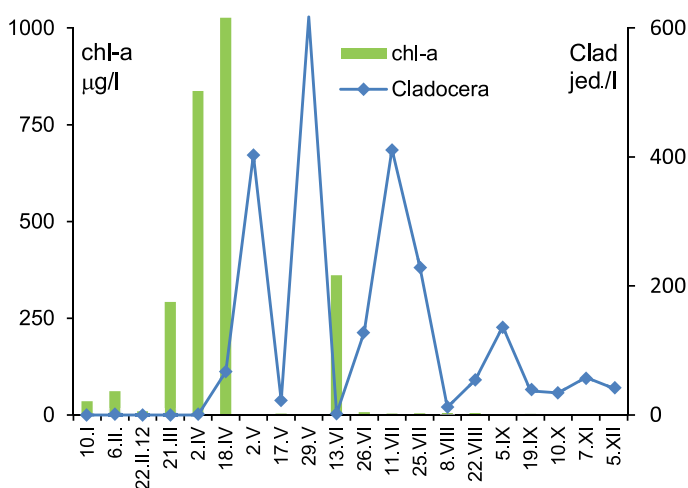
**Obr. 14.** Podíl (%) jednotlivých skupin zooplanktonu na celkové abundanci, 2011 (ROT – Rotatoria, OSTR – Ostracoda, NAUPL – nauplia, COP – Copepoda, CLAD – Cladocera)  
**Fig. 14.** The shares (%) of individual zooplankton groups in total abundance, 2011 (ROT – Rotatoria, OSTR – Ostracoda, NAUPL – nauplii, COP – Copepoda, CLAD – Cladocera)



**Obr. 15.** Podíl (%) jednotlivých skupin zooplanktonu na celkové abundanci, 2012 (ROT – Rotatoria, OSTR – Ostracoda, NAUPL – nauplia, COP – Copepoda, CLAD – Cladocera)  
**Fig. 15.** The shares (%) of individual zooplankton groups in total abundance, 2012 (ROT – Rotatoria, OSTR – Ostracoda, NAUPL – nauplii, COP – Copepoda, CLAD – Cladocera)



**Obr. 16.** Vztah mezi abundancí perlooček (jed./l) a koncentrací chlorofylu-a (µg/l), 2011  
**Fig. 16.** The relationship between cladoceran abundance (ind./l) and chlorophyll-a concentration (µg/l), 2011



**Obr. 17.** Vztah mezi abundancí perlooček (jed./l) a koncentrací chlorofylu-a (µg/l), 2012  
**Fig. 17.** The relationship between cladoceran abundance (ind./l) and chlorophyll-a concentration (µg/l), 2012

skupin zooplanktonu (Cladocera, Copepoda, nauplia, Ostracoda, Rotatoria) v jednotlivých odběrech v roce 2011 a 2012 (rok 2013 vykazoval obdobný průběh jako rok 2012) je na obr. 14 a 15. V roce 2011 (obr. 14) dominovali ve většině odběrů vířníci (Rotatoria), drobné buchanky (Copepoda) a jejich naupliová stadia. Perloočky (především *Ceriodaphnia*, *Simocephalus*, *Bosmina*, Chydoridae a ojedinele v letních měsících *Daphnia pulex*) se ve významnějším zastoupení vyskytovaly v období duben až polovina července. Po degradaci makrofyt až do konce roku jejich podíl v celkovém zooplanktonu nepřekročil 5 %. V roce 2012 (obr. 15) i v roce 2013 až do dubna v zooplanktonu převažovaly buchanky a naupliová stadia, od května po zbytek roku byly (až na výjimky) významně zastoupeny perloočky.

Podíl skupiny Cladocera na celkové abundanci zooplanktonu:

- stabilizační nádrž-přítok 2011: 17 % (malé druhy),
- stabilizační nádrž-přítok 2012 (odpovídající období): 53 % (*Daphnia magna*),
- stabilizační nádrž-přítok 2013 (odpovídající období): 51 % (*Daphnia magna*),
- stabilizační nádrž-odtok 2011: 17 % (malé druhy),
- stabilizační nádrž-odtok 2012 (odpovídající období): 45 % (*Daphnia magna*),
- stabilizační nádrž-odtok 2013 (odpovídající období): 31 % (*Daphnia magna*).

#### **Vliv zooplanktonu na biomasu fytoplanktonu ve stabilizační nádrži**

Příklady vzájemného vztahu koncentrace fytoplanktonu a podílu perlooček v abundanci veškerého zooplanktonu v průběhu sezon 2011 a 2012 (v roce 2013 byl vztah obdobný) jsou na obr. 16 a 17.

Je však málo pravděpodobné, že v první polovině roku 2011 mohly perloočky vzhledem ke svému druhovému složení (malé, málo účinné filtrátory – obr. 12) mít tak značný vliv na koncentraci fytoplanktonu (obr. 16). Rozhodující měrou se na jeho nízké biomase v tomto období podílel rozvoj makrofyt (zastínění, konkurence o živiny).

V roce 2012 došlo k výrazné změně v kvalitativním složení perlooček, která přetrvávala i v roce 2013. Drobné druhy byly nahrazeny velkým účinným filtrátorem *Daphnia magna* (obr. 13), což vedlo k výraznému nárůstu biomasy zooplanktonu. *Daphnia magna* se pak vyskytovala po celé vegetační období a množství fytoplanktonu dokázala výrazně ovlivnit (obr. 17).

#### **Závěr**

Venkovská čistírna odpadních vod (zemní usazovací nádrž, stabilizační nádrž) byla z hydrobiologického hlediska sledována v období 2011 až 2013 ve dvou režimech: bez aplikace biotechnologických přípravků (rok 2011) a za aplikace biotechnologických přípravků (roky 2012 a 2013).

Zemní usazovací nádrž byla po celé sledované období významným zdrojem živin a inokula fytoplanktonu pro stabilizační nádrž.

Ve stabilizační nádrži došlo v letech 2012 a 2013 (aplikace biotechnologických přípravků) oproti roku 2011 (bez aplikace biotechnologických přípravků) k výrazným změnám:

- ve vzhledu stabilizační nádrže: volná hladina, snížení zápachu,
- ve výskytu makrofyt (*Lemna*, *Ceratophyllum*): v letech 2012 a 2013 nebyla přítomna,
- v koncentraci rozpuštěného kyslíku: minimální i maximální koncentrace se zvýšily, hodnoty < 1 mg/l byly zjištěny ojedinele,
- v koncentraci chlorofylu-a a jejich změnách v průběhu vegetační sezony: po jarním maximu se jeho koncentrace (až na výjimky) udržovala na hodnotách v jednotkách µg/l,
- v kvalitativním složení zooplanktonu a jeho změnách v průběhu vegetační sezony: nahrazení drobných druhů zooplanktonu velkými perloočkami (*Daphnia magna*), schopnými svojí filtrační činností účinně kontrolovat nadměrný rozvoj fytoplanktonu.

Vzhledem k tomu, že ve stabilizační nádrži nejsou ryby, vztah zooplankton-fytoplankton vykazuje typický „top-down“ efekt: velcí filtrátory (zde *Daphnia magna*) dokáží účinně kontrolovat (snižovat) biomasu fytoplanktonu, a tím ovlivnit jeden z negativních důsledků eutrofizace povrchových vod.

Dosud získané výsledky řešení projektu ukazují, že dlouhodobý hydrobiologický monitoring musí být bezpodmínečnou součástí

hodnocení vlivu aplikace biotechnologických přípravků na vodní ekosystémy.

Řešení projektu bude pokračovat i v roce 2014, kdy biotechnologický přípravek nebude do systému čištění dávkován. Následně bude celkové zhodnocení vliv aplikace biotechnologického přípravku na hydrobiologické a hydrochemické charakteristiky sledovaného systému venkovské čistírny odpadních vod.

#### **Literatura**

- Beránková, M., Valdmanová, J., Šťastný, V., Taufer, O. a Marek, V. (2013) Sledování funkce venkovské a domovní čistírny s použitím biotechnologických přípravků. *VTEI*, roč. 55, č. 6, s. 10–13, příloha *Vodního hospodářství* č. 12/2013.
- ČSN 757712. (2013) Kvalita vod – Biologický rozbor – Stanovení biosestonu. Ústav pro technologickou normalizaci a státní zkušebnictví.
- ČSN EN 15110. (2007) Jakost vod. Návod pro odběr vzorků zooplanktonu ze stojatých vod. Ústav pro technologickou normalizaci a státní zkušebnictví.
- ČSN ISO 10260. (1996) Jakost vod. Měření biochemických ukazatelů. Spektrofotometrické stanovení koncentrace chlorofylu-a. Ústav pro technologickou normalizaci a státní zkušebnictví.
- Duras, J., Maršálek, B., Kosour, D., Rederer, L., Klouček, V. a Janeček, E. (2008) Ekotechnologické zásahy ve prospěch jakosti vody v Česku – stručný přehled. *Sborník konf. Vodárenská biologie*, s. 73–80, *Vodní zdroje Ekomonitor*, ISBN 978-80-86832.
- Dusílek, P. (2013) Diskuse k článku. *VTEI*, roč. 55, č. 6, s. 13–14, příloha *Vodního hospodářství* č. 12/2013.
- Komárková, L. (2006) Metodika odběru a zpracování vzorků fytoplanktonu stojatých vod. *VÚV TGM*, 11 s.
- Mlejnská, E. (2013) Vyhodnocení in-situ aplikace bakteriálně-enzymatického preparátu do kolmatovaných kořenových čistíren. *VTEI*, roč. 55, č. 5, s. 1–4, příloha *Vodního hospodářství* č. 10/2013.
- Příkrýl, I. (2006) Metodika odběru a zpracování vzorků zooplanktonu stojatých vod. *VÚV TGM*, 14 s.
- Wanner, F. a Mlejnská, E. (2010) Uvolnění zakolmatovaného lože zemního filtru in-situ aplikací enzymů. *Vodní hospodářství*, roč. 52, č. 12, s. 15–18.

#### **Poděkování**

*Příspěvek vznikl s podporou Technologické agentury České republiky v rámci řešení výzkumného projektu TA01021419 „Výzkum intenzifikace venkovských a malých ČOV neinvestičními prostředky“*

**RNDr. Ladislav Havel, CSc., RNDr. Blanka Desortová, CSc.**  
**VÚV TGM, v.v.i., Praha, ladislav\_havel@vuv.cz**  
*Příspěvek prošel lektorským řízením.*

*The changes in the ecosystem of a rural waste water treatment plant stabilizing pond after the biotechnological agent application (Havel, L.; Desortová, B.)*

#### **Key words**

*waste water treatment plant – stabilizing pond – biotechnological agent – ecosystem – hydrobiological monitoring*

**The hydrobiological monitoring of the sedimentation and stabilizing ponds as parts of the sewage treatment system in a small village, was conducted within the project “Research of intensification of rural and small waste water treatment plants through the non-investment funds” supported by Technology Agency of the Czech Republic from 2011 to 2013.**

**The sampling for analyses of hydrobiological indicators (chlorophyll-a concentrations, zooplankton abundance) has always been carried out together with in-situ basic physical and chemical indicators measurements (water transparency, temperature, pH, dissolved oxygen concentrations, oxygen saturation).**

**The year 2011 has been set as a referential one since no biotechnological agents were applied that year. The results clearly showed that compared to 2011 (no biotechnological agent applied), significant changes took place in 2012 and 2013 (biotechnological agent application), regarding visual characteristics of the stabilizing pond, macrophyte presence, dissolved oxygen concentrations, chlorophyll-a concentrations, its changes during vegetational seasons and a quality of zooplankton composition and its changes during the vegetational seasons.**