

PŘÍKLAD MOŽNÉHO VYUŽITÍ
VÝSLEDKŮ STOPOVACÍCH POKUSŮ

Jiří Šajer

Klíčová slova*okamžitý vnos – konzervativní znečištění – jakost vody – kontinuální monitoring***Souhrn**

Zařízení v automatických monitorovacích stanicích umístěných podél vodních toků někdy poskytují kontinuální monitoring jakosti vody. Data o jakosti vody bývají obvykle průběžně zaznamenávána. Tento záznam monitoringu může někdy posloužit k identifikaci zdroje znečištění. V tomto článku je popsán způsob, jak je možno za tímto účelem využít studií opírající se o stopovací (tracerové) pokusy. Je to ukázáno na možném využití studie vycházející ze stopovacích pokusů na řece Shenandoah pro analýzu hypotetického případu okamžitého vnosu konzervativního znečištění.

Úvod

V době od 15. do 16. června a od 6. do 7. září roku 2000 byly uskutečněny dva stopovací pokusy na řekách Svitava a Svratka s analýzou stopovače v pěti vzorkovacích místech na úseku přibližně 16,1 km (Říha a Stara, 2002). Článek Jandora a Daněčka (2002) shrnul analytická řešení 1D úlohy transportu a disperze jednotlivých složek měřených v toku. Tato analytická řešení dávají výsledky porovnatelné se stopovacími pokusy na Svitavě, kde mohlo být předpokládáno ustálené proudění a konstantní disperzní koeficient. Pro odhad času vnosu je důležitá vzestupná část průnikové křivky. Na základě toho Šajer (2014) vyvinul metodu odhadu času vnosu nad vzorkovacím místem. Tato metoda předpokládá okamžitý vnos konzervativního znečištění. Hlavním problémem této metody je správný odhad Pecletova čísla. Jak je ukázáno v tomto článku, velmi užitečná pro tento odhad může být studie provedená na základě pokusů se stopovačem.

Metody

Jobson (1997) sestavuje údaje z rozsáhlého počtu studií zaměřených na dotokové doby a disperzi a prezentuje empirické vztahy, které se jeví jako všeobecně použitelné. Jeho zpráva obsahuje graf dotokové doby náběžné hrany jako funkci dotokové doby vrcholné koncentrace. Dotoková doba náběžné hrany může být odhadnuta z rovnice (1). Žádný jiný významný vztah mezi jakýmkoliv proměnnými a dobou od injekece po dosažení náběžné hrany (T_L) by neměl být nalezen s výjimkou dotokové doby vrcholové koncentrace.

$$T_L = 0,89T_p \quad (1),$$

kde

T_L = doba po příchod náběžné hrany vlny znečištění, definovaný jako čas, ve kterém dosáhla koncentrace znečištění 10 % vrcholové koncentrace,

T_p = doba po příchod vrcholové koncentrace vlny znečištění.

EXAMPLE OF POSSIBLE USES OF
RESULTS OF TRACER EXPERIMENTS

Jiri Sajer

Key words*instantaneous spill – conservative pollution – water quality – continuous monitoring***Summary**

Devices in automatic monitoring stations located along rivers sometimes provide continuous monitoring of water quality. Data of the water quality are usually continuously recorded. This monitoring record sometimes can serve to identify source of the pollution. The method of possible uses of the tracer study for this purpose is described in the paper. It is shown on possible using of River Shenandoah tracer study for analysis of hypothetical case of instantaneous spill of conservative pollution.

Introduction

In June 15 to 16 and September 6 to 7, 2000, two tracing experiments were carried out at the Svitava and Svratka rivers with tracer analysis at 5 sampling points within the reach of about 16.1 km (Říha and Stara, 2002). An article written by Jandora and Daněček (2002) summarized analytical solutions of the 1D problem of transport and dispersion of an observed component in streams. These analytical solutions give results comparable to tracer experiment on the Svitava River where uniform flow and constant dispersion coefficient could be supposed. Knowledge of the increasing part of the breakthrough curve is important for estimating of the time of the spill. Based on this, Šajer (2014) developed a method for estimating of the time of the spill upstream of the sampling point. This method assumes instantaneous spill of the conservative pollution. The right way of estimation of the Peclet number is the main problem of this method. A tracer study can be very useful for this estimation as it is shown in this paper.

Methods

Jobson (1997) compiles information from a large number of time-of-travel and dispersion studies and presents empirical relations that appear to have general applicability. His report contains a plot of the travel time of the leading edge as a function of the travel time of the peak concentration. The travel time of the leading edge can be estimated from equation (1). No significant correlation could be found between any of the variables and the time from injection to the arrival of the leading edge (T_L) except for the travel time to the peak concentration.

$$T_L = 0,89T_p \quad (1),$$

where

T_L = arrival time of pollution plume leading edge, defined as time at which pollution concentration was 10% of the peak concentration,

T_p = arrival time of pollution plume peak concentration.

Jobsonova zpráva obsahuje empirickou rovnici pro rychlost postupu vrcholové koncentrace v metrech za sekundu, která zahrnuje průtok v úseku v době měření, průměrný roční průtok v řece, plochu povodí a gravitační zrychlení jako proměnné a také empirickou rovnici pro pravděpodobné maximum rychlosti postupu vrcholové koncentrace. Rovnice byly vyvinuty pro odhad dotokových dob. Tyto vztahy nejsou doporučovány jako náhrada za terénní studie, ale věří se, že poskytnou přijatelné odhady v situacích, ve kterých adekvátní terénní data nejsou k dispozici. Rovnice (1) může být upravena následovně:

$$T_p = \frac{T_p - T_L}{1 - 0,89} \quad (2),$$

kde

T_L = doba po příchod náběžné hrany vlny znečištění, definovaný jako čas, ve kterém dosáhla koncentrace znečištění 10 % vrcholové koncentrace,

T_p = doba po příchod vrcholové koncentrace vlny znečištění.

Doba od vnosu po příchod vrcholové koncentrace vlny konzervativního znečištění (T_p) může být odhadnuta pomocí rovnice (2). Zajímavým charakteristickým znakem při analýze okamžitého vnosu je, že množství vneseného konzervativního znečištění je nepodstatné – celkové množství nemá vliv na výpočty dotokové doby a disperze. To znamená, že míra disperze a dotokové doby nezávisí na počátečním startovním množství látky. Pro odhad času vnosu je důležitá znalost vzestupné části průnikové křivky. Následující rovnice byly ověřeny při analýze dat ze stopovacích pokusů na řece Svitavě (Šajer, 2014). Pro vzestupnou část průnikové křivky může být použita rovnice (3):

$$\frac{c}{c_p} = \sqrt{\frac{1}{\theta}} \exp\left(\frac{-Pe(1-\theta)^2}{4\theta}\right) \quad (3),$$

kde

c_p = vrcholová koncentrace vlny znečištění,

Pe = Pecletovo číslo,

$$\theta = \frac{T}{T_p} \quad (4)$$

Jako nejlepší pro odhad Pe pro vzestupnou část průnikové křivky byla nalezena rovnice (5):

$$Pe = \frac{4\theta_H \ln\left(\frac{2}{\sqrt{\theta_H}}\right)}{(1-\theta_H)^2} \quad (5),$$

kde θ_H je dáno vztahem (6):

$$\theta_H = \frac{T_H}{T_p} = 1 - \frac{T_p - T_H}{T_p} \quad (6),$$

kde

T_H = dotoková doba vlny znečištění definovaná jako doba, při které koncentrace znečištění dosáhla 50 % vrcholové koncentrace.

Vztah mezi T_L a T_H je přibližně dán rovnicí (7):

$$T_p - T_H = \frac{(T_p - T_L)\pi}{2\pi - 2\arccos 0,8} \quad (7)$$

Nejlepší aproximace vzestupné části průnikové křivky je dána rovnicí (8):

$$\frac{c}{c_p} = 0,5 \left(1 - \cos\left(\frac{(T - 2T_H + T_p)\pi}{2T_p - 2T_H}\right)\right) \quad (8)$$

kde T je čas mezi hodnotou ($2T_H - T_p$) a hodnotou T_p

Pro lepší pochopení využití těchto rovnic následuje příklad:

Předpokládá se hypotetický případ zahrnující okamžitý vnos konzervativního znečištění.

Představte si hypotetickou situaci v limnigrafické stanici ve Front Royal na řece Shenandoah (obr. 1) třetího června 2004 v 18:30. Právě na toto místo dorazila vrcholová koncentrace konzervativního znečištění. Průtok v řece je 29,4 m³/s. Rozdíl mezi časem vrcholové koncentrace a časem náběžné hrany znečištění je 5,3 hodiny, protože náběžná hrana znečištění byla zaznamenána v 13:12.

Kdy by mělo znečištění dorazit do Morgan Fordu?

Kdy došlo ke vnosu?

Kde je místo vnosu?

Jobson's report contains the empirical equation for the velocity of the peak concentration, in meters per second, that include discharge at the section at time of the measurement, mean annual river discharge, drainage area and acceleration of gravity as variables and also equation for the maximum probable velocity. Equations have been developed to estimate travel times. These relations are not recommended as a substitute for field studies but are believed to provide reasonable estimates in situations where adequate field data are not available.

Equation (1) can be rearranged as follows:

$$T_p = \frac{T_p - T_L}{1 - 0,89} \quad (2),$$

where

T_L = arrival time of pollution plume leading edge, defined as time at which pollution concentration was 10% of the peak concentration,

T_p = arrival time of pollution plume peak concentration.

The arrival time of conservative pollution plume peak concentration (T_p) can be estimated from equation (2). An interesting characteristic in analyzing the instantaneous spill is that the amount of conservative pollution spilled is irrelevant—the total mass does not affect the travel time and dispersion calculations. That is, dispersion rates and travel times do not depend on the initial starting quantity of a constituent. Knowledge of the increasing part of the breakthrough curve is important for estimating of the time of the spill. Next equations have been verified by analysis of data of tracer experiments on Svitava River (Šajer, 2014). For increasing part of the breakthrough curve, the equation (3) can be used.

$$\frac{c}{c_p} = \sqrt{\frac{1}{\theta}} \exp\left(\frac{-Pe(1-\theta)^2}{4\theta}\right) \quad (3),$$

where

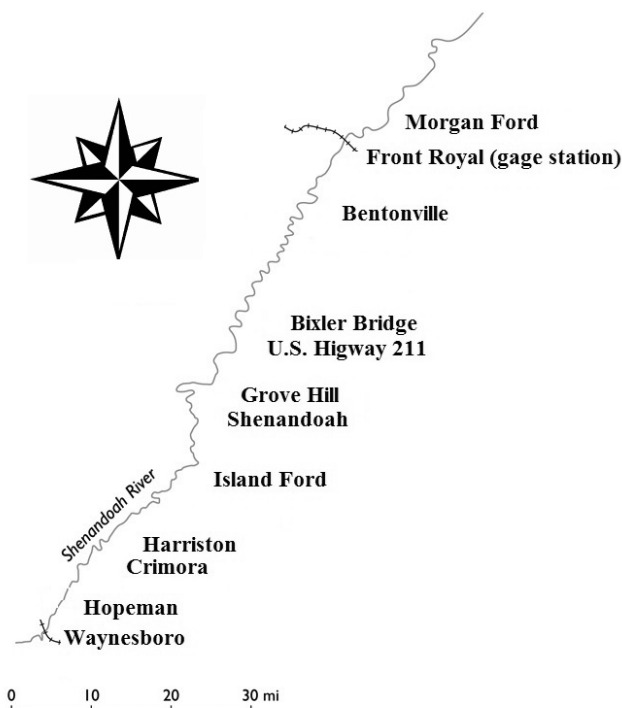
c_p = peak concentration of pollution plume,

Pe = Peclet number,

$$\theta = \frac{T}{T_p} \quad (4)$$

For increasing part of the breakthrough curve, as the best equation for estimation of Pe was found equation (5):

$$Pe = \frac{4\theta_H \ln\left(\frac{2}{\sqrt{\theta_H}}\right)}{(1-\theta_H)^2} \quad (5),$$



Obr. 1. Situace na řece Shenandoah
Fig. 1. Situation on the Shenandoah River

Odpovědi na tyto otázky budou dány pro dva případy. První je případ, kdy není k dispozici studie provedená na základě pokusů se stopovačem, a druhý nastane, pokud je studie provedená na základě pokusů se stopovačem k dispozici.

Výsledky a diskuse

1. Příklad, kdy studie provedená na základě pokusů se stopovačem není k dispozici

Mohou být použity postupy popsání Jobsonem (1997). Výsledky jsou shrnuty v *tabulce 1*.

V čase vnosu byl průtok v limnigrafické stanici ve Front Royal 29,4 m³/s. Za předpokladu poměrně stejnoměrných hydrologických poměrů a počasí uvnitř plochy bude hypotéza, že proudem unášeným vnos bude protékat asi 39,5 m³/s, za předpokladu, že průměrná plocha odvodňovaného území pro úsek z Front Royal do Morgan Fordu je 5 713 km². Podobně průměrný roční průtok neměřeného proudu je odhadnut 60,7 m³/s. Uvažujme bezrozměrnou plochu* odvodňovaného území, která je odhadnuta 80 984 747 016. Bezrozměrný relativní průtok* byl odhadnut 0,65. S těmito hodnotami může být předpovězena nejpravděpodobnější rychlost vrcholu 0,408 m/s. Vzdálenost z limnigrafické stanice ve Front Royal do Morgan Fordu je 16 411 m. Nejpravděpodobnější dotoková doba vrcholové koncentrace znečištění z Front Royal do Morgan Fordu by proto mohla být 11,2 hodiny. Maximum pravděpodobné rychlosti by mohlo být 0,91 m/s a pravděpodobná minimální dotoková doba vrcholu by mohla být 5 hodin. V měřicí stanici ve Front Royal byl zaznamenán mezi časem vrcholu a časem náběžné hrany rozdíl 5,3 hodiny. Nejpravděpodobnější dotoková doba vrcholu od místa vnosu po limnigrafickou stanici Front Royal může být odhadnuta pomocí rovnice (2) jako 48,2 hodiny. Nejpravděpodobnější místo vnosu by se proto mohlo nacházet někde mezi Bixler Bridge a Bentonville (viz *obr. 2*).

Pokud je k dispozici studie provedená na základě pokusů se stopovačem, pak mohou být odhady mnohem dokonalejší.

* tento výraz je podrobněji vysvětlen v článku Jobsona (1997), na který je odkaz v literatuře

where θ_H is given by equation (6):

$$\theta_H = \frac{T_H}{T_P} = 1 - \frac{T_P - T_H}{T_P} \quad (6),$$

where

T_H = arrival time of pollution plume, defined as time at which pollution concentration was 50% of the peak concentration.

Relation between T_L and T_H is approximately given by equation (7):

$$T_P - T_H = \frac{(T_P - T_L)\pi}{2\pi - 2\arccos 0.8} \quad (7)$$

The best approximation of the increasing part of the breakthrough curve is given by equation (8).

$$\frac{C}{C_P} = 0.5 \left(1 - \cos \left(\frac{(T - 2T_H + T_P)\pi}{2T_P - 2T_H} \right) \right) \quad (8)$$

where T is time between value ($2T_H - T_P$) and value T_P

To better understand the usage of these equations, an example is given below. A hypothetical incident involving an instantaneous spill of conservative pollution is assumed.

Imagine for yourself a hypothetical situation at the Front Royal gaging station on the Shenandoah River (*Fig. 1*) on June 3rd 2094 at 18:30 o'clock. The peak concentration of the conservative pollution is arriving to this site at the same time. River discharge is about 29.4 m³/s. The difference between time of the peak and time of the leading edge is 5.3 hours because the leading edge of the pollution has been recorded at 13:12 o'clock.

When should the pollutant arrive at Morgan Ford?

What is the time of the spill?

Where is the spill site?

Answers to these questions will be given for two cases. The first case is, if the tracer study is not available and the second, if the tracer study is available.

Results and Discussion

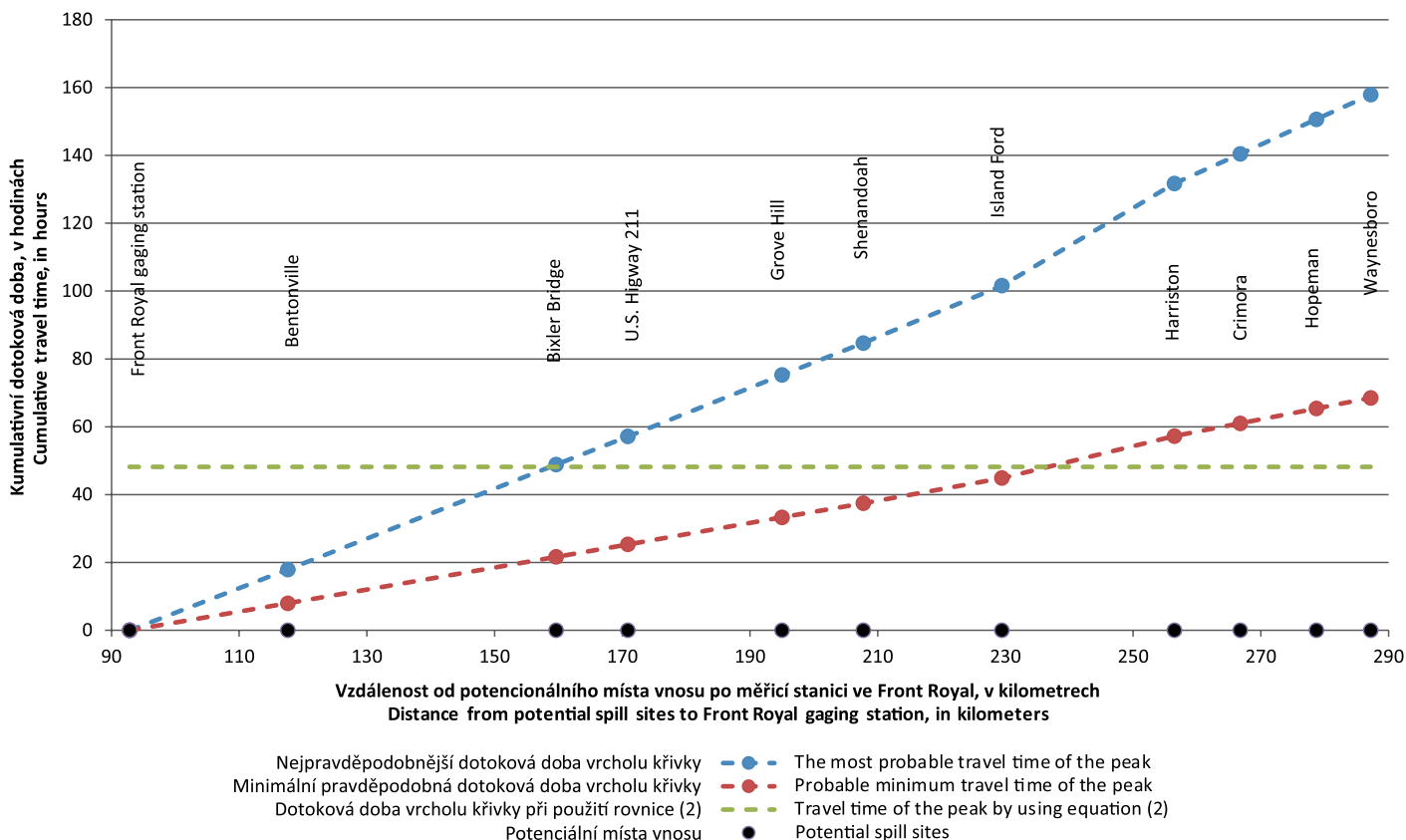
1. Case, if the tracer study is not available

Methods described by Jobson (1997) can be used. Results are listed in *Table 1*.

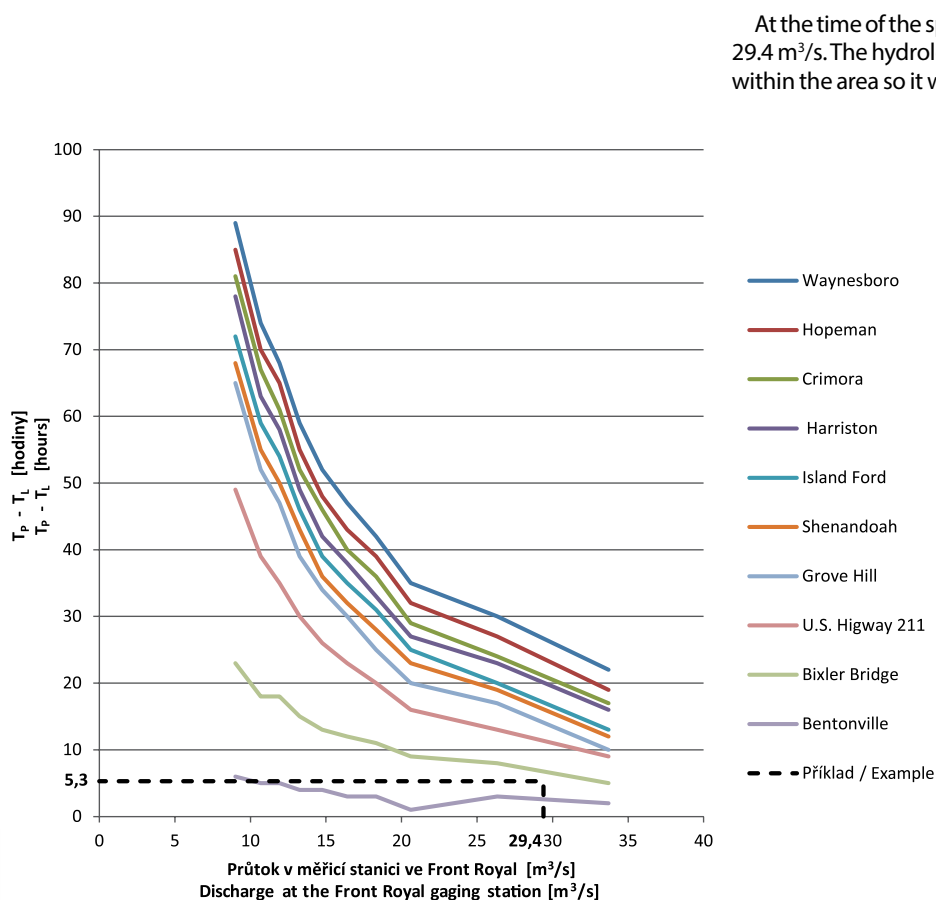
Tabulka 1. Výsledky získané použitím empirických rovnic popsání Jobsonem (1997)

Table 1. Results obtained by using empirical equations described by Jobson (1997)

Úsek / Reach	od/ from	Front Royal (měřicí stanice/ gaging station)	Bentonville	Bixler Bridge	U.S. Highway 211
	do/to	Morgan Ford	Front Royal (měřicí stanice/ gaging station)	Front Royal (měřicí stanice/ gaging station)	Front Royal (měřicí stanice/ gaging station)
Délka úseku/Reach length	m	16411	24778	66773	78036
Plocha povodí nad místem vnosu/Drainage area at potential spillsite	km ²	7175	4081	3620	3564
Plocha povodí nad měřicí stanicí ve Front Royal/ Drainage area at Front Royal (gaging station)	km ²	4251	4251	4251	4251
Průměrná plocha povodí nad úsekem/Average drainage area for the reach	km ²	5713	4166	3936	3908
Průtok v měřicí stanici ve Front Royal/Flow at Front Royal gaging station	m ³ /s	29,4	29,4	29,4	29,4
Neměřený průtok v úseku toku/Flow of the ungedged stream	m ³ /s	39,5	28,8	27,2	27,0
Průměrný roční průtok v měřicí stanici ve Front Royal/ Mean-annual flow at Front Royal gaging station	m ³ /s	45,2	45,2	45,2	45,2
Průměrný roční neměřený průtok v úseku toku/Mean- annual flow of the ungedged stream	m ³ /s	60,7	44,3	41,8	41,5
Bezrozměrná plocha povodí/Dimensionless drainage area	-	80984747016	74837106956	73779745537	73648163301
Bezrozměrný relativní průtok/Dimensionless relative discharge	-	0,65	0,65	0,65	0,65
Nejpravděpodobnější rychlost postupu vrcholu křivky/Most probable velocity of the peak	m/s	0,408	0,384	0,380	0,379
Maximum pravděpodobné rychlosti vrcholu křivky/ Maximum probable velocity of the peak	m/s	0,910	0,865	0,857	0,856
Nejpravděpodobnější doba dotoku vrcholu křivky/ Most probable traveltime of the peak	hod	11,2	17,9	48,8	57,2
Pravděpodobné minimum doby dotoku vrcholu/ Probable minimum traveltime of the peak	hod	5,0	8,0	21,6	25,3



Obr. 2. Závislost dotokové doby vrcholové koncentrace na vzdálenosti s použitím metody popsání Jobsonem (1997) za předpokladu, že průtok v limnigrafické stanici ve Front Royal je $29,4 \text{ m}^3/\text{s}$
Fig. 2. Relation of travel time of peak concentration to distance by using method described by Jobson (1997), assuming discharge at Front Royal gaging station $29.4 \text{ m}^3/\text{s}$



Obr. 3. Rozdíly $T_p - T_l$ ve Front Royal odvozené z tracerové studie od Tylora et al. (1986) a odhad hypotetického místa vnosu třetího června 2094
Fig. 3. Differences $T_p - T_l$ at Front Royal derived from tracer study by Tylor et al. (1986) and estimation of the hypothetical spill site on June 3rd 2094

At the time of the spill the flow at the Front Royal gaging station was $29.4 \text{ m}^3/\text{s}$. The hydrology and weather is assumed to be fairly uniform within the area so it will be assumed that the stream carrying the spill will be flowing at about $39.5 \text{ m}^3/\text{s}$, because the average drainage area belonging to the reach between Front Royal and Morgan Ford is assumed $5\,713 \text{ km}^2$. Likewise, the mean-annual flow of the ungaged stream is estimated as $60.7 \text{ m}^3/\text{s}$. Dimensionless* drainage area is estimated as $80\,984\,747\,016$. The dimensionless* relative discharge is estimated as 0.65 . With these values, the most probable velocity of the peak can be predicted as 0.408 m/s . The distance from Front Royal gaging station to Morgan Ford is $16\,411 \text{ m}$. The most probable travel time of the peak concentration of the pollution from Front Royal to Morgan Ford should, therefore, be 11.2 hours. The maximum probable velocity could be 0.91 m/s and probable minimum travel time of the peak could be 5 hours.

At the Front Royal gaging station, the difference between time of the peak and time of the leading edge have been recorded 5.3 hours. The most probable travel time of the peak from the spill site to Front Royal gaging station can be estimated from equation (2) as 48.2 hours. The most probable spill site could be located somewhere between Bixler Bridge and Bentonville (see Fig. 2).

If the tracer study is available, the estimates can be much improved.

2. Case, if the tracer study is available

Tracer study by Tylor et al. (1986) can be used. Table 2 and Fig. 3 are based on three

* this term is explained in Jobson (1997)

Tabulka 2. Upravená data z tracerové studie od Tylora et al. (1986)

Table 2. Rearranged data from tracer study by Tylor et al. (1986)

Úsek/Reach		Délka úseku/ Reach length [m]	Dotoková doba /Travel time [hod]					
Od/From	Do/To		T_p	T_L	T_p	T_L	T_p	T_L
Waynesboro	Hopeman	8528	12	9	14	11	16	13
Hopeman	Crimora	11907	14	12	16	13	19	16
Crimora	Harriston	10298	11	10	13	12	16	14
Harriston	Island Ford	27031	26	23	31	28	36	34
Island Ford	Shenandoah	21722	21	20	25	24	29	27
Shenandoah	Grove Hill	12711	10	8	12	10	15	12
Grove Hill	U.S. Highway 211	24135	20	19	25	21	30	26
U.S. Highway 211	Bixler Bridge	11263	18	14	23	18	29	22
Bixler Bridge	Bentonville	41995	33	30	41	36	52	44
Bentonville	Front Royal	24779	21	19	27	24	32	31
Front Royal	Morgan Ford	16412	20	18	25	23	32	30
Morgan Ford	U.S. Highway 17 and 50	17538	13	12	15	15	18	16
U.S. Highway 17 and 50	State Highway 7	23331	14	13	17	15	20	19
State Highway 7	State Highway 9	22043	16	14	19	18	24	21
State Highway 9	Harpers Ferry	12228	14	12	18	15	22	19
Průtok v měřicí stanici ve Front Royal v m ³ /s /Discharge at Front Royal gaging station in m ³ /s :			33,7		26,3		20,6	

2. Příklad, kdy je studie provedená na základě pokusů se stopovačem dostupná

Může být použita studie provedená na základě pokusů se stopovačem od Tylora et al. (1986). *Tabulka 2* a *obr. 3* se opírají o tři stránky z této studie. Za tím účelem byly použity stránky č. 21, stránka č. 23 a stránka č. 24. Díky tomu jsou přibližně známy kumulativní dotokové doby z potenciálních míst vnosu Waynesboro, Hopeman, Crimora, Harriston, Island Ford, Shenandoah, Grove Hill, U.S. Highway 211, Bixler Bridge a Bentonville do měřicí stanice ve Front Royal. Dotokové doby pro individuální úseky a vztah k průtoku ve vodoměrné stanici jsou uvedeny v *tabulce 2*. Jak je ukázáno na *obr. 3* (pro průtok ve vodoměrné stanici ve Front Royal 29,4 m³/s a $T_p - T_L = 5,3$ hod), místo vnosu by mohlo být někde mezi Bixler Bridge a Bentonville. Pokud je průtok ve vodoměrné stanici ve Front Royal 29,4 m³/s, pak může být odhadnuta dotoková doba vrcholu z Bixler Bridge do měřicí stanice Front Royal 62,2 hodiny, dotoková doba náběžné hrany z Bixler Bridge do měřicí stanice ve Front Royal 55,4 hodiny, dotoková doba vrcholu z Bentonville do měřicí stanice ve Front Royal může být odhadnuta na 24,5 hodiny a dotoková doba náběžné hrany z Bentonville do měřicí stanice ve Front Royal může být odhadnuta na 21,9 hodiny (viz *obr. 4*). V měřicí stanici ve Front Royal byl zaznamenán mezi časem vrcholu a časem náběžné hrany rozdíl 5,3 hodiny. Tomu odpovídá místo vnosu ve vzdálenosti přibližně 55 km od Front Royal proti proudu (*obr. 5*).

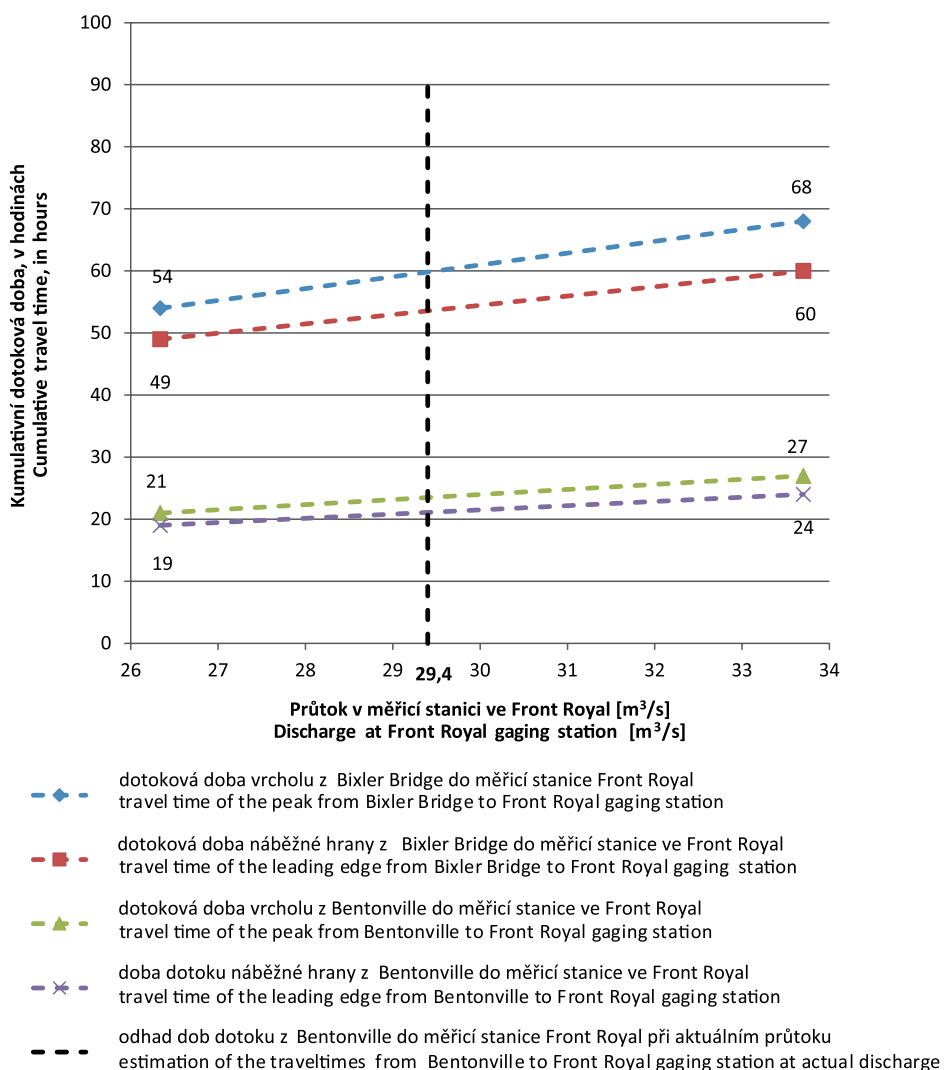
Rozdíl $T_p - T_L$ pro úsek z Front Royal do Morgan Fordu může být odhadnut z *tabulky 2* jako 2 hodiny. Je-li rozdíl $T_p - T_L$ pro úsek od místa vnosu po Front Royal 5,3 hodiny, pak je rozdíl $T_p - T_L$ pro úsek od místa vnosu po Morgan Ford 7,3 hodiny.

Rozdíl $T_p - T_H$ může být odhadnut pomocí rovnice (7) jako 4,6 hodiny.

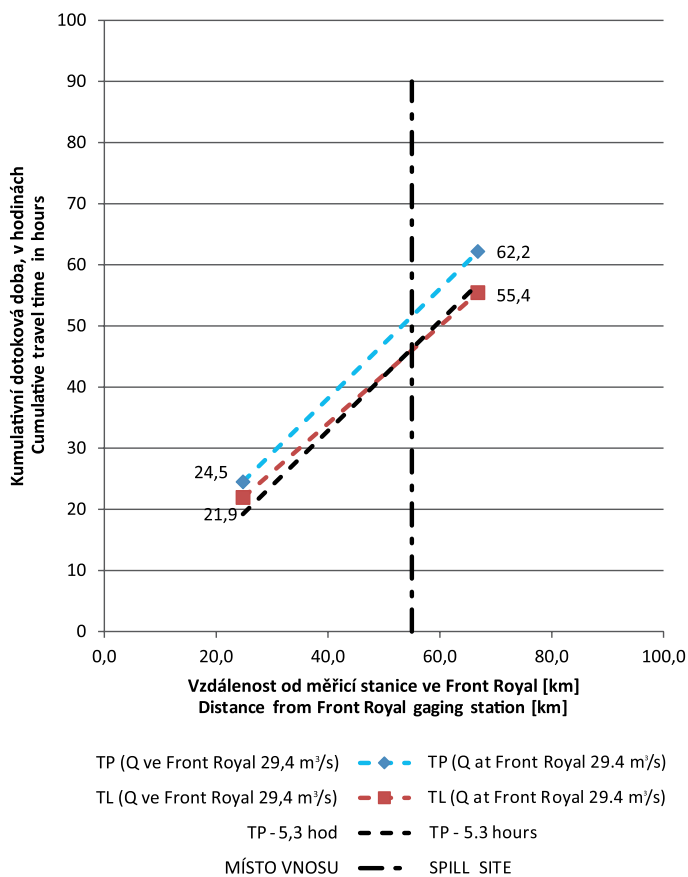
θ_H může být odhadnuto pomocí rovnice (6) jako 0,94.

Pecletovo číslo může být odhadnuto pomocí rovnice (5) jako 668,5.

pages of this study. Page No. 21, Page No. 23 and Page No. 24 were used for this purpose. Thanks to this, the cumulative travel times from potential spill sites Waynesboro, Hopeman, Crimora, Harriston, Island Ford, Shenandoah, Grove Hill, U.S. Highway 211, Bixler Bridge



Obr. 4. Odhad dotokových dob mezi Bixler Bridge a Front Royal a mezi Bentonville a Front Royal za předpokladu, že průtok v limnigrafické stanici ve Front Royal je 29,4 m³/s
Fig. 4. Estimation of travel times between Bixler Bridge and Front Royal and between Bentonville and Front Royal, assuming discharge at Front Royal gaging station 29.4 m³/s



Obr. 5. Odhad místa vnosu mezi Bixler Bridge a Bentonville za předpokladu, že průtok v limnigrafické stanici ve Front Royal je 29,4 m³/s
Fig. 5. Estimation of the spill site between Bixler Bridge and Bentonville, assuming discharge at Front Royal gaging station 29.4 m³/s

Výsledná předpověď vzestupné části průnikové křivky v Morgan Fordu je znázorněna na obr. 6.

Závěr

V tomto článku je popsán způsob možného využití studie stopovacích pokusů ve specifickém případě. Místo vnosu a čas vnosu mohou být poměrně dobře odhadnuty, jak je ukázáno na analýze dat z řeky Shenandoah, a studie provedená na základě pokusů se stopovačem pro tyto odhady je velmi užitečná. Zařízení v automatických monitorovacích stanicích umístěných na řekách poskytují kontinuální monitoring jakosti vody. Některá zařízení také umožňují rychlou detekci změn biologické kvality povrchové vody. Například v hraničním profilu na řece Odře na území České republiky byl umístěn Daphnia Toximeter

and Bentonville to Front Royal gaging station are approximately known. Travel times for individual reaches and relation to discharge at Front Royal gaging station are listed in Table 2. As it is shown in Fig. 3 (for discharge at Front Royal gaging station is 29.4 m³/s and $T_p - T_L = 5.3$ hours), the spill site could be somewhere between Bixler Bridge and Bentonville. If the discharge at Front Royal gaging station is 29.4 m³/s, then the travel time of the peak from Bixler Bridge to Front Royal gaging station can be estimated as 62.2 hours, the travel time of the leading edge from Bixler Bridge to Front Royal gaging station can be estimated as 55.4 hours, the travel time of the peak from Bentonville to Front Royal gaging station can be estimated as 24.5 hours and the travel time of the leading edge from Bentonville to Front Royal gaging station can be estimated as 21.9 hours (see Fig. 4). At the Front Royal gaging station, the difference between time of the peak and time of the leading edge have been recorded 5.3 hours. Corresponding distance to spill site is approximately 55 km upstream from Front Royal (see Fig. 5).

Difference $T_p - T_L$ for reach from Front Royal to Morgan Ford can be estimated from Table 2 as 2 hours. If difference $T_p - T_L$ for reach from spill site to Front Royal is 5.3 hours then difference $T_p - T_L$ for reach from spill site to Morgan Ford is 7.3 hours.

Difference $T_p - T_H$ can be estimated from equation (7) as 4.6 hours.

θ_H can be estimated from equation (6) as 0.94.

Pecllet number can be estimated from equation (5) as 668.5.

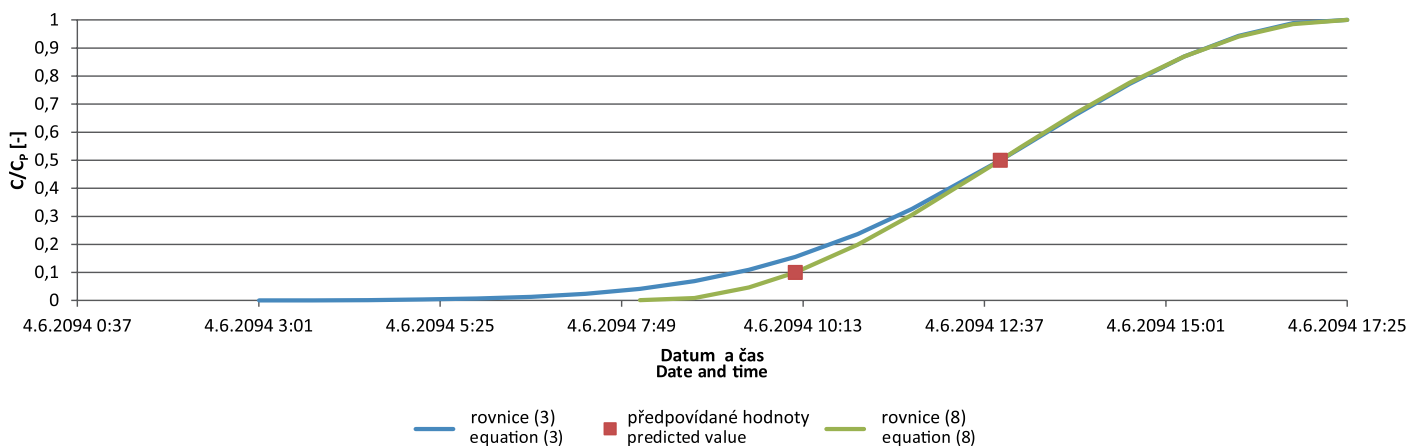
Prediction of the increasing part of the breakthrough curve at Morgan Ford is shown in Fig. 6.

Conclusions

The method of possible uses of the tracer study in the specific case is described in this paper. As shown on River Shenandoah data analysis, the spill site and the time of the spill can be approximately well estimated and tracer study is very useful for these estimations. Devices in automatic monitoring stations at water utilities located on rivers provide continuous monitoring of water quality. Some devices allow rapid detection of changes of biological quality of surface water too. For example, the Daphnia Toximeter produced by the firm bbe Moldaenke was located on the border-line profile on the territory of the Czech Republic on the Odra River and represented the first and only one tool of continual biological monitoring of surface water quality in the International Odra (Oder) River Basin. This device provides an early warning of the presence of toxic pollutants. Data of the water quality and toxic index are usually continuously recorded. This monitoring record can be analyzed to identify source of the pollution. Especially for instantaneous spill of the conservative pollution, any tracer study upstream of the monitoring station can significantly help with it.

Acknowledgement

Financial support for the research project TA01020714 "Vývoj nástrojů včasného varování a reakce v oblasti ochrany povrchových vod" from the Technology Agency of the Czech Republic is gratefully acknowledged.



Obr. 6. Predikce vzestupné části průnikové křivky v Morgan Ford

Fig. 6. Prediction of the increasing part of the breakthrough curve at Morgan Ford

vyrobený firmou bbe Moldaenke, jenž reprezentoval první a jediný nástroj kontinuálního biologického monitoringu jakosti povrchové vody v mezinárodním povodí řeky Odry. Toto zařízení umožňuje včasné varování při výskytu toxických polutantů. Údaje o jakosti vody a toxický index jsou obvykle kontinuálně zaznamenávány. Tento znám z monitoringu může být analyzován za účelem nalezení zdroje znečištění. Zvláště pro okamžitý vnos konzervativního znečištění může při tom být významně nápomocná libovolná studie provedená na základě pokusů se stopovačem uskutečněná nad monitorovací stanicí.

Poděkování

Tato práce vznikla díky podpoře projektu Vývoj nástrojů včasného varování a reakce v oblasti ochrany povrchových vod (evidenční číslo projektu TA01020714, označení projektu NAVARO), pro který je poskytovatelem podpory Technologická agentura České republiky.

Literatura/ References

- Jandora, J. a Daněček, J. (2002) Příspěvek k použití analytických metod řešení transportně disperzní rovnice (Contribution to application of analytical methods solving advection-dispersion equation). *J. Hydrol. Hydromech.*, vol. 50, No. 2, p. 139–156.
- Jobson, H.E. (1997) Prediction of Traveltime and Longitudinal Dispersion in Rivers and Streams. *J. Hydraul. Eng.*, 123, 971–978.
- Říha, J. a Stara, V. (2002) Stopovací pokusy na řekách Svitavě a Svatce. Část I. Příprava, realizace a vyhodnocení stopovacích pokusů (Tracing experiments at the Svitava and Svatka rivers. Part 1, Preparation, implementation and analysis of results of tracing experiments). *Vodní hospodářství a ochrana ovzduší*, 8, 227–230.
- Šajer, J. Odhad času vnosu (Estimation of the Time of the Spill). *VTEI*, 2014, roč. 56, č. 3, s. 12–15, příloha *Vodního hospodářství* č. 6/2014. ISSN 0322-8916, http://www.vuv.cz/fileadmin/user_upload/pdf/vtei/2014/vtei_3-2014.pdf
- Taylor, K.R., James, R.W., Jr., and Helinsky, B.M. (1986) Travel-time and dispersion in the Shenandoah River and its tributaries, Waynesboro, Virginia, to Harpers Ferry, West Virginia. *U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report* 86-4065, 60 p.

Ing. Jiří Šajer
VÚV TGM, v.v.i., pobočka Ostrava
jiri_sajer@vuv.cz
Příspěvek prošel lektorským řízením.

Ing. Jiri Sajer
T. G. Masaryk Water Research Institute, p.r.i., Czech Rep.
Ostrava Branch Departement
jiri_sajer@vuv.cz
The article has undergone a peer-review process.

ZMĚNY EKOSYSTÉMU STABILIZAČNÍ NÁDRŽE VENKOVSKÉ ČISTÍRNY PO APLIKACI BIOTECHNOLOGICKÉHO PŘÍPRAVKU (2)

Ladislav Havel, Blanka Desortová

Klíčová slova

venkovská čistírna odpadních vod – stabilizační nádrž – aplikace biotechnologického přípravku – změny ekosystému – fytoplankton – zooplankton

Souhrn

V rámci projektu TA ČR č. TA01021419 „Výzkum intenzifikace venkovských a malých ČOV neinvestičními prostředky“ probíhalo v letech 2011 až 2014 sledování a hodnocení vývoje a změn vybraných hydrobiologických ukazatelů v systému venkovské čistírny odpadních vod v souvislosti s aplikací jednoho typu biotechnologického přípravku.

Získané výsledky jsou podkladem pro vyhodnocení vlivu této aplikace na případné změny ekosystému v posledním článku této čistírny odpadních vod (dále jen ČOV) – stabilizační nádrži.

Řešení projektu bylo rozděleno do tří etap:

1. etapa, rok 2011: výchozí stav; sledování a hodnocení sezonního vývoje hydrobiologické složky ekosystému před aplikací biotechnologického přípravku;
2. etapa, roky 2012 a 2013: sledování a hodnocení sezonního vývoje hydrobiologické složky ekosystému při aplikaci biotechnologického přípravku;
3. etapa, rok 2014: kontrolní rok; sledování a hodnocení sezonního vývoje hydrobiologické složky ekosystému po ukončení aplikace biotechnologického přípravku.

Conversion factors and abbreviations

For the convenience of readers who may prefer to use inch-pound units rather than metric (International System) units used in this report, values may be converted by using the following factors:

Multiply metric unit	By	To obtain inch-pound unit
meter	[m]	3.2808 foot [ft]
kilometer	[km]	0.6215 mile [mi]
square kilometer	[km ²]	0.3861 square mile [mi ²]
meter per second	[m/s]	3.2808 foot per second [ft/s]
cubic meter per second	[m ³ /s]	35.3107 cubic foot per second [ft ³ /s]
gram	[g]	0.0022 pound [lb]

Z výsledků je zřejmé, že ve druhé etapě (2012 a 2013) došlo oproti výchozímu stavu (2011) ke změnám ve vzhledu stabilizační nádrže, výskytu makrofyt, koncentraci rozpuštěného kyslíku, koncentraci chlorofylu-a a kvalitativním složení zooplanktonu. Výsledky roku 2014 naznačují pozvolný návrat ke stavu v roce 2011 (především ve vzhledu stabilizační nádrže, výskytu makrofyt a složení zooplanktonu).

Úvod

Čtyřleté sledování vybraných hydrobiologických ukazatelů extenzivní venkovské čistírny odpadních vod bylo součástí projektu TA ČR č. TA01021419 „Výzkum intenzifikace venkovských a malých ČOV neinvestičními prostředky“ (2011–2014). Cílem řešeného projektu bylo prokázat, zda lze pomocí systémového využití biotechnologických přípravků řady SEKOL® zlepšit stav a funkci malých ČOV, a to nejen aktivních, ale i extenzivních ČOV. Zároveň bylo cílem projektu stanovit optimální postup sledování aplikace biotechnologických přípravků na ČOV (Šťastný, 2010).

Účinnost použitých biotechnologických přípravků je založena na aktivitě enzymatického vybavení vybraných kmenů sporulujících bakterií rodu *Bacillus*, izolovaných z přírodních materiálů. Podle klasifikace WHO patří tyto kmeny mezi nepatogenní a nejsou známy žádné jejich negativní účinky. Přípravky vykazují proteolytickou, lipolytickou a amylolytickou enzymatickou aktivitu. Jejich aplikací dochází k urychlenému rozkladu biologicky rozložitelných látek, přičemž maximální účinnost lze očekávat v průběhu vegetační sezony. Aplikace přípravku může přispět ke zvýšení účinnosti celého procesu čištění odpadních vod včetně významného ovlivnění estetického hlediska – např. odstranění zápachu (materiál spoleušitelské firmy projektu VENTURA-VENKOV, s.r.o.).

Příspěvek doplňuje článek Havel a Desortová (2014) o výsledky a hodnocení celého období řešení výše uvedeného projektu za období 2011–2014. Navazuje na další publikované články týkající se tohoto projektu: Beránková et al., 2013(a); Beránková et al., 2013(b); Beránková et al., 2014(a); Beránková et al., 2014(b).

V rámci projektu byla sledována venkovská čistírna odpadních vod vybudovaná pro 130 ekvivalentních obyvatel s jednotnou kanalizací,

zemní usazovací nádrží a stabilizační nádrží (parametry čistírny jsou uvedeny v článku Beránková et al., 2013(b)).

Čtyřleté sledování hydrobiologické složky ekosystému zemní usazovací nádrže a stabilizační nádrže venkovské ČOV bylo v souladu s metodikou řešení projektu rozděleno do tří etap:

1. etapa, rok 2011: výchozí stav – hodnocení sezonního vývoje hydrobiologické složky ekosystému před aplikací biotechnologických přípravků řady SEKOL®;

2. etapa, roky 2012 a 2013: hodnocení sezonního vývoje hydrobiologické složky ekosystému s experimentální aplikací biotechnologických přípravků řady SEKOL®;

3. etapa, rok 2014: kontrolní rok – hodnocení sezonního vývoje hydrobiologické složky ekosystému po ukončení aplikace biotechnologických přípravků řady SEKOL®.

V následujícím textu jsou shrnuty výsledky sledování hydrobiologických ukazatelů extenzivní venkovské ČOV za dobu řešení projektu v letech 2011 až 2014 s důrazem na koncový článek systému – stabilizační nádrž (rybník Čeperka).

Metodika

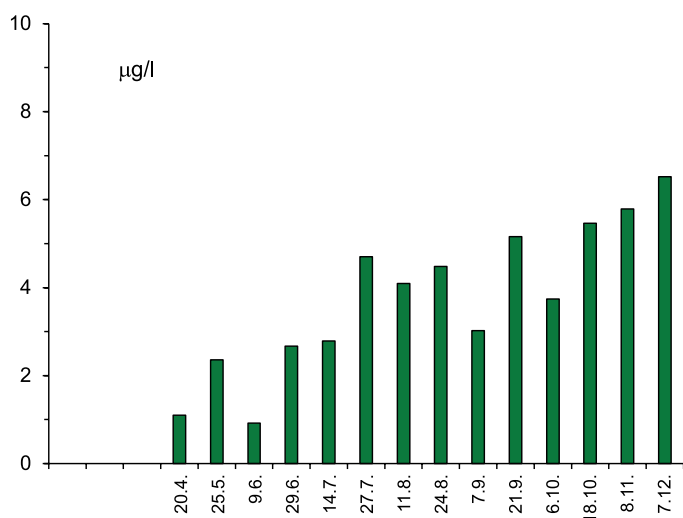
Biotechnologický přípravek byl ve formě aktivované kultury (připravené na místě rozmícháním vypočtené dávky přípravku ve 2–4 litrech vody a následnou aktivací 15–20 minut) dávkován spoluměšitelskou firmou projektu VENTURA-VENKOV, s.r.o., do přítoku z kanalizace, do zemní usazovací nádrže, do přítoku do stabilizační nádrže a do cca deseti míst po jejím obvodu. Přípravek byl mimo vegetační sezonu aplikován 1x měsíčně; ve vegetační sezoně byla dávka rozdělena na polovinu a aplikována 2x měsíčně.

Vzorky pro hodnocení hydrobiologické složky ekosystému (fytoplankton, zooplankton) byly po celou dobu řešení projektu odebírány srovnatelným způsobem na stejných místech v profilech (situační schéma viz Havel a Desortová, 2014): zemní usazovací nádrž, stabilizační nádrž-přítok, stabilizační nádrž-odtok.

Interval odběru vzorků byl mimo vegetační období (leden–březen; říjen–prosinec) čtyřtýdenní; ve vegetačním období (březen–září) čtrnáctidenní. Součástí každého odběru vzorků bylo *in situ* měření základních fyzikálně-chemických ukazatelů: průhlednost vody, teplota vody, hodnota pH, koncentrace kyslíku spolu se sledováním výskytu makrofyty a fotodokumentací.

Sledovány byly následující ukazatele: biomasa fytoplanktonu (koncentrace chlorofylu-a; $\mu\text{g/l}$), kvalitativní složení fytoplanktonu, abundance zooplanktonu (počet jedinců v 1 litru), kvalitativní složení zooplanktonu.

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



Obr. 1. Stabilizační nádrž: koncentrace chlorofylu-a ($\mu\text{g/l}$; data v logaritmické transformaci), 2011

Fig. 1. Stabilization pond: chlorophyll-a concentration ($\mu\text{g/l}$; data in logarithmic transformation), 2011

Výsledky

Průhlednost vody

Během vegetační sezony v roce 2011 bylo měření průhlednosti často znemožněno masivními zárosty makrovegetace (*Ceratophyllum* sp.). Po jejich degradaci v období srpen až listopad byla voda zakalená a průhlednost byla okolo 0,3–0,4 m.

V letech 2012 a 2013 vykazovala průhlednost vždy obdobný průběh, výrazně odlišný od roku 2011. V prvním čtvrtletí 2012 a 2013 (leden až polovina dubna) byla průhlednost vždy relativně nízká (0,3–0,5 m). Důvodem byla především vyšší koncentrace chlorofylu-a. Od konce dubna až do konce let 2012 a 2013 (kdy velké perloočky *Daphnia magna* účinně omezovaly biomasu fytoplanktonu) byla průhlednost převážně větší než 1 m (dno).

Počátkem roku 2014 (leden–březen) byla průhlednost mezi 0,65 a 0,80 m, poté až do poloviny července se pohybovala mezi 0,8–1,0 m (dno). Ve druhé polovině července do začátku srpna její měření opět znemožnil masivní zárost makrovegetace (*Ceratophyllum* sp.). Od druhé poloviny srpna do konce sledování (říjen 2014) se její hodnoty pohybovaly mezi 0,9–1,0 m (dno).

Koncentrace rozpuštěného kyslíku

V letech 2012 a 2013 došlo oproti roku 2011 i k výrazné změně koncentrace rozpuštěného kyslíku v odtoku ze stabilizační nádrže. V roce 2014 se hodnoty koncentrace kyslíku < 1 mg/l nevyskytly; poněkud se však oproti období let 2012 a 2013 snížila jeho maximální koncentrace:

2011: $n = 11$; min. 0,23 mg/l; max. 8,86 mg/l; koncentrace < 1 mg/l: 7x (63,6 %)

2012: $n = 12$; min. 0,56 mg/l; max. 17 mg/l; koncentrace < 1 mg/l: 1x (8,3 %)

2013: $n = 15$; min. 1,6 mg/l; max. 19,95 mg/l; koncentrace < 1 mg/l: 0x (0 %)

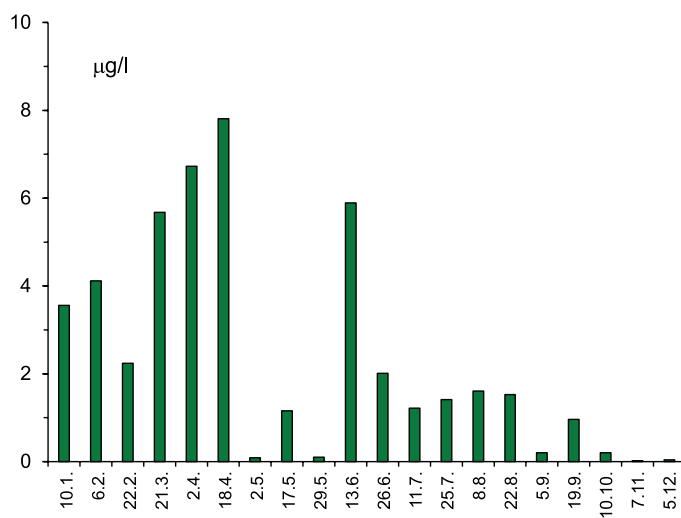
2014: $n = 15$; min. 1,26 mg/l; max. 12,99 mg/l; koncentrace < 1 mg/l: 0x (0 %)

Fytoplankton stabilizační nádrže

Trvalým zdrojem biomasy fytoplanktonu je zemní usazovací nádrž, do které ústí odpadní vody z jednotné kanalizace ČOV. Nejvyšší koncentrace chlorofylu-a se pravidelně vyskytovaly v letním období.

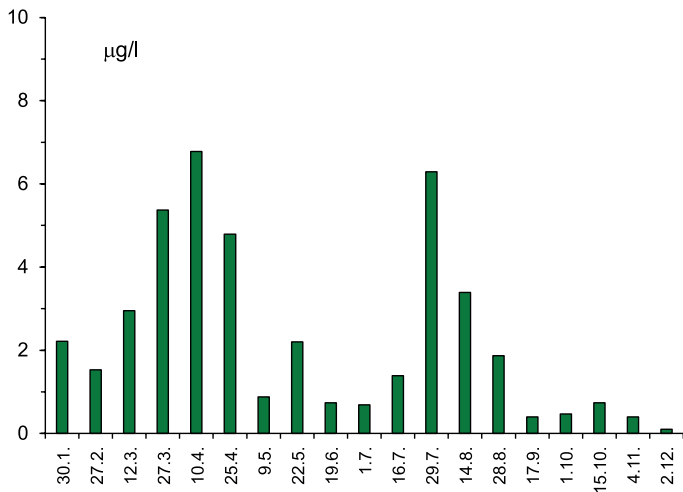
Průběh změn biomasy fytoplanktonu (koncentrace chlorofylu-a) za sledované období 2011–2014 v profilu „stabilizační nádrž-odtok“ je uveden na obr. 1–4. Vzhledem ke značnému kolísání koncentrace chlorofylu-a ve sledovaných profilech v průběhu vegetačních sezon jsou údaje v grafech prezentovány v logaritmické transformaci.

Z grafů je zřejmé, že roční průběh koncentrace chlorofylu-a byl v jednotlivých etapách řešení projektu odlišný. V první etapě (2011, výchozí stav bez dávkování biotechnologického přípravku) se koncen-



Obr. 2. Stabilizační nádrž: koncentrace chlorofylu-a ($\mu\text{g/l}$; data v logaritmické transformaci), 2012

Fig. 2. Stabilization pond: chlorophyll-a concentration ($\mu\text{g/l}$; data in logarithmic transformation), 2012

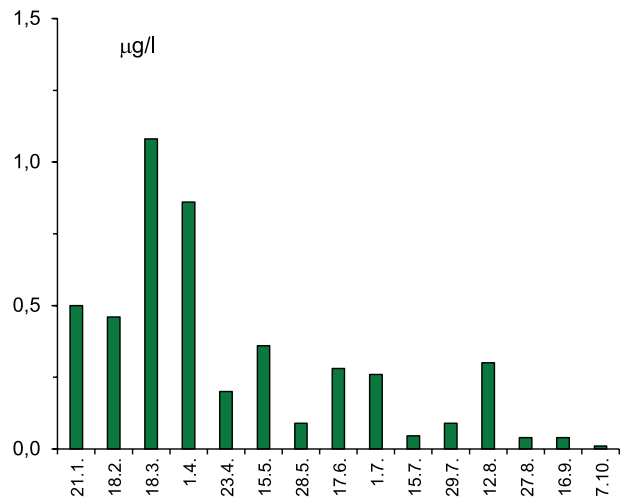


Obr. 3. Stabilizační nádrž: koncentrace chlorofylu-a ($\mu\text{g/l}$; data v logaritmické transformaci), 2013

Fig. 3. Stabilization pond: chlorophyll-a concentration ($\mu\text{g/l}$; data in logarithmic transformation), 2013

trace chlorofylu-a ve stabilizační nádrži v období duben až prosinec v podstatě kontinuálně zvyšovala (obr. 1). Ve druhé etapě (2012–2013, dávkován biotechnologický přípravek) byl roční průběh koncentrace chlorofylu-a odlišný a vykazoval dvě výrazná maxima: duben a červen/červenec (obr. 2, 3). Ve třetí etapě (2014, po ukončení aplikace biotechnologického přípravku) se koncentrace chlorofylu-a výrazně snížila (tabulka 1). Jarní maximum bylo mnohem méně výrazné než v předchozí etapě a po následujícím poklesu se biomasa fytoplanktonu udržela na nízké úrovni až do konce sledovaného období (obr. 4).

Druhé složení fytoplanktonu stabilizační nádrže bylo ovlivněno strukturou a přísunem fytoplanktonu ze zemní usazovací nádrže. Ve fytoplanktonu obou odběrových profilů (přítok, odtok) se trvale vyskytoval zástupce rodu *Chlamydomonas* a ojediněle *Euglena viridis*. Výskyt zeleného bičkovce *Colacium cyclopicola* – jak ve volné vodě, tak přisedle na přítomných zástupcích zooplanktonu – byl zjištěn v březnu a v dubnu roku 2012 a 2014, srovnatelně s výskytem organismu v profilu „zemní usazovací nádrž“. Podobně v letech 2011, 2012 a 2014 byl v biosestonu stabilizační nádrže zjištěn silný výskyt zástupce purpurových bakterií z rodu *Chromatium*. V září roku 2011 přítomnost vysokého množství tohoto organismu způsobila načervenalé zbarvení vody ve stabilizační nádrži.



Obr. 4. Stabilizační nádrž: koncentrace chlorofylu-a ($\mu\text{g/l}$; data v logaritmické transformaci), 2014

Fig. 4. Stabilization pond: chlorophyll-a concentration ($\mu\text{g/l}$; data in logarithmic transformation), 2014

Zooplankton stabilizační nádrže

Změny abundance (počet jedinců v 1 l) zooplanktonu v profilu „stabilizační nádrž-odtok“ za období 2011 až 2014 jsou uvedeny na obr. 5–8. Přes kolísání abundance mezi jednotlivými odběry je zřejmé, že v roce 2014 byly v obou sledovaných profilech stabilizační nádrže zjištěny nejnižší průměrné hodnoty abundance za celé sledované období.

Stabilizační nádrž-přítok:

prům. abundance zooplanktonu v jednom odběru 2011: 571 jed./l

prům. abundance zooplanktonu v jednom odběru 2012: 1925 jed./l

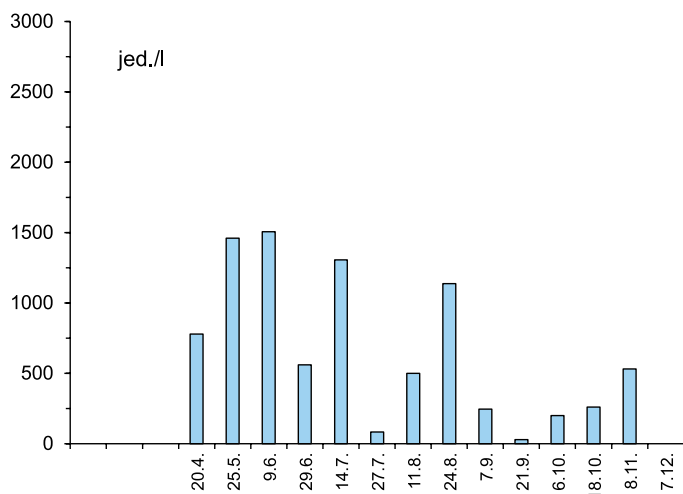
prům. abundance zooplanktonu v jednom odběru 2013: 651 jed./l

prům. abundance zooplanktonu v jednom odběru 2014: 483 jed./l

Tabulka 1. Průměrné a maximální hodnoty koncentrace chlorofylu-a v profilech odběru vzorků (2011–2014)

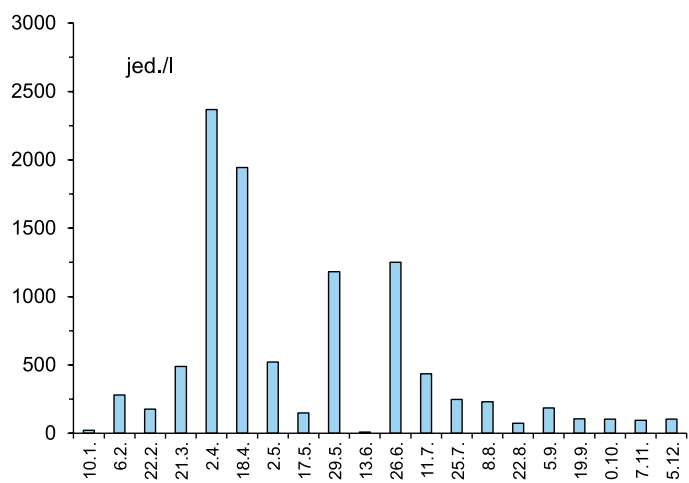
Table 1. Mean and maximum chlorophyll-a concentration values in sampling profiles (2011–2014)

Profil	Koncentrace chlorofylu-a, $\mu\text{g/l}$							
	2011		2012		2013		2014	
	prům.	max.	prům.	max.	prům.	max.	prům.	max.
	IV.–XII.		I.–XII.		I.–XI.		I.–X.	
Zemní usazovací nádrž	194,0	567,4	688,2	4 853,8	302,6	2 281,2	211,3	814,1
Stabilizační nádrž-přítok	115,7	590,9	229,2	2 404,0	160,0	1 920,5	15,7	153,5
Stabilizační nádrž-odtok	127,0	675,4	205,4	2 476,5	102,9	883,6	2,7	11,9



Obr. 5. Stabilizační nádrž: abundance zooplanktonu (jed./l), 2011

Fig. 5. Stabilization pond: zooplankton abundance (ind./l), 2011



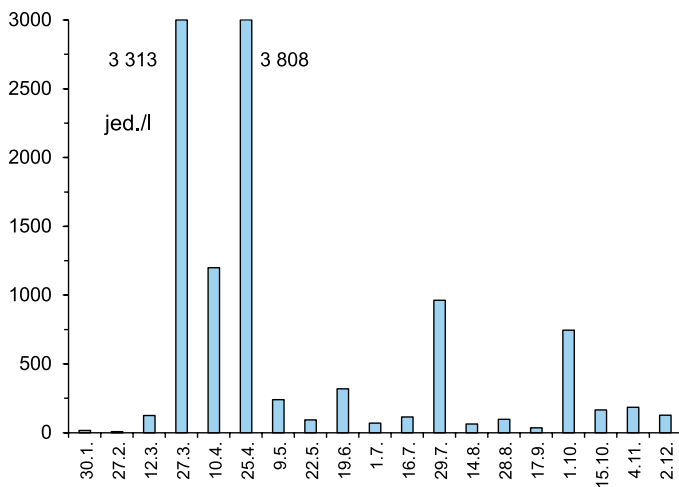
Obr. 6. Stabilizační nádrž: abundance zooplanktonu (jed./l), 2012

Fig. 6. Stabilization pond; zooplankton abundance (ind./l), 2012

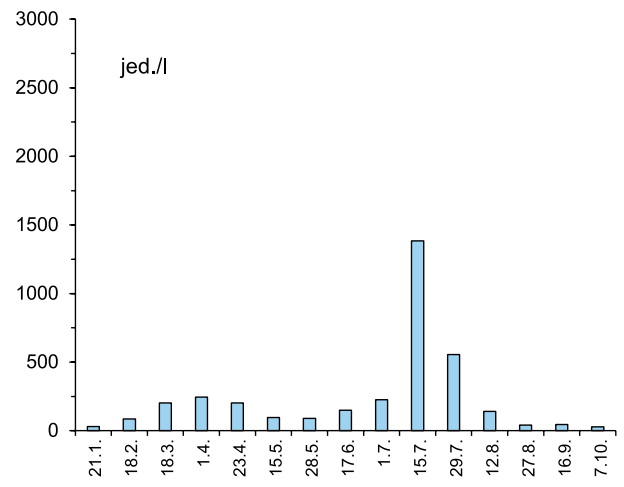
Stabilizační nádrž-odtok:

prům. abundance zooplanktonu v jednom odběru 2011: 760 jed./l
prům. abundance zooplanktonu v jednom odběru 2012: 500 jed./l
prům. abundance zooplanktonu v jednom odběru 2013: 615 jed./l
prům. abundance zooplanktonu v jednom odběru 2014: 235 jed./l
K výrazné změně v kvalitativním složení zooplanktonu došlo v letech 2012–2013. V roce 2011 dominovali především zástupci

drobného zooplanktonu (Rotatoria, Copepoda+nauplii, malé druhy Cladocera – *Bosmina longirostris*, *Ceriodaphnia* sp.). V následujících letech 2012 a 2013 se výrazně prosadily velké druhy perlooček s dominancí *Daphnia magna*. V roce 2014 dominance perloočky *Daphnia magna* přetrvávala jen v první polovině roku, poté začali opět převládat menší zástupci perlooček (*Scapholeberis* sp., Chydoridae) – obr. 9–12.



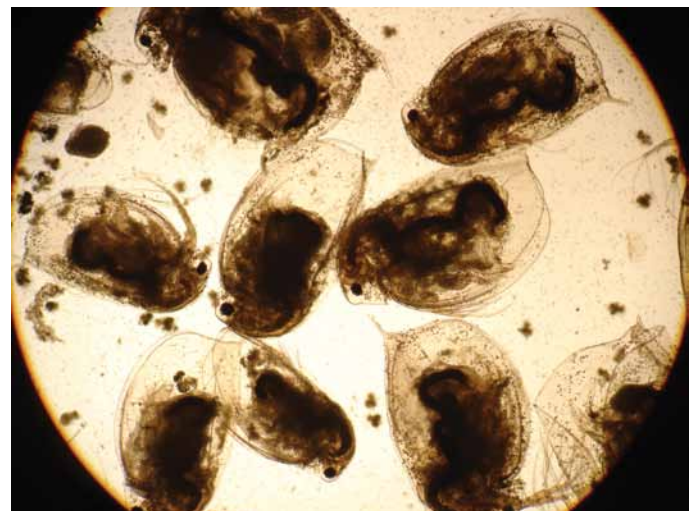
Obr. 7. Stabilizační nádrž: abundance zooplanktonu (jed./l), 2013
Fig. 7. Stabilization pond: zooplankton abundance (ind./l), 2013



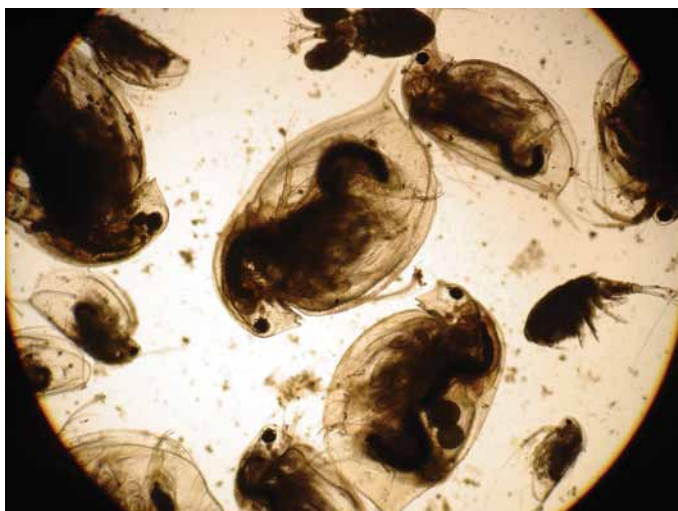
Obr. 8. Stabilizační nádrž: abundance zooplanktonu (jed./l), 2014
Fig. 8. Stabilization pond: zooplankton abundance (ind./l), 2014



Obr. 9. Zooplankton stabilizační nádrže, léto 2011
Fig. 9. Zooplankton of stabilization pond, summer 2011



Obr. 10. Zooplankton stabilizační nádrže, léto 2012 a 2013
Fig. 10. Zooplankton of stabilization pond, summer 2012 and 2013



Obr. 11. Zooplankton stabilizační nádrže, jaro 2014
Fig. 11. Zooplankton of stabilization pond, spring 2014



Obr. 12. Zooplankton stabilizační nádrže, podzim 2014
Fig. 12. Zooplankton of stabilization pond, autumn 2014

Podíl skupiny Cladocera na celkové abundanci zooplanktonu (a podíl druhu *Daphnia magna* na abundanci skupiny Cladocera, který v těchto podmínkách dokáže nejúčinněji kontrolovat biomasu fytoplanktonu) v jednotlivých letech:

Stabilizační nádrž-přítok:

2011: Cladocera 17 %; z toho *Daphnia magna* 0 %
2012: Cladocera 17 %; z toho *Daphnia magna* 100 %
2013: Cladocera 17 %; z toho *Daphnia magna* 100 %
2014: Cladocera 54 %; z toho *Daphnia magna* v období leden–květen 95 %; v dalším období (červen–říjen) 79 %

Stabilizační nádrž-odtok:

2011: Cladocera 17 %; z toho *Daphnia magna* 0 %
2012: Cladocera: 45 %; z toho *Daphnia magna* 100 %
2013: Cladocera: 31 %; z toho *Daphnia magna* 100 %
2014: Cladocera: 31 %; z toho *Daphnia magna* v období leden–květen 90 %; v dalším období (červen–říjen) 37 %

Podíl velkého filtrujícího zooplanktonu (v tomto případě *Daphnia magna*) spolu s jeho velkou biomasou měl v letech 2012–2013 zásadní vliv na množství fytoplanktonu (koncentraci chlorofylu-a) ve stabilizační nádrži. V roce 2014 tento vliv i přes nižší zastoupení velkých filtrátorů přetrvával. Ve druhé polovině sezony 2014 je patrný výrazný pokles podílu *Daphnia magna* ve skupině Cladocera, nicméně i tento nižší podíl v abundanci (vzhledem ke své biomase) byl stále schopen výrazně omezit biomasu fytoplanktonu.

Vzhled stabilizační nádrže, výskyt makrofyt

V roce 2011 byla stabilizační nádrž ve vegetačním období na většině plochy pokryta okřehekem (*Lemna* sp.). Velká část jejího dna byla zarostlá porostem submerzních makrofyt (růžkatec *Ceratophyllum*

sp.). V roce 2012 se okřehek vyskytoval pouze ojediněle v jarních měsících v severovýchodní části nádrže, pak zcela vymizel a v roce 2013 se nevyskytoval. Zárosty submerzních makrofyt v letech 2012 a 2013 nebyly zjištěny. V roce 2013 se okřehek na nádrži nevyskytoval vůbec, v roce 2014 se na části stabilizační nádrže opět objevil. Ve druhé polovině vegetační sezony 2014 se růžkatec (*Ceratophyllum* sp.) opět vyskytoval na značné části plochy dna. Vzhled stabilizační nádrže v letním období 2011 až 2014 je na obr. 13–16.

Závěr

Řešení projektu TA ČR č. TA01021419 „Výzkum intenzifikace venkovských a malých ČOV neinvestičními prostředky“ probíhalo v letech 2011–2014 ve třech etapách:

1. 2011: výchozí stav,
2. 2012–2013: aplikace biotechnologických přípravků řady SEKOL[®],
3. 2014: po ukončení aplikace biotechnologických přípravků řady SEKOL[®] v roce 2013.

Z výsledků je zřejmé, že ve druhé etapě došlo oproti první etapě k výrazným změnám v ekosystému stabilizační nádrže především v ukazatelích:

- průhlednost vody,
- koncentrace rozpuštěného kyslíku,
- sezonní průběh biomasy fytoplanktonu (koncentrace chlorofylu-a),
- kvalitativní složení společenstva zooplanktonu,
- výskyt emerzní a submerzní makrovegetace,
- vzhled stabilizační nádrže.

Některé výsledky třetí etapy naznačují postupný návrat k výchozímu stavu stabilizační nádrže. Tento proces je nejvýraznější především v ukazatelích:



Obr. 13. Stabilizační nádrž, léto 2011
Fig. 13. Stabilization pond, summer 2011



Obr. 14. Stabilizační nádrž, léto 2012
Fig. 14. Stabilization pond, summer 2012



Obr. 15. Stabilizační nádrž, léto 2013
Fig. 15. Stabilization pond, summer 2013



Obr. 16. Stabilizační nádrž, léto 2014
Fig. 16. Stabilization pond, summer 2014

- kvalitativní složení společenstva zooplanktonu,
- výskyt emerzní a submerzní makrovegetace,
- vzhled stabilizační nádrže.

Z výsledků řešení projektu je zřejmé, že hydrobiologický monitoring v delším období poskytuje cenné informace a je bezpodmínečnou součástí hodnocení vlivu každé aplikace biotechnologických přípravků na vodní ekosystémy.

Poděkování

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

Literatura

- Beránková, M., Valdmanová, J. a Šťastný, V. (2013 a) Sledování stabilizační nádrže Kobylice. *Sborník přednášek a posterových sdělení z bienální konference Vodní nádrže 2013*, Brno, 25.–26. 9. 2013.
- Beránková, M., Valdmanová, J., Šťastný, V., Taufer, O. a Marek, V. (2013 b) Sledování funkce venkovské a domovní čistírny s použitím biotechnologických přípravků. *VTEI*, roč. 55, č. 6, s. 10–13, příloha *Vodního hospodářství* č. 12/2013.
- Beránková, M., Šťastný, V. a Marek, V. (2014) Zkušenosti ze sledování vlivu enzymatických přípravků na funkci a provoz malých biologických čistíren odpadních vod. *Sborník přednášek ze semináře Nové metody a postupy při provozování čistíren odpadních vod*, Moravská Třebová, 8.–9. 4. 2014.
- Beránková, M., Šťastný, V., Jelínková, V., Desortová, B. a Marek, V. (2014) Zkušenosti ze sledování vlivu enzymatických přípravků na funkci a provoz malých biologických čistíren odpadních vod (2014). *Zborník prednášok 8. bienálnej konferencie s medzinárodnou účasťou Odpadové vody 2014*. Štrbské Pleso, 22.–24. 10. 2014.
- ČSN EN 15110 (2007) Jakost vod. Návod pro odběr vzorků zooplanktonu ze stojatých vod. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- ČSN ISO 10260 (1996): Jakost vod. Měření biochemických ukazatelů. Spektrofotometrické stanovení koncentrace chlorofylu-a. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- ČSN 757712 (2013): Kvalita vod – Biologický rozbor – Stanovení biosestonu. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- Havel, L. a Desortová, B. (2014) Změny ekosystému stabilizační nádrže venkovské čistírny po aplikaci biotechnologického přípravku. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace (VTEI)*, 2014, roč. 56, č. 2, s. 11–15, ISSN 0322-8916, příloha *Vodního hospodářství* č. 4/2014.
- Příkryl, I. (2006) Metodika odběru a zpracování vzorků zooplanktonu stojatých vod. VÚV TGM, 14 s.
- Šťastný, V. (2010) Návrh projektu veřejné soutěže ve výzkumu, vývoji a inovacích, TA ČR Alfa. www.ventura-venkov.cz

The changes in the ecosystem of a rural waste water treatment plant stabilization pond after the biotechnological agent application (2) (Havel, L.; Desortova, B.)

Key words

rural waste water treatment plant – stabilization pond – biotechnological agent application – ecosystem changes – phytoplankton – zooplankton

The monitoring and assessment of development and changes of selected hydrobiological indicators in rural waste water treatment plant in relation to biotechnological agent application has been conducted within the TA CR project no. TA01021419 “Research of rural and small waste water treatment plants intensification with non-investment funds”.

The data obtained serve as a base for evaluation of effects of this application on possible ecosystem changes in last segment of this waste water treatment plant – the stabilization pond.

A work on the project was divided into three stages:

1. First stage, 2011: Initial state; monitoring and assessment of seasonal development of hydrobiological component of the pond ecosystem prior to application of biotechnological agent.

2. Second stage, 2012 and 2013: monitoring and assessment of seasonal development of hydrobiological component of the pond ecosystem during application of biotechnological agent.

3. Third stage, 2014: Controlling year: monitoring and assessment of seasonal development of hydrobiological component of the pond ecosystem after application of biotechnological agent.

It is clear from the results that there was a change in visual appearance, macrophytes presence, dissolved oxygen and chlorophyll-a content and qualitative composition of zooplankton in the stabilization pond in the second stage (2012 and 2013; application of biotechnological agent) compared to the first stage (2011). The results from 2014 indicate a gradual regression to the initial state from 2011 (primarily in terms of visual appearance of the pond, macrophyte presence and zooplankton composition).

RNDr. Ladislav Havel, CSc.

RNDr. Blanka Desortová, CSc.

VÚV TGM, v.v.i., Praha

ladislav_havel@vuv.cz

Příspěvek prošel lektorským řízením.

Publikace vydané VÚV TGM, v.v.i., v r. 2014

Mattas, D.: Výpočet průtoku v otevřených korytech

Kult, A.: Dějiny právních vztahů k vodám na území ČR. I. díl – do r. 1253

Hanslík, E., Marešová, D. aj.: Vliv provozu Jaderné elektrárny Temelín na hydrosféru a další složky životního prostředí za období 2001–2015

Kalinová, M. (ed.): Zdroje podzemních vod na česko-saském pomezí

I. Oblast Hřensko–Křinice/Kirnitzsch

II. Oblast Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin

Pavelková, M. aj.: Historické rybníky ČR: srovnání současnosti se stavem v 2. pol. 19. stol.

Štěpánková, P. (ed.): Implementace povodňové směrnice do podmínek ČR

Sedlářová, B. (ed.): XXI. Konzultační dny pro pracovníky vodohospodářských radiologických laboratoří

VTEI VODOHOSPODÁŘSKÉ
TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

Water Management Technical and Economical Information

Odborný dvouměsíčník specializovaný na výzkum v oblasti vodního hospodářství. Je uveden v Seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR.

Redakční rada: RNDr. D. Baudišová, Ph.D., Ing. Š. Blažková, DrSc., Ing. P. Bouška, Ph.D., prof. Ing. A. Grünwald, CSc., doc. Ing. A. Havlík, CSc., prof. RNDr. A. Sládečková, CSc., prof. Ing. J. Zezulák, DrSc.

Ročník 56

ISSN 0322-8916

ISSN 1805-6555 (on-line)

MK ČR 6365

**VÚV
TGM**

Výzkumný ústav vodohospodářský

T. G. Masaryka, v.v.i.

Podbabská 30

160 00 Praha 6

IČO 00020711

Kontakt: Mgr. S. Garciova
tel.: 220 197 282, e-mail: garciova@vuv.cz