



Fontana®



Samočistící česle pro odběratele z různých zemí

**BAREVNÉ PROVEDENÍ UPRAVÍME
DLE PŘÁNÍ ZÁKAZNÍKA**

fontanar@fontanar.cz

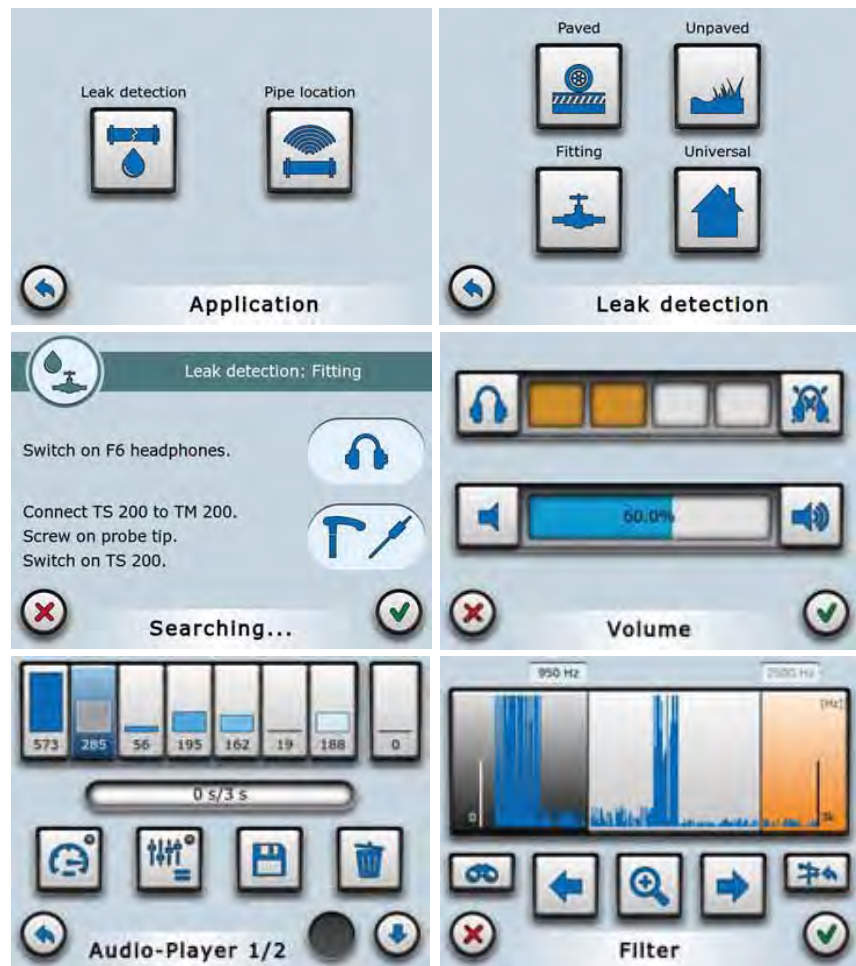
www.fontanar.cz



18.–19. 6. Rybníky – naše dědictví i bohatství pro budoucnost. Praha.
Příspěvky a přihlášky na konferenci zasílejte do 26. 4. na tereza.davidova@fsv.cvut.cz

17.–18. 9. Provoz a údržba staveb krajinného inženýrství. Praha.
Příspěvky zasílejte do 30. 4. na j.casek@3eprojektovani.cz

**PŘÍLOHA
•VTEI•**



AQUAPHON®

Elektroakustický bezdrátový detekční přístroj
profesionální - flexibilní - inteligentní



kompletně bezdrátový systém | dotykový 5,7" VGA displej | inteligentní filtry
automatické ukládání měření pro následnou analýzu | jednoduché ovládání skrze průvodce
flexibilní a maximálně komfortní nosný systém



DISA s.r.o.

Barvy 784/1, CZ 638 00 Brno
T: +420 548 141 221 | F: +420 545 222 706
www.disa.cz | info@disa.cz

DISA PLUS s.r.o.

Zlatomoravecká 5, SK 949 01 Nitra
T: +421 376 423 689 | F: +421 233 331 727
www.disaplus.sk | info@disaplus.sk

Hermann Sewerin GmbH

Robert Bosch Str. 3 | D 33334 Guetersloh
T: +49 5241 9340
www.sewerin.com | info@sewerin.com



Jak jsem prožíval Světový den vody?

Trvale udržitelný rozvoj byl letošním mottem Světového dne vody. Ministerstvo zemědělství, které každoročně u příležitosti této události vypisuje soutěž pro děti, tento pojem přiblížilo vnímání dětí a soutěž nazvalo Voda pro budoucnost. Zdá se mi tento název velice zdařilý i s ohledem na to, aby téma bylo srozumitelné široké veřejnosti a hlavně té nejmladší, v které je – jak se poněkud zprofanované říká – ona naše budoucnost. Ostatně na tuto dětskou až pubertální skupinu bylo cíleno mnoho akcí. Dokládá to třeba nově připravený film o povodních, který byl představen během setkání. Je určen pro ty -náctileté. Formou zábavnou (žádné mentorování, spíše akčnost), srozumitelnou (film se snaží věci odborně podat způsobem hravým a populárně naučným) a hlavně moderní (IT produkty provázely celý pořad) film vysvětluje mládeži hlavně v pubertálním věku všechno kolem povodní. Zdůrazňuje, že povodně jsou přirozeným jevem, kterému člověk zabránit nemůže, ale může se jim bránit a negativní následky umenšovat. Ve filmu tutorů dvou mladíků byly vodohospodářství na dispečincích, přehradách a vodohospodářských ústavech (hlavně VÚV a ČHMÚ). Film byl velice zdařilý a zaujal i profesionální vodohospodáře. Zaujal je tak, že na konci představení doktor Kubala z pozice předsedy Svazu vodního hospodářství poznamenal, že se asi málokdy vidí, aby dospělí s takovým zájmem se dívali na film určený mládeži. A měl pravdu, nevšiml jsem si, že by někdo z účastníků „vyrušoval“ jakýmkoliv starým způsobem, na který si pamatujeme ze školy (kdy tablety byly jen prášky na léčení neduhů), nebo i těmi moderními, jako je třeba hrani s s mobilem nebo na tabletu. Jen je škoda, že ve filmu více neoznalo to, že za důsledky povodní si člověk dosti často může sám. Třeba ignorováním aktivních záplavových zón v územních plánech, nevhodnou zemědělskou praxí... Také mohl být více zdůrazněn opak povodní: sucha. Ta sice nejsou tak spektakulární, jako je hučící, strhávající masa nespoutaných vod, ale jsou plíživá a dlouhodobá. Tím mohou být pro společnost, krajinu více ničující než ty povodně. A to si určitě laická veřejnost neuvědomuje, ale uvědomovat by si měla!

Pro rodiny byly připraveny dny otevřených dveří v mnoha vodařských institucích. My jsme navštívili Starou čistírnu v Praze Bubenci. V chodu byly staré parní stroje, bylo možné se projet na raftech podzemím, nyní tam byla voda z Vltavy, tenkrát před desítkami let tam byla voda splašková... Brr, pracovat bych v tom uzavřeném prostoru tedy opravdu nechtěl... Průvodci ale mluvili zaslíbeně i se zápletem. Bylo vidět, že je věc opravdu baví. I v tomto případě děti i dospělí dávali pozor!

Když je do řeky vypouštěna voda vyčištěná, tak jsou v řece i ryby! A v té Praze ty ryby dnes už zase jsou, byť pražská Ústřední čistírna odpadních vod nefunguje tak, jak by na začátku 21. století fungovat měla. Přesvědčoval a (jsem přesvědčen) i přesvědčil pan Vrána z Českého rybářského svazu v přednášce pro děti o rybách.

No a na konec jsme Den vody oslavili s Všešlavským spolkem, za kterým stojí neúnavný pan Bergman z Pražských Benátek (je duchovním otcem každoročně se v květnu opakujících NAVALIS, které všem vřele doporučuji). Na náplavce pod Vyšehradem připravil se svými kolegy od vody program, že tam byla hlava na hlavě. Tam mě napadlo, že jako k řece v extravilánu patří meandry, mrtvá ramena, nějaké to mrtvé dřevo, tak k řece v intravilánu patří lodě, čluny, loďky, zkrátka všelijaká plavidla. Napadlo mě i, že lidé řeky milují a rádi se podél vody prochází. My vodohospodáři bychom se měli snažit jim ty řeky ve městech vrátit. Těch cest je celá řada.

Ing. Václav Stránský

EUROWATER
PURE WATER TREATMENT

- odkyselování, odželezování, odmanganování, odstranění amonných iontů a další procesy úpravy surové vody na pitnou
- návrh technologie, dodávka, montáž, servis
- vlastní výroba automatických tlakových filtrů
- 20 let na trhu v Čechách a na Slovensku
- více o nás a našich metodách úpravy vody **bez použití chemikálií** na tel. číslo 321 727 745 a na www.eurowater.cz



ÚPRAVA VODY

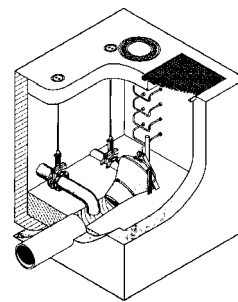
ALVEST MONT CZ, s.r.o.

Biologické ČOV s technologií MBR Mitsubishi

- **3krát lepší kvalita vyčištěné vody než u konvenčních ČOV**
- **zmenšuje se objem nádrží o 65 % a pozemek pro ČOV o 50 %**
- **průvozní náklady jako u konvenční ČOV**
- **navýšení kapacity ČOV ve stávající stavbě o 100 až 200%**

MITSUBISHI RAYON CO., LTD.

Husinecká 903/10
130 00 Praha 3
Mob.: 604 896 154
e-mail: sosna@alvest.cz
info4@alvest.cz
web: www.alvest.cz



Vírový ventil v suché šachtě
FluidCon

PFT
Prostředí
a fluidní technika, s.r.o.

Nad Bezednou 201, 252 61 Dobrovíz
telefon: 233 311 302, 233 311 389
fax: 233 311 290
www.pft-uft.cz
e-mail: pft@pft-uft.cz

Dodavatel vstrojení kanalizačních objektů

- regulace odtoku z odleh. komor
- automat. stírané česle GIWA
- řídicí kanál. systémy AQASYS
- pneu. ČS splašků GULLIVER

REKUPER

Efektivní regulace a usměrňování průtoků vod v kanalizacích

komplexní vstrojování odlehčovacích komor a dešťových zdrží
štitové česle • plovákové regulátory • štitové oddělovače

REKUPER SYCHROV, s.r.o.

Husa 28 • CZ - 463 44 Páčeřice, e-mail: info@rekuper.cz
tel.: +420 482 464 611, fax: +420 482 464 630

Návrh • dodávka • montáž • servis

TECHNOAQUA

Výhradní zastoupení Teledyne Isco a Ponsel

- automatické vzorkovače
- průtokoměry
- monitorovací stanice
- měřicí přístroje, sondy, srážkoměry
- pronájem, monitoring, servis, školení

TECHNOAQUA, s. r. o.

U Parku 513, 252 41 Dolní Břežany
tel.: 244 460 474, fax: 271 767 155

e-mail: mail@technoaqua.cz, www.technoaqua.cz



vodní 4/2015 hospodářství®

OBSAH

- Rekonstrukce ČOV Pelhřimov – řešení situace na přetížených biologických rybnících a vliv na recipient (Duras, J.; Marcel, M.; Šebesta, V.; Novotná, V.) 1
- Fosfor v odpadních vodách – perspektivy jeho recyklace (Holba, M.; Došek, M.; Maršálek, B.) 8
- Odstraňování dusíka z odpadových vod pomocí externích substrátů na ČOV v Duslo a.s. (Molnár, V.; Németh, P.; Andrášiová, A.; Buday, M.) 13
- Posouzení vlivu proudění na jakost vody v nádrži Fláje (Jirinec, P.; Tachecí, P.) 15
- Různé
 - Předběžný odhad PMF v profilu VD Orlík na Vltavě (Tyl, R.; Vlasák, T.; Daňhelka, J.; Kubát, J.; Šercl, P.) 22
 - Realizace programu 129 120 Podpora prevence před povodněmi II v územní působnosti státního podniku Povodí Vltavy – 2. část (Hrazdira, O.; Poláček, M.; Stratílek, J.; Šimůnek, J.; Šrámková, M.) 25
 - Errata k článku *Digitální model reliéfu jako podklad pro návrh vodohospodářských opatření v pozemkových úpravách* (Mayer, Z.; Zemek F.) z čísla 3/2015 28
 - Co je to mokřad? (Vlasáková, L.) 28
- Firemní prezentace
 - Messer Technogas s.r.o.: Technické plyny pro zlepšení kvality pitné vody 21

VODAŘ

- Výroční konference Operačního programu životní prostředí (Plechátý, J.) 29
- Obnova vodního díla Jordán v Táboře (Poláček, J.) 31
- Návrhy plánů pro zvládnání povodňových rizik byly zveřejněny – splní svůj účel? (Kubát, J.) 36

VTEI

- Příklad možného využití výsledků stopovacích pokusů (Šajer, J.) 1
- Změny ekosystému stabilizační nádrže venkovské čistírny po aplikaci biotechnologického přípravku (2) (Havel, L.; Desortová B.) 7
- Různé
 - Publikace vydané VÚV TGM, v.v.i., v r. 2014 12

CONTENTS

- Reconstruction of the Pelhřimov WWTP – addressing the situation of overloaded biological ponds and the impact on the recipient (Duras, J.; Marcel, M.; Šebesta, V.; Novotná, V.) 1
- Phosphorus in wastewater – recycling prospects (Holba, M.; Dosek, M.; Marsalek, B.) 8
- Nitrogen removal from waste water by using external denitrification substrates at the Duslo a.s. WWTP (Molnar, V.; Nemeth, P.; Andrasiova, A.; Buday, M) 13
- Assessment of the impact of water flow on water quality at the Fláje Reservoir (Jirinec, P.; Tacheci, P.) 15
- Miscellaneous 22, 25, 28
- Company section 21

Water Manager

- Miscellaneous 29, 31, 36

Scientific-Technical and Economic in the Field of Water Management

- Example of possible uses of results of tracer experiments (Šajer, J.) 1
- The changes in the ecosystem of a rural waste water treatment plant stabilization pond after the biotechnological agent application (2) (Havel, L.; Desortova, B.) 7
- Miscellaneous 12

Sweco Hydroprojekt a. s.

Projektové, konzultační a inženýrské služby pro vodní hospodářství, životní prostředí a infrastrukturu

www.sweco.cz

SWECO 

PRAHA 4 Táborská 31 Tel. 261 102 242 praha@sweco.cz	BRNO Minská 18 Tel. 541 214 973 brno@sweco.cz	OSTRAVA Varenská 49 Tel. 596 638 329 ostrava@sweco.cz	ČESKÉ BUDĚJOVICE Zátkovo nábrží 7 Tel. 386 103 511 c.budejovice@sweco.cz
--	--	--	---

 **PÖYRY**

Engineering balanced sustainability™

INŽENÝRSKÁ A PROJEKTOVÁ ČINNOST VE VŠECH OBORECH VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ

Pöyry Environment a. s.

Botanická 834/56, 602 00 BRNO

tel.: 541 554 111, fax: 541 211 205 E-mail: trade.wecz@poyry.com, www.poyry.cz

Pobočka: Praha, Bezová 1658, 147 14 Praha 4, tel.: 244 062 353

Organizační složka Trenčín, Jesenského 3175, 911 01 Trenčín, tel.: +421 326 522 600



Pražské vodovody a kanalizace, a. s.
Pařížská 11, 110 00 Praha 1
Pracoviště: Na Rozhraní 1, 180 00 Praha 8

Ing. Michal Dolejš, tel.: 602 278 306, e-mail: michal.dolejs@pvk.cz
Ing. Petr Sýkora, tel.: 602 667 223, e-mail: petr.sykora@pvk.cz

Expertní činnost při návrhu měrných objektů průtoku odpadních vod, kalibrace a kontroly měřicích systémů průtoku odpadních vod (zákon č. 254/2001 Sb.), měření hydraulických veličin v objektech stokové sítě, pasportizace objektů na stokové sítě a ČOV, měření srážek, odběr vzorků odpadních vod, prohlídky stokové sítě i domovních přípojek a vyhledávání průběhu kanalizace televizním inspekčním systémem, odborné zpracování výsledků.

VEGAspol

veřejná obchodní společnost

VEGAspol v.o.s.
Jiráskova 12, 602 00 Brno

tel. 549 247 183
fax 549 247 183
mobil 608 711 413
e-mail: vegaspol@vegaspol.cz
http: www.vegaspol.cz

PROJEKTOVÁ A OBCHODNÍ ČINNOST

- čistírny odpadních vod
- kanalizace, vodovody
- úpravny vody

- inženýrská činnost
- konzultační a poradenská činnost

• Použití moderních technologií
• Soulad s normami a směrnice EU
• Důraz na řešení kalového hospodářství
• Likvidace odpadů v souladu s předpisy
• Řešení staveb vychází z architektury oblasti výstavby



SOKOFLOK s.r.o.

Tovární 1362
356 05 Sokolov
Česká republika

tel.: +420 352 350 711–715
fax: +420 352 623 178
e-mail: sokoflok@sokoflok.cz
www.sokoflok.cz

Společnost SOKOFLOK s.r.o. byla založena v roce 1991 jako podnik se zahraniční majetkovou účastí mezi Chemickými závody Sokolov, a.s. (dnes HEXION) a francouzskou firmou FLOERGER SNF S.A.

Hlavním záměrem při zakládání společnosti byla jednak snaha zhodnotit produkty Chemických závodů, jež byly výstupem z moderní petrochemické výroby kyseliny akrylové a jejich derivátů, jednak zavést domácí výrobu vysoce účinných organických flokulantů, v tuzemsku dosud nevyráběných.

Dnes SOKOFLOK s.r.o.

- exkluzivně dodává originální výrobky předního světového výrobce SNF S.A.S. a garantuje jejich špičkovou kvalitu
- poskytuje při jejich zavádění komplexní odborný technicko-aplikační servis a uplatňuje progresivní cenovou politiku, výhodnou pro odběratele
- nabízí výběr a dodávky vhodného strojně-technologického zařízení, umožňující efektivní využití dodávaných produktů

Z nabízených produktů SOKOFLOK®

- organické flokulanty a koagulanty
- odpěňovače, disperganty, inhibitory krystalizace, „anti-dust“ činidla
- Metalsorby pro likvidaci těžkých kovů z odpadních vod
- atd.

Čistá voda & spokojenost odběratelů – náš záměr a cíl!



Váš partner pro úpravu vody

- Dodavatel materiálů pro úpravu vod a úpravu vzduchu a odpadních plynů.
- Výrobce koagulantů pro úpravu vod - železité soli a polyaluminium chlorid: řady **Donau Klar** a **Donau PAC**; aktivního uhlí **Donau Carbon**, komoditních chemikálií.
- Vlastní výrobní závody v Evropě a na Filipínách.
- Vlastník dvou reaktivačních jednotek v Evropě.
- Široká distribuční síť.
- Technické poradenství.
- Speciální program pro bioplynové stanice: aktivní uhlí impregnované i neimpregnované, **Bellamethan**.
- Kompletní sortiment bazénové chemie **Mastersil**.

DONAUCHEM s.r.o. | Za Žoskou 377 | 288 02 Nymburk
tel: +420 317 070 244, 220-9 | fax: +420 317 070 230 | GSM: +420 775 870 295



Technologie úpravy vod

CULLIGAN.CZ – nový a jediný nástupce tradiční osvědčené značky výrobce a dodavatele technologií úpravy vody, člen skupiny ENVI-PUR, s.r.o.

Originální patentovaná filtrační technika pro:

- ◆ úpravu pitných vod
- ◆ průmysl a chladicí okruhy
- ◆ domácnosti a rodinné domy
- ◆ membránové technologie

CULLIGAN.CZ s.r.o.

Chrástany 140, 252 19 Rudná u Prahy
Tel. 731 629 796, e-mail: kancelar@culligancz.cz
www.culligancz.cz



AGIR

Mramorové drtě (čistý krystalický vápenec) pro úpravy a čistírny vod s atestem pro úpravu pitné vody dodáváme ve formě volně ložených a v 50 kg plastových pytlích balených drtí o granulometrii 1-2; 2-4; 2-8; 4-8 mm. Ověřeno několikaletým odběrem desítek uživatelů. Možnost jiné granulometrie v libovolném rozsahu od 0,2 do 16 mm. Doprava vlastními prostředky dodavatele, nebo odběratelem.

Agir spol. s r.o., Lom Skoupý, 262 55 Petrovice

kontakt: agir.skoupy@worldonline.cz
tel./fax 318 856 111; www.agir-as.cz

Informace o cenových, platebních a dodacích podmínkách:
josef.knot@agir-as.cz; mobil: 602 110 205



www.donauchem.cz
lmaxova@donauchem.cz

KOMPOZITY



ROŠTY • POKLOPY • ZÁBRADLÍ • ŽEBŘÍKY • LÁVKY • PLOŠINY •
SCHODIŠTĚ • KONSTRUKCE

PREFA KOMPOZITY, a.s. • Kulkova 10/4231, 615 00 Brno

Tel.: 541 583 297, 208

Fax: 549 254 556

kompozity@prefa.cz

www.prefa-kompozity.cz

VODATECH
WASTE WATER TECHNOLOGY

VYVÍJÍME, VYRÁBÍME A INSTALUJEME
MODERNÍ ZAŘÍZENÍ PRO ČIŠTĚNÍ
PRŮMYSLÝCH ODPADNÍCH VOD

Od roku 2002 jsme dodali přes 1000 zařízení do více
než 25 zemí celého světa



FLOTACE

- FLOTAČNÍ JEDNOTKY
- CHEMICKÉ JEDNOTKY
- TRUBKOVÉ SMĚŠOVAČE
- KOAGULAČNÍ REAKTORY

FILTRACE

- ROTAČNÍ SÍTA
- SEPARÁTORY
- ŠNEKOVÉ DOPRAVNÍKY
A ŠNEKOVÉ LISY
- ŠNEKOVÉ ČESLE

**ODVODNĚNÍ
KALŮ**

- ŠNEKOVÉ ZAHUŠŤOVAČE KALU
- SEPARÁTORY PÍSKU
- PRAČKY PÍSKU
- DALŠÍ ZAŘÍZENÍ PRO ČIŠTĚNÍ
ODPADNÍCH VOD

VODATECH, s.r.o. • Milotická 499/40, 696 04 Svatobořice-Mistřín
tel.: 518 620 962-4 • fax.: 518 620 965 • e-mail: vodatech@vodatech.net • web: www.vodatech.net

PÖYRY

Engineering balanced sustainability™

INŽENÝRSKÁ A PROJEKTOVÁ ČINNOST
VE VŠECH OBORECH VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ

Pöyry Environment a. s.

Botanická 834/56, 602 00 BRNO

tel.: 541 554 111, fax: 541 211 205

E-mail: trade.wecz@poyry.com, www.poyry.cz

Pobočka: Praha, Bezová 1658, 147 14 Praha 4, tel.: 244 062 353

Organizační složka Trenčín, Jesenského 3175, 911 01 Trenčín,
tel.: +421 326 522 600



VÝVOJ - VÝROBA -
DODÁVKY - MONTÁŽE -
SERVIS

- magneticko-indukčních
a ultrazvukových průtokoměrů
- ultrazvukových hladinoměrů
- elektrodových systémů



Sokolova 32, 619 00 Brno
tel.: 543 214 755, 543 214 782, fax: 543 214 755
E-mail: info@elabno.cz, http://www.elabno.cz

Kemira

Where water meets chemistry™



APLIKACE TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ

- úprava pitných a technologických vod
- adsorpce arzenu a dalších kovů z vody
- Lake Restoration – obnova eutrofizovaných vodních nádrží
- chemické srážení odpadních vod
- eliminace fosforu a organického znečištění v odpadních vodách
- potlačení vláknitých bakterií
- podpora denitrifikační aktivity a produkce bioplynu
- Odour Control – monitoring a regulace zápachu
- Scale Control – eliminace tvorby vodního kamene
- Foam Control - odpěňovací procesy
- DesinFix - dezinfekce odpadních a provozních vod
- zpracování kalů

PRODUKTY

- anorganické koagulanty na bázi železa a hliníku
- vysoce bazické polyaluminiumchloridy
- organické polymerní flokulanty a koagulanty
- speciální a směsné chemikálie
- odpěňovače, externí substráty, dezinfekční chemikálie
- antiinkrustanty, filtrační materiály
- krystalický mramor, vápenné mléko

TECHNOLOGICKÝ A TECHNICKÝ SERVIS

- laboratorní a provozní koagulační testy
- logistika
- skladovací a dávkovací zařízení
- odborné konzultace

KEMWATER
PROCHEMIE
www.prochemie.cz

KEMIFLOC
www.kemifloc.cz

KEMIFLOC
SLOVAKIA
www.kemifloc.cz

Rekonstrukce ČOV Pelhřimov – řešení situace na přetížených biologických rybnících a vliv na recipient

Jindřich Duras, Michal Marcel, Vlastimil Šebesta,
Věra Novotná

Abstrakt

V průběhu rekonstrukce ČOV Pelhřimov, kdy nebylo dostatečně vyřešeno nakládání s odlehčovými odpadními vodami, došlo k silnému přetížení dvou biologických rybníků pod ČOV. V průběhu roku 2014 byla situace v rybnících udržována několika opatřeními, z nichž nejdůležitější bylo masivní dávkování $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Potvrdil se pozitivní vliv dusičnanových iontů na funkci zatěžovaného rybníčního ekosystému, což vyvolává otázku po efektivitě N eliminujících technologií tam, kde recipientem je mělká vodní nádrž. Pro správné fungování biologických rybníků je nezbytná adekvátní rybí obsádka a řešení odlehčovacích odpadních vod. Přestože bylo docíleno výrazného zlepšení poměrů v rybnících, je zřejmé, že není možné ex post efektivně suplovat opatření přímo u zdroje.

Klíčová slova

biologické rybníky – ČOV Pelhřimov – emise fosforu – aplikace dusičnanu vápenatého – vodní nádrž Švihov

1. Úvod

Město Pelhřimov je největším sídelním útvarům v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce. Pelhřimov je zároveň také dlouhodobě nejdůležitějším zdrojem emisí P, tedy nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím jakost vody ve vodní nádrži (VN) Švihov [1]. Závažnost Pelhřimova jakožto zdroje P byla doložena zejména výsledky monitoringu látkové bilance fosforu z roku 2012, kde bylo navíc prokázáno, že evidované, tedy vodohospodářsky standardně bilancované emise P (1,24 t) představovaly pouze asi 20 % fosforu, kterým toto město jako celek skutečně do vodního prostředí přispělo (6,01 t) [2]. Přitom v roce 2012 přiteklo Želivkou do VN Švihov celkem 10,2 t P (z celkového vstupu 12,3 t) – vstup P z Pelhřimova tedy činil 59 % z celkového zatížení VN Švihov přinášeného řekou Želivkou (nepubl. údaje Povodí Vltavy, státní podnik). Rozdíl mezi evidovanými a reálně zjištěnými emisemi P byl způsoben především vysokým podílem odlehčovacích vod při srážkách, které nízká kapacita ČOV nebyla schopna ve významnějším podílu zpracovat. Tyto odlehčované vody byly pak metabolizovány dvěma biologickými rybníky (BR), které ovšem kvůli výraznému látkovému i hydraulickému přetížení nebyly schopné dostatečné retence P.

V září 2013 byla zahájena dlouho připravovaná a několikrát odkládaná rekonstrukce ČOV Pelhřimov. Realizace se rozběhla, aniž bylo vyřešeno nakládání s nečištěnými odpadními vodami (OV), které snížená kapacita ČOV během rekonstrukce nemohla pojmout: 26,4 $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ podstupovalo čištění včetně terciárního, zbytek byl odlehčován do BR (průměrný roční průtok ČOV byl např. v r. 2013 71 $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$). Tato situace trvala až do začátku června 2014, kdy začala na ČOV nabíhat první ze dvou nových biologických linek s kapacitou jako celá dřívější ČOV. Řešení otázky nečištěného podílu OV spolehnutím se na BR nemělo ovšem naději na úspěch, protože oba BR byly už dříve výrazně přetěžované a problematicky fungující.

2. Lokalita

Přehled situace je patrný z leteckého snímku na obr. 1. Odtok z ČOV Pelhřimov je veden pouze do BR I, včetně všech vod odlehčova-

ných na ČOV. Menší množství odpadních vod (OV) je odlehčováno i na několika jiných místech kanalizace. Oba BR jsou vzhledem k Bělé bočními rybníky. Do dolního z nich (BR II) je možné připouštět i vodu z Bělé, dle vodohospodářského povolení v množství do 46 $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$, ovšem měřit množství připouštěné vody není možné a manipulaci prováděli rybáři. V korytě převádějícím vodu z BR I do BR II (shybka přes Bělou) jsou osazeny ručně stírané česle, které se snadno zanášejí s následným nekontrolovaným přetékáním vody odtékající z BR I přímo do toku Bělé. Navíc je pod BR I samostatný přeliv s možností odlehčení vysokých průtoků do Bělé. Systém je tedy poměrně složitý s několika slabými místy, která mají negativní dopad na recipient.

BR I: 5,5 ha, cca 82 000 m^3 ; BR II: 3,68 ha a cca 55 000 m^3 . Při dlouhodobém průměrném průtoku odpadní vody, jež prošla plným čistícím procesem na ČOV, 70 $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$, odpovídá teoretická doba zdržení vody (HRT) zhruba 14 dní v BR I a 9 dní v BR II. Jakmile je v provozu odlehčení, přítok odpadní vody výrazně narůstá až na několik set $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ a HRT pak klesá na několik málo dnů. Už po denní srážce zaznamenané jako 2 mm (spadla za 1 hodinu) se zvýšil přítok OV na ČOV na ~ 400 $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$, což znamenalo zkrácení HRT obou BR dohromady na ~ 4 dny). Naopak za dlouhodobě suchého počasí, kdy klesá i vstup balastní vody do kanalizace, se HRT prodlužuje až na asi 35 dní ($Q = 45 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$).

Na rybnících bylo provozováno neintenzivní rybářské hospodaření: chov kapra pro nasazení sportovních rybářských revírů. Vodoprávní rozhodnutí zakazovalo ryby krmit z obavy před dalším vnosem znečišťujících látek. Z pohledu celkového zatížení rybníků (viz dále) se možné zhoršení jakosti vody krměním ryb jeví zcela bezvýznamné, naopak zkomplikovalo hospodaření na rybnících. Výlov s případným únikem kalů do vodárenského toku nebyl nikdy monitoringem zachycen.

3. Situace

Rekonstrukce ČOV Pelhřimov byla zahájena 1. 9. 2013. Dramatické přetížení obou BR se zřetelně ukázalo hned na podzim 2013, kdy už začátkem října voda v horním rybníce (BR I) zcela zčernala v důsledku hluboké anaerobie a vzniku sulfidů Fe a v dolním rybníce (BR II) získala voda černý nádech a došlo zde k úhynu první části rybí obsádky. Přítomnost rybí obsádky, kterou tam hospodařící subjekt (MO ČRS) z nejasných důvodů ponechal, značně komplikovala situaci. Hynutí ryb průběžně pokračovalo a voda v BR II dále černala. Rybáři, v marné snaze kapry zachránit, se snažili alespoň nejhorší část vody odpouštět z BR II prostřednictvím pozeráku ode dna. Ta byla výrazně bohatší na organické a nerozpuštěné látky, $\text{NH}_4\text{-N}$, a zejména na fosfor (a sulfidické černé kaly), takže byla negativně ovlivňována jakost vody v recipientu (Bělá). Zároveň do rybníka připouštěli čistou vodu z Bělé, aby vodu v rybníce naředili a rybník trochu propláchl. Tím sice docházelo ke „zlepšení“ koncentračních ukazatelů i na odtoku z rybníka, ale za cenu zvýšeného látkového množství, které profilem odtéklo, a samozřejmě za cenu zvýšeného látkového zatížení Bělé a celého povodí pod BR (grafy na obr. 9). Množství „ředicí“ vody z Bělé bylo zvyšováno, až představovalo vizuálním odhadem zhruba 100–140 $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ (oproti 46 $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ povoleným). Tím se sice podařilo zastavit černání vody v rybníce, ale voda zůstala šedohnědá s intenzivním splaškově hnilobným zápachem. Nízká teplota vody v zimě a krátká doba zdržení



Obr. 1. Biologické rybníky (BR) pod Pelhřimovem. V levé části BR II s dobře viditelným přelivem, nad ním BR I. Nad silničním mostem je vidět ČOV Pelhřimov a okraj města. Říčka Bělá teče při pravém břehu BR I a při levém břehu BR II. Limnigraf je situován vedle hráze BR II (zakryt vegetací). V popředí obec Radětín. Snímek: Archiv Povodí Vltavy, státní podnik

vody v BR II prakticky eliminovala samočisticí procesy a Bělá byla dotována obrovskými látkovými vstupy znečištění, které bylo posíláno směrem k VN Švihov. Plocha přelivu obou rybníků zešedla bohatými bakteriálními nárosty, které na BR II postupně (leden–únor) zcela zbledly (sírné bakterie) a na BR I až zrudověly a zčervenaly (purpurové sírné bakterie). V korytě Bělé se až do soutoku s Hejlovkou hromadně vytvořily šedavé bakteriální nárosty (*Sphaerotilus natans*), obydlené saprotrofními nálevníky. Pouze nízká teplota vody v zimě ochránila vodní organismy v Bělé před masovým vyhynutím na nedostatek kyslíku. Sytý splaškový hnilobný zápach v okolí BR se postupně zintenzivňoval, hnilobný pach obohacený o příchut' sirovodíku začal převládat a tato směs ještě v zimě vyplnila celé údolí až nad úroveň silnice č. 34. Převládající západní proudění zachraňovalo po většinu kritického období město Pelhřimov, ale znamenalo šíření sytého zápachu několik km říčním údolím.

Po zhodnocení výsledků intenzivního monitoringu byla navržena série opatření k testování a případné realizaci. Je důležité zdůraznit, že snaha o zlepšení poměrů v BR a ve vodních tocích pod Pelhřimovem už byla pouze řešením následků situace, které mělo být při rekonstrukci ČOV adekvátními opatřeními zabráněno. Cílem navržených opatření bylo především vyvést rybníky co nejdříve z hnilobných procesů, což znamenalo (1) co nejvíce omezit vstup organického zatížení (opatření na ČOV), (2) podporu intenzity rozkladu v BR (dodání oxidačního činidla) a (3) nastartování produkce kyslíku autotrofními organismy, jejichž rozvoji bránilo jak přetížení organickými látkami, tak hustý černý zákal a v zimním a předjarním období i nedostatek světla jakožto zdroje energie k prosazení vhodných producentů kyslíku. Tímto postupem bylo možné dosáhnout eliminace zápachu, omezení organického zatížení i účinné retence P, a tedy i ochrany VN Švihov.

Navržena byla tato opatření:

- Možnosti, jak **odstranit maximum znečištění ještě na ČOV**, byly při probíhající rekonstrukci už sice minimální, ale provozovatel ČOV dokázal alespoň provizorně zajistit, že $\sim 15 \text{ l.s}^{-1}$ z objemu odlehčované OV bylo převedeno do linky terciárního stupně (aplikace síranu železitého s podpurným organickým flokulantem), který byl po dobu rekonstrukce hydraulicky vytížen jen částečně (realizováno v polovině března). Tím sice došlo k mírnému koncentračnímu zhoršení odtoku z ČOV, ale celkově bylo částečně sníženo látkové zatížení biologických rybníků.
- Maximální **využití samočisticí kapacity BR**, zejména BR II. Byl zastaven přítok ředící vody z Bělé (prodloužení HRT) a uzavřen odtok spodní vody z BR II požerákem (realizováno 12. a 25. 2. 2014). Bylo sice zřejmé, že i zbytek rybí obsádky definitivně uhynie, ale k tomu by s jistotou došlo po oteplení vody na jaře stejně. Očekávali jsme zvýšení koncentrací znečišťujících látek na odtoku z BR II, ale předpokládali jsme nižší látkový tok, což se potvrdilo (viz dále). Rybáři několikrát stavidlo ovládající přítok ředící vody do BR II uvolnili, takže zařízení muselo být pevně zablokováno.
- **Dávkování dusičnanu vápenatého** (typ produktu s nízkým obsahem P) ke zlepšení oxidoredukčních poměrů v BR. Dusičnanové ionty jsou jednak chemickým oxidačním činidlem samy o sobě (např. oxidace redukovaných forem Fe, včetně sulfidu [3]), jednak mohou sloužit jako koncový akceptor elektronů při mikrobiální anaerobní respiraci, což znamená výraznou podporu procesů mineralizace organického znečištění za souběžné eliminace dusičnanových iontů redukcí na plynný N (biogenní denitrifikace). Volba dusičnanu vápenatého vycházela ze skutečnosti, že se jedná o nejlépe dostupné, cenově vhodné a ekologicky nerizikové oxidační činidlo, s nímž se dobře manipuluje (přeprava, aplikace). Volba se opírala také o výsledky z laboratorních testů provedených dříve v jiných lokalitách, kdy se jednoznačně potvrdilo, že přítomnost dusičnanových iontů blokuje uvolňování P s Fe ze sedimentu (Duras, nepubl. údaje). Aplikace dusičnanu vápenatého je proto považována za jeden z postupů, jak ošetřit sediment hypertrofních jezer [4]. V praxi je tato metoda používána v zahraničí poměrně často, především ve sladkých vodách (např. [5]), ale i v přibřežních částech moří [6]. Po laboratorních testech byla realizována aplikace dusičnanu vápenatého granulovaného a kapalného přímo do BR I a BR II a kapalného do nátoku na BR I i BR II, viz dále.
- **Testovat dávkování síranu železitého** přímo do odtoku z ČOV, tj. do nátoky směsi čistěných i odlehčovaných OV do BR I. V BR I by následně mohlo dojít k účinnějšímu zachycení znečištění a za předpokladu razantního účinku dusičnanových iontů by se zde mohla projevit i intenzivní mineralizace organických látek. Fe aktivované

přítomností dusičnanů by se mohlo příznivě projevit na retenci P. Bylo realizováno v období března–květen 2014 a pro nízkou účinnost bylo zastaveno.

- **Aplikace perkarbonátu sodného** jako silného oxidačního činidla má potenciál změnit (zlepšit) rychle redox poměry v rybnících (např. [7]). Po velmi pozitivních výsledcích testů bylo realizováno 20. 6. 2014 v BR I.
- **Testovat aplikaci hlinitého koagulantu** do BR se záměrem (1) primárně odstranit z vodního sloupce alespoň dočasně hustý jemný černý zákal a zvýšenou průhledností nastartovat růst autotrofních planktonu a (2) snížit koncentrace sloučenin fosforu ve vodě odtékající do Bělé a dále do VN Švihov. Po velmi úspěšných laboratorních experimentech byla aplikace síranu hlinitého práškového testována na omezené ploše v terénu 26. 3. 2014 – 2 t na BR II a 1 t na BR I, dávka $\sim 6 \text{ g.m}^{-2}$ Al. Velkoplošná aplikace byla poté zamítnuta ze dvou hlavních důvodů. Jednak pro nutnost vysoké dávky (nejméně cca $20\text{--}30 \text{ g.m}^{-2}$ Al, tj. výrazně vyšší než v laboratorních pokusech), která byla vyvolána hlavně vířením usazenin lodním šroubem při dávkování. Druhým důvodem byla hydrologická nestabilita BR (jedna srážko-odtoková událost může propláchnutím rybníka zrušit dříve získaný výsledek).
- **Zamítnuta byla aerace vody** v BR technickým zařízením (pneumatický či povrchový aerátor), a to pro obrovskou finanční náročnost na instalaci i provoz. Pro dosažení významnějšího efektu by BR musely být aerovány v zásadě stejně jako akivační nádrž na ČOV a navíc by se projevil obrovský oxidoredukční „dluh“ v celém systému při resuspenzi jemného sulfidického bahna.

4. Materiál a metody

Celá pelhřimovská lokalita byla monitorována velmi podrobně, přičemž vzorkování bylo doprovázeno měřením průtoků (Flow Tracker, limnigraf). Monitoring probíhal v základním čtrnáctidenním intervalu (standardní širší rozsah sledovaných parametrů), který byl doplněn odběry vzorků pro stanovení celkového fosforu (P celk), celkového rozpuštěného fosforu (= P celkový ve vzorku filtrovaném na místě přes membránový filtr o porozitě $0,45 \mu\text{m}$; P rozp), případně dusičnanového dusíku ($\text{NO}_3\text{-N}$) a celkových a rozpuštěných sloučenin Fe (Fe celk a Fe rozp). Doplnkové odběry představovaly dalších 9–10 bodových vzorků každý měsíc, včetně měření průtoku vody.

Při monitoringu byl sledován: přítok BR I (jen P celk a P rozp), odtok z BR I, odtok z BR II, Bělá nad Pelhřimovem, Bělá pod BR (Bělá Radětín) a další profily. Zaznamenávána byla i vizuální pozorování, včetně měření průhlednosti vody, pořizována byla fotodokumentace.

Laboratorní testy při zjišťování rychlosti denitrifikace a chování vzorků v závislosti na přítomnosti dusičnanu vápenatého byly provedeny v 300ml Erlenmayerových baňkách. Vzorky bahna z BR byly odebrány 25. 2. 2014 gravitačním jádrovým sběračem ve střední části BR I a BR II (směsné, svrchní vrstva 5 cm). Následující den byl sediment nadávován do baněk tak, aby zaujímal na dně o ploše $\sim 50 \text{ cm}^2$ vrstvu 1 cm. Sediment byl převrstven 250 ml vody z příslušné lokality. Inkubováno bylo souběžně při teplotě $7 \text{ }^\circ\text{C}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ bez a s přidávkou $\text{NO}_3\text{-N}$, vždy dvě paralelní řady. Inkubace byla mikroaerobní, bez resuspenze usazeniny. V průběhu testu byly odebírány vzorky k analýzám a spotřebovávaný $\text{NO}_3\text{-N}$ byl doplňován.

5. Výsledky a diskuse

5.1. Laboratorní testy

Síran hlinitý

Testováno bylo ošetření vody BR II v únoru 2014. Při dávce $8\text{--}10 \text{ mg.l}^{-1}$ Al došlo k rychlému vložkování, černý zákal se rychle usadil a koncentrace P celkového v supernatantu klesla na $0,017 \text{ mg.l}^{-1}$.

Dusičnan vápenatý

Testy ukázaly, že:

- Reakce (zlepšení) na přidávek dusičnanu byla podstatně rychlejší za vyšší teploty vody (zřetelné už po 2–3 dnech): voda se vyčistila, sediment se stal kompaktnějším a jeho černá barva zešedla, zápach rychle zmizel a zůstal pach zemitý až rybníční. Pokud došlo v baňce se sedimentem k vyčerpání $\text{NO}_3\text{-N}$, voda se rychle opět zakalila, zápach se obnovil. Zprůhlednění vodního sloupce je důležitý efekt pro nastartování fotosyntézy v BR.
- Spotřeba $\text{NO}_3\text{-N}$ byla poměrně rychlá. Při $7 \text{ }^\circ\text{C}$ v BR I $0,26$ a v BR II $0,20 \text{ g.m}^{-2}.\text{den}^{-1}$, při $20 \text{ }^\circ\text{C}$ asi $0,46$ a $0,33 \text{ g.m}^{-2}.\text{den}^{-1}$. Zjištěné hod-

noty byly považovány (a praxe ukázala, že velmi oprávněně) za značně podhodnocené, protože pokusné podmínky se výrazně lišily od podmínek v BR: nebyla doplňována čerstvá znečištěná voda, vrstva bahna v pokusech byla jen 1 cm a vodní sloupec byl vysoký pouze asi 10 cm oproti 50–200 cm v rybnících.

- Startovní koncentrace $\text{PO}_4\text{-P}$ byly pro BR I $1,0 \text{ mg.l}^{-1}$ a pro BR II $3,4 \text{ mg.l}^{-1}$. V inkubacích bez přídatku dusičnanu se po 9 dnech inkubace koncentrace $\text{PO}_4\text{-P}$ výrazně zvýšily: při 7°C v BR I na $8,2 \text{ mg.l}^{-1}$ a v BR II na $4,7 \text{ mg.l}^{-1}$ a při 20°C v BR I na 12 mg.l^{-1} a v BR II na $7,0 \text{ mg.l}^{-1}$. V inkubacích s přídatkem dusičnanu se koncentrace $\text{PO}_4\text{-P}$ v BR I zvýšily jen nepatrně (na $\sim 1,5 \text{ mg.l}^{-1}$) a v BR II naopak výrazně poklesly: při 7°C na $0,25 \text{ mg.l}^{-1}$ a při 20°C na $0,51 \text{ mg.l}^{-1}$.
- Během inkubací se už na startu experimentu vysoké koncentrace $\text{NH}_4\text{-N}$ v nízkých teplotách (7°C) dále zvyšovaly nezávisle na přídatku dusičnanu (BR I ze 17 na $21\text{--}23 \text{ mg.l}^{-1}$) nebo alespoň významněji neklesaly (BR II z 21 na 19 mg.l^{-1}). Při 20°C docházelo bez přídatku dusičnanu ke zvýšení koncentrací $\text{NH}_4\text{-N}$ (BR I na 21 mg.l^{-1}) nebo k jejich zachování (BR II na 20 mg.l^{-1}), ale s přídatkem dusičnanu byl zaznamenán po 12 dnech inkubace pokles (BR I i BR II průměrně na $14,5 \text{ mg.l}^{-1}$). Lze tedy mít za to, že zásahem do oxidoredukčních poměrů přídatkem dusičnanových iontů je možné napomoci ke snížení vysokého obsahu $\text{NH}_4\text{-N}$, jenž by za zvýšené teploty a zvýšené hodnoty pH mohl představovat významné toxikologické riziko pro recipient (Bělá).
- V průběhu inkubací se jako meziprodukt prudké denitrifikace objevily ve vysokých koncentracích i dusitany, a to zejména v inkubacích při 20°C s přídatkem dusičnanu (BR I: $2,7\text{--}4,7 \text{ mg.l}^{-1} \text{ NO}_2\text{-N}$, BR II: $2,0\text{--}4,1 \text{ mg.l}^{-1} \text{ NO}_2\text{-N}$). Toxikologické riziko pro vodní organismy Bělé by se projevilo zejména za zvýšených teplot a nedostatku chloridových iontů, a to v krátkém úseku toku, protože dusitany jsou velmi nestabilní a rychle se rozkládají.

Testy s vlivem dusičnanu vápenatého tedy vyzněly velmi příznivě: zmizení zápachu, zprůhlednění vodního sloupce, zvýšení retence P, dokonce i částečné snížení koncentrací $\text{NH}_4\text{-N}$. Proto byla propočtena vhodná dávka a připravena aplikace. Denní spotřeba $\text{NO}_3\text{-N}$ v BR I byla pro časně jarní období vypočtena zhruba na $16,5 \text{ kg}$ a v BR II pouze na $7,4 \text{ kg}$ (celkem $\sim 24 \text{ kg N}$), což představuje spotřebu celkem asi $160 \text{ kg Ca(NO}_3)_2$ v pevné formě ($\sim 15\% \text{ NO}_3\text{-N}$) a asi $320 \text{ kg Ca(NO}_3)_2$ v aplikačním roztoku ($\sim 7,7\% \text{ NO}_3\text{-N}$).

5.2. Aplikace v biologických rybnících

Aplikace granulovaného $\text{Ca(NO}_3)_2$ 26. 3. 2014

V dávce pro realizaci aplikace bylo zohledněno předpokládané podhodnocení spotřeby $\text{NO}_3\text{-N}$ v testech, dále nutnost dosáhnout účinku po dobu co nejdéle (týden až deset dní) a v celém objemu rybníka dosáhnout cílové koncentrace $\text{NO}_3\text{-N}$ max. 15 mg.l^{-1} . Pro aplikaci bylo zvoleno stabilní počasí bez očekávaných srážek, aby ošetřená voda nebyla z rybníků vypláchnuta. Vyšší dávka byla směřována do BR I, z něhož měl nepotřebovaný dusičnan dotovat BR II. K aplikaci byl použit granulovaný pytlovaný produkt LOVOFERT LV 15, který se běžně užívá v zemědělství (ledek vápenatý), a to v množství $3,8 \text{ t}$ ($570 \text{ kg NO}_3\text{-N}$) do BR I a $1,2 \text{ t}$ ($180 \text{ kg NO}_3\text{-N}$) do BR II. Aplikace byla provedena z velké pracovní pramice s přivěsným motorem (obr. 2), granulát byl rovnoměrně rozvezen po celé ploše každého z rybníků (sypaní z plastových pytlů přes bort lodí).

Ve vzorcích odebraných dva dny po aplikaci (28. 3. 2014) nebyly zjištěny zvýšené koncentrace $\text{NO}_3\text{-N}$ (BR I $< 0,1 \text{ mg.l}^{-1}$ a BR II $0,1 \text{ mg.l}^{-1}$ oproti $< 0,1 \text{ mg.l}^{-1}$ před aplikací). Veškeré dusičnanové ionty byly rychle spotřebovány na kompenzaci oxidoredukčního dluhu. Ten se zřejmě projevil tak intenzivně i proto, že lodní šroub silně vířil jemný kal z dolní části vodního sloupce i ze dna rybníků. Přínos aplikace se sice v chemismu BR neprojevil, ale znamenal krok ke zvládnutí silně anaerobního stavu rybníků.

Aplikace roztoku $\text{Ca(NO}_3)_2$ 17. 4. 2014

Druhá aplikace byla realizována v nejbližším možném termínu po aplikaci první. Pro druhou dávku byl použit kapalný produkt dusičnan vápenatý roztok (Kemwater ProChemie s.r.o.), který je možné snadno vmíchat přímo do vodního sloupce (granule mohou zapadnout pod povrch jemného bahna). Aplikace proběhla na BR I z velké pracovní pramice s přivěsným motorem (obr. 3), kam byl roztok přepouštěn z přepravní cisterny do dvou barelů po 1 m^3 . Do BR I bylo aplikováno $\sim 11 \text{ t}$ roztoku, tedy téměř $1,2 \text{ t NO}_3\text{-N}$. Do BR II bylo prostřednictvím nátoky vpuštěno během cca 15 min. $1,5 \text{ t}$ roztoku, tedy asi $155 \text{ kg NO}_3\text{-N}$.



Obr. 2. Aplikace dusičnanu vápenatého granulovaného – nakládání pytlů na pramici. Foto: Archiv Povodí Vltavy, státní podnik

Ve vzorcích odebraných cca 20–22 hodin po aplikaci bylo v BR I zjištěno $0,2 \text{ mg.l}^{-1} \text{ NO}_3\text{-N}$ a v BR II $< 0,1 \text{ mg.l}^{-1} \text{ NO}_3\text{-N}$. Rychlost spotřeby $\text{NO}_3\text{-N}$ v BR I bylo tedy možné poměrně dobře odhadnout: asi $24\text{--}25 \text{ g.m}^{-2}.\text{den}^{-1}$, tedy o dva řády vyšší oproti laboratorním testům. Tento výsledek dokládá, jak hluboká byla anaerobie dlouhodobě vysocí přetěžovaných rybníků. Poměrně mohutná druhá aplikace byla velmi důležitá pro další vývoj obou rybníků, protože výrazně snížila jejich oxidoredukční dluh.

Aplikace roztoku $\text{Ca(NO}_3)_2$ průběžně do nátoky obou BR

Roztok $\text{Ca(NO}_3)_2$ byl od 18. 4. 2014 dávkován z areálu ČOV do odtékající vody (nátok na BR I) a jednotlivé dávky o objemu $1\text{--}2 \text{ m}^3$ roztoku byly vypouštěny jednorázově do nátoky na BR II. Dávky byly korigovány podle výsledků analýz vody odtékající z BR.



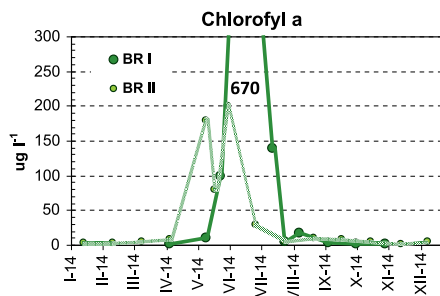
Obr. 3. Aplikace dusičnanu vápenatého kapalného – dávkování do BR I. Foto: Archiv Povodí Vltavy, státní podnik

Aplikované dusičnanové ionty byly bouřlivě spotřebovávány zejména v BR I, kde se voda v horních partiích doslova „vařila“ produkci N_2 při denitrifikaci. V dolních partiích BR I voda probublávala poměrně hojně, v BR II méně. Během prvního týdne výrazně ustupoval zápach v okolí rybníků a po 11 dnech zcela zmizel u BR I a po 14 dnech i u BR II (nižší vstup NO_3-N). Voda v té době ztrácela syté černou barvu a měnila se na šedavou, zatímco průhlednost vody se zvýšila ze 2–3 cm na 15–18 cm v BR I a na 20–25 cm v BR II. Na povrchu sedimentu se objevily hnědé vločky jako známka postupující oxidace. Tyto změny měly zásadní význam pro začátek rozvoje autotrofních organismů, a tím pro autochtonní produkci kyslíku.

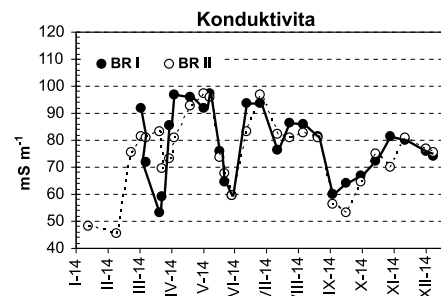
První dusičnany se objevily v obou rybnících současně až 20. 5. 2014 (obr. 6 a 7), a to po spotřebování asi 82 t roztoku, tj. 6,3 t NO_3-N (včetně obou jednorázových počátečních aplikací). K objevení se NO_3-N ve vodě BR přispěla i oxidace NH_4-N , která byla umožněna obecně zlepšenými podmínkami po rozvoji fytoplanktonu. Celkem bylo do obou BR nadávováno do června 2014 včetně (tj. do zprovoznění první nové biol. linky ČOV a ukončení odlehčování za běžného provozu) 143 t $Ca(NO_3)_2$, tedy 11 t NO_3-N .

Aplikace perkarbonátu sodného

V orientačních sklenicových testech se perkarbonát ukázal jako velmi účinné oxidační činidlo, které už v poměrně nízké dávce (desítky $g \cdot m^{-2}$) černou vodu BR zcela odbarví (zprůhlední). Perlička perkarbonátu, která klesne na dno, dokáže zoxidovat 1–3mm vrstvičku sedimentu ve svém okolí (černá barva bahna se změní na sytě hnědou). Test s 50 kg na omezené ploše BR II 14. 4. 2014 měřitelné zlepšení nepřinesl, a to pro obrovské množství redukováných látek. Větší aplikace tedy měla šanci na úspěch až poté, co se redox situace zlepší přidáním dusičnanovými ionty. K realizaci došlo až 20. 6. 2014, kdy bylo třeba upravit špatné podmínky v BR I (vysoký obsah NH_4-N , anoxie začínající několik desítek cm pod hladinou), které přetrvávaly i po uvedení do provozu první biol. linky na ČOV, tedy po výrazném snížení organického zatížení rybníka. Bylo aplikováno 3,2 t perkarbonátu rozvezením pracovní lodí, jemné perličky byly



Obr. 4. Koncentrace chlorofylu a v povrchové vrstvě vody biologických rybníků v roce 2014

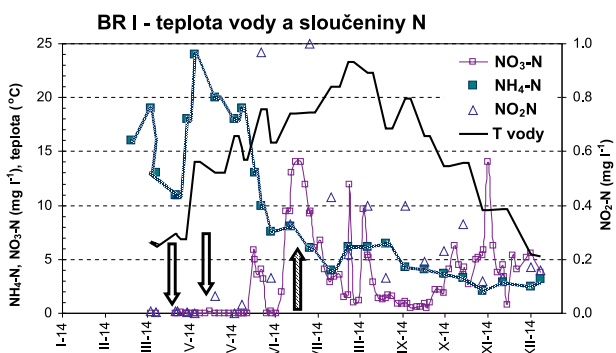
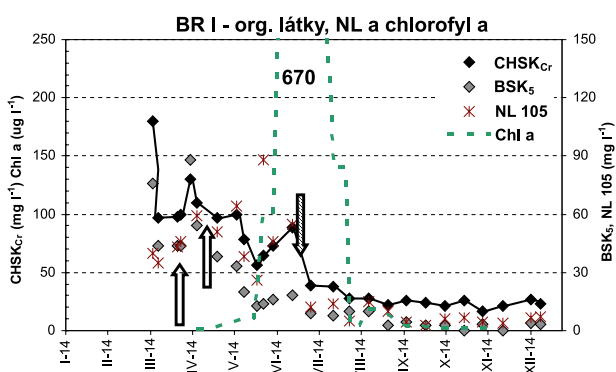


Obr. 5. Průběh konduktivity v povrchové vrstvě vody biologických rybníků v roce 2014

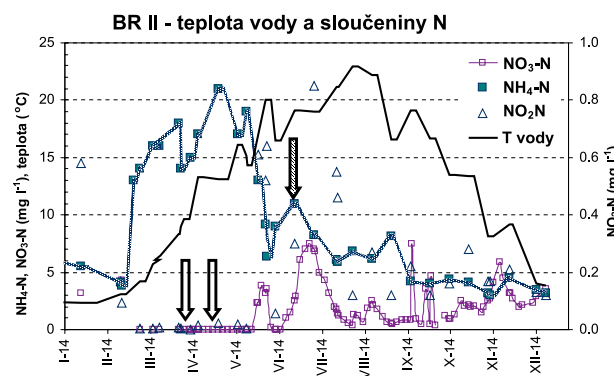
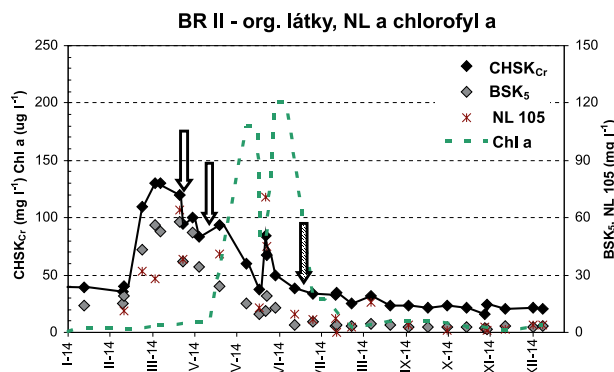
sypány přes bort lodí a vmíchány do vody vrtulí motoru. Hodinu po aplikaci byly změřeny poměrně vysoké koncentrace rozpuštěného kyslíku jak při hladině (ze 4 $mg \cdot l^{-1}$ na 10–18 $mg \cdot l^{-1}$), tak zejména u dna ve hloubce 0,8–1,5 m (z 0 $mg \cdot l^{-1}$ nejčastěji na 6–8 $mg \cdot l^{-1}$, výjimečně až na 20 $mg \cdot l^{-1}$). Hodnota pH se zvýšila z původních 7,5 na 7,5–8,5. Poměrně široké rozmezí koncentrací O_2 a hodnot pH bylo způsobeno tím, že měření proběhlo brzy po aplikaci a poměry v rybníce byly ještě značně heterogenní.

5.3. Chování biologických rybníků

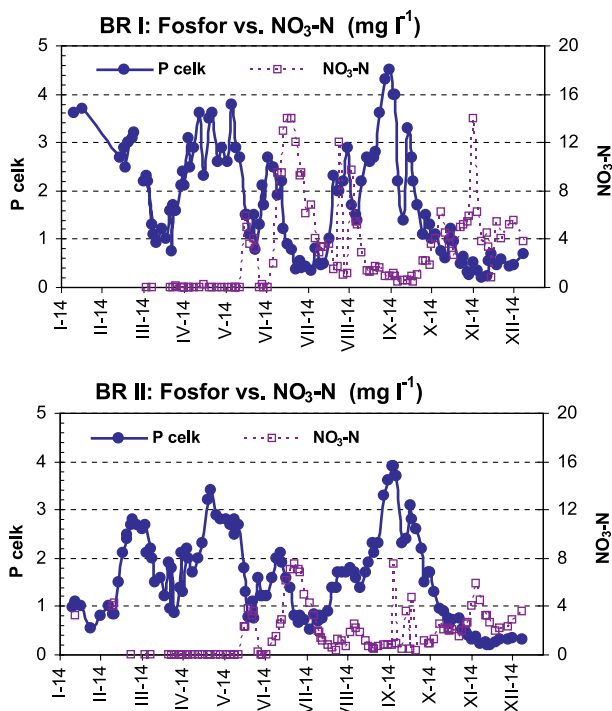
V dubnu, kdy byla ještě voda obou BR sytě černá, se v BR II v mělké vodě, oddělené od hlavního objemu rybníka porosty zblochanu, místy vytvářely při břehu v povrchové blance a na svrchní straně plovoucích částečně zetlelých listů stromů jasně zelené povlaky (směs euglen a drobných chlamydomonád). Několik testů s těmito řasami, perkarbonátem a superfosfátem ukázalo, že zatím je pro rozvoj autotrofů kritický nedostatek světla a přebytek organických látek. Zelené „hot-spots“ se po polovině dubna (po druhé aplikaci $Ca(NO_3)_2$) začaly mírně rozšiřovat a objevily se i na BR I. Koncem dubna se na obou rybnících projevily brčalově zelené povlaky v místech, kam byla povrchová blanka nahnána větrem. Povlaky obsahovaly eugleny, chlamydomonády a početně bohaté společenstvo holotrichálních nálevníků, jež bylo podstatně pestřejší v méně zatíženém BR II.



Obr. 6. Sezonní vývoj situace v prvním (horním) biologickém rybníku (BR I) v průběhu roku 2014. Prázdné šipky označují aplikace $Ca(NO_3)_2$, šrafovaná šipka aplikaci perkarbonátu sodného



Obr. 7. Sezonní vývoj situace ve druhém (dolním) biologickém rybníku (BR II) v průběhu roku 2014. Prázdné šipky označují aplikace $Ca(NO_3)_2$, šrafovaná šipka aplikaci perkarbonátu sodného



Obr. 8. Sezónní průběh koncentrací P celkového a $\text{NO}_3\text{-N}$ v biologických rybnících

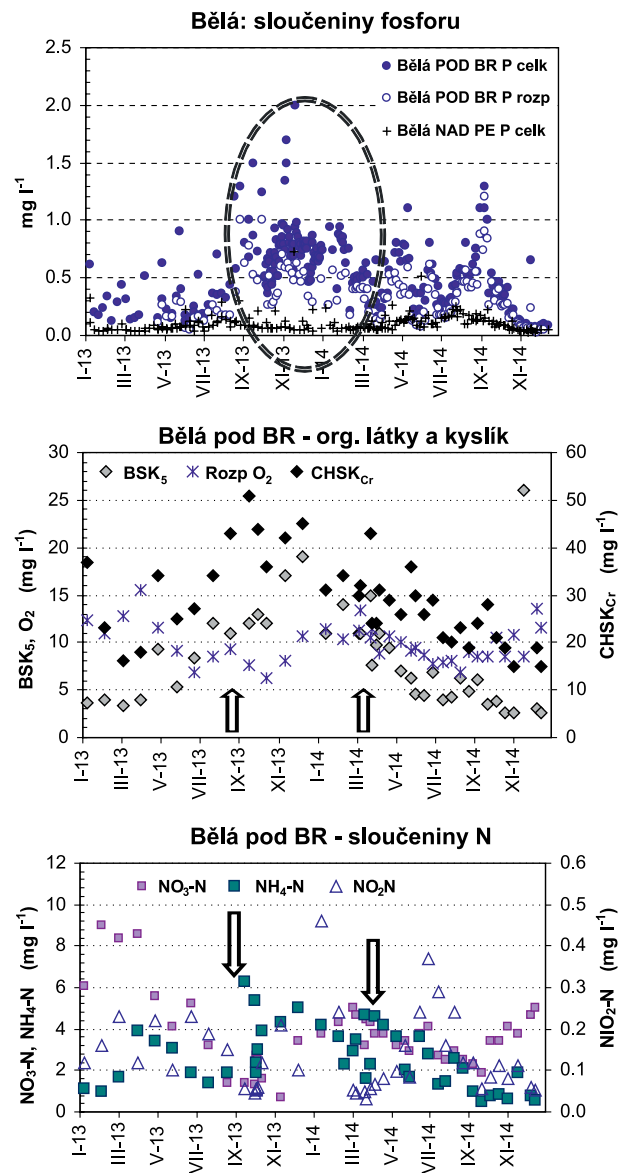
Začátkem května (6. 5.) se BR II proměnil v sytě zelený rybník, přičemž autotrofové se vyskytovali v celém vodním sloupci. V zásadě během týdne od prvních málo zřetelných zelených povlasků ovládl fytoplankton celý rybník. BR I mezitím měnil barvu ze šedé více na černou a zpět, podle toho, jak se intenzivnímu bakteriálnímu rozkladu ne/dostávalo dusičnanových iontů. Autotrofové převládli v povrchové vrstvě vody (10–20 cm) BR I teprve koncem května, tedy o dva týdny později než v BR II (obr. 4). Tím byly konečně stabilizovány zlepšené oxidoredukční poměry. Fytoplankton, který rybníky ovládl, byl velmi životaschopný a neohrožily ho ani silné přítoky odlehčovaných vod. Teprve jiný čistě přírodní mechanismus dokázal ukončit dominanci fytoplanktonu – filtrující zooplankton.

Začátkem června vstoupily rybníky do další fáze vývoje. Průhlednost se ze stávajících zhruba 20 cm zvýšila na 60 cm v BR I a na 80 cm v BR II a během několika dnů poklesly koncentrace kyslíku v povrchové vrstvě vody na 1–2 mg.l^{-1} . Příčinou byl explozivní rozvoj filtrujícího zooplanktonu, který zkonsumoval fytoplankton produkující kyslík. Vše začalo v BR II kolem 10. 6. vířníky (*Brachionus calyciflorus*, *B. angularis*, *Polyarthra*, *Asplanchna* početně dominující), kteří se krmili zelenou řasou *Planktosphaeria gelatinosa*, která je jinak považována spíše za nekonzumovatelnou kvůli slizovému obalu. Prudce rostoucí cenóza vířníků byla během několika dnů (16. 6.) doplněna o novou dominantu: perloočku *Daphnia curvirostris*, která rovněž využívala jako potravu řasu *P. gelatinosa*. Už 20. 6. ale celý rybník ovládala perloočka r. *Moina* a průhlednost vody dosáhla 1,6 m. Horní rybník BR I byl ve vývoji zooplanktonu asi o týden pozadu.

Prudká směna vůdčích druhů zooplanktonu byla zakončena začátkem července, kdy se prosadila velká perloočka *Daphnia magna* známá z návesních rybníků (zpočátku s příměsí *D. galeata*). V kyslíkem deficitní vodě tvořila stabilně obrovskou biomasu v obou rybnících až do konce září. V BR I byly dafnie trvale červené, protože si za kritického nedostatku kyslíku musely vytvořit červené krevní barvivo (hemoglobin), aby účinněji získávaly z vody kyslík a dokázaly tak přežít. V BR II se začátkem září objevily už i světlé populace, neboť se kyslíkové poměry zlepšily (v horní části vodního sloupce 3,1 $\text{mg.l}^{-1} \text{O}_2$).

5.4. Vývoj chemismu biologických rybníků

Vývoj chemismu obou rybníků byl ovlivňován nejen aplikacemi látek a dramatickým vývojem biocenózy, ale velmi silně také epizodickými, nikde nepodchycenými vstupy odlehčovaných vod, které výrazně měnily dobu zdržení vody v rybnících. Vliv odlehčovaných



Obr. 9. Bělá – vývoj jakosti vody v toku pod biologickými rybníky v letech 2013-2014. Pro porovnání jsou doplněny i koncentrace P celk v Bělé nad Pelhřimovem (nad PE). Období od zahájení rekonstrukce do první aplikace je označeno elipsou a v dolních grafech šipkami

vod mohl při nízkých srážkových úhrnech (jednotky mm za den) přinést do BR velké množství znečištění (proplach kanalizačního řadu), ale relativně málo dešťové vody. Naopak při vyšších srážkových úhrnech dotekly do BR i velké objemy srážkové vody s nízkou vodivostí. Proto lze významnější průtokové události dobře sledovat měřením konduktivity (obr. 5). Nízké hodnoty konduktivity v BR II na začátku roku 2014 byly způsobeny ředěním vodou z Bělé. Z grafu na obr. 5 je vidět velká hydrologická provázanost obou rybníků. Tím se částečně vysvětluje obdobný průběh sezónního vývoje hlavních ukazatelů jakosti vody v BR I a v BR II (obr. 6 a 7). Dalším společným faktorem s vlivem na sezónní změny pro oba rybníky byl i vývoj počasí (teplota, oslunění, míchání větrem). Křivky průběhu hlavních ukazatelů kvality vody v dolním rybníce BR II jsou o několik dnů až týden posunuté oproti rybníku hornímu, což zhruba odpovídá době zdržení vody v BR I.

Přímý vliv přísunu odlehčovaných vod, jak byl indikován změnami konduktivity, např. na průběh křivky koncentrací dalších ukazatelů, nebyl jednoduchý. Kromě efektu snížené vodivosti totiž souběžně docházelo ke vstupu čerstvého organického znečištění, které se v rybnících rozkládalo za náhle zvýšené spotřeby a vyčerpání(!) kyslíku či dusičnanových iontů, na něž velmi pravděpodobně navazovaly změny v chování sedimentu s následným uvolňováním rozpuštěných sloučenin fosforu. Na riziko opětovného uvolnění P po spotřebování

dusičnanů upozornily už laboratorní experimenty.

Celoplošné aplikace $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ znamenaly výrazné snížení oxidoredukčního dluhu rybníčního ekosystému a průběžné dávkování $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ pak silně podporovalo mineralizační proces. V grafech na obr. 6 a 7 je vidět snížení BSK_5 , CHSK_{Cr} , obsahu nerozpouštěných látek (NL) i $\text{NH}_4\text{-N}$. Tím byl umožněn explozivní rozvoj autotrofních organismů – jejich biomasa nezhoršila významně obsah organických látek na odtoku z BR II do recipientu (Bělá). Během dávkování $\text{NO}_3\text{-N}$ nepřekročily koncentrace $\text{NO}_2\text{-N}$ v rybnících 1 mg.l^{-1} , což znamenalo z pohledu recipientu bezpečnou situaci.

Vztah koncentrací $\text{NO}_3\text{-N}$ a P celk je zpracován do grafů na obr. 8. V zásadě platí, že zvýšené koncentrace nitrátů měly za následek, nebo se alespoň velmi významně podílely, na snížení koncentrací P celkového. Potvrdil se tedy v praxi předpoklad pozitivního vlivu dusičnanových iontů na zadržování P v sedimentech, přestože situace v BR byla komplikována mohutným vstupem organického znečištění i sloučenin fosforu.

Aplikace perkarbonátu významně pomohla v BR I snížit obsah organických látek a také snížit koncentraci $\text{NH}_4\text{-N}$ a tím zároveň doplnit částečně zásobu rychle spotřebovávaného $\text{NO}_3\text{-N}$. Tento pozitivní vliv se přenesl i na poměry v BR II.

Positivní role aplikace dusičnanů a vůbec všech provedených opatření vynikne, když propočteme zatížení BR II organickými látkami (pro BR I nebylo možné získat údaje o nárazových přísunech látek za srážko-odtokových událostí). V zimním období vstupovalo do BR II denní zatížení 300–500 kg BSK_5 na hektar, v dubnu cca 180–200 kg a v květnu pak – v důsledku zlepšení poměrů v BR I – „jen“ 70–120 kg na 1 hektar plochy rybníka. Zatížení BR I bylo ještě zřetelně vyšší. Pro nízké zatěžovaný biologický rybník se považuje za optimální denní zatížení BSK_5 kolem 35 kg na hektar plochy. Podobně dopadne porovnání zatížení BR II fosforem. Pohybovalo se zhruba mezi 50–100 g.m⁻².rok⁻¹. Pro srovnání: silně zatížený hypertrofní Buzický rybník pod městem Blatná, který rovněž přijímá odlehčované odpadní vody, je zatížený zhruba 8 g.m⁻².rok⁻¹. Z pohledu vstupu látek patřily tedy oba BR do kategorie extrémního zatížení.

Účinnost zásahů byla omezena skutečností, že sukcese biocenózy rybníků se musela zastavit ve stádiu dominance filtrujícího zooplanktonu. Ten zkonsumoval veškerý fytoplankton, čímž zbavil vodu nejdůležitějšího zdroje kyslíku a zakonzervoval téměř anoxické poměry. Oxidoredukční rovnováhy tak byly silně závislé na dostupnosti dusičnanových iontů, tedy na jejich dávkování. Tuto situaci lze sice řešit „násilně“ aplikací pesticidů k hubení populací perlooček (v rybářství se používá diazinon), ale kromě nežádoucího zanášení cizorodých látek do vodního prostředí by i efekt byl velmi nejistý. Nejlépe je využít k řešení přirozené vztahy uvnitř ekosystému, a to zavedením dalšího článku potravního řetězce, tedy ryb (kapr). Kapr svým predačním tlakem průběžně snižuje biomasu perlooček a fytoplankton dostane opět šanci k rozvoji, čímž pro celý systém zajistí dostatek kyslíku – s příznivým dopadem na retenci P v sedimentech. Tento krok však už v hektické sezoně 2014 nezískal podporu k realizaci (náklady, riziko úhynu, nutnost výlovu, nejistota dalšího vývoje situace). Proto zůstal ekosystém obou rybníků v prakticky trvalých kyslíkových deficitech s kolísavými koncentracemi P.

5.5. Vliv na vodní tok Bělá (recipient)

Odtok z BR II, kde je také situován standardní kontrolní profil pro ČOV Pelhřimov, se choval výrazně hypertrofně i v minulých letech. V letních měsících docházelo k silným kyslíkovým deficitům, k nárůstu obsahu $\text{NH}_4\text{-N}$ (kolem 10 mg.l^{-1}), k vyčerpávání dusičnanových iontů a k růstu koncentrací fosforu ($1,0\text{--}2,5 \text{ mg.l}^{-1}$) a chlorofylu a ($\sim 300 \mu\text{g.l}^{-1}$). Koncentrační ukazatele byly přitom vylepšovány nařezáváním vodou z Bělé kvůli rybí obsádce, jak bylo uvedeno výše.

Po zahájení rekonstrukce ČOV Pelhřimov (1. 9. 2013) se riziko vysokých emisí P, jakož i látek ohrožujících např. kyslíkový režim, projevilo velmi brzy na jakosti vody Bělé pod BR (obr. 9). Z grafů je zřejmé, že nejhorší jakost vody v Bělé byla zaznamenána v období



Nálevník trpka (*Paramecium* sp.) s trávícími vakuolami naplněnými zelenými bičíkovicí chlamydomonádami. Mikrofotografie zeleného biofilmu na hladině, kde převrat do autotrofního stavu začal



Vrchol autotrofního stádia s nadbytkem kyslíku v celém vodním sloupci

do startu opatření na biologických rybnících, kde první akcí bylo zamezení vysoké průtočnosti a vypouštění spodní vody požerákem.

Z pohledu emisí P je dobré si uvědomit, že ve vodotečích v povodích vodárenských nádrží požaduje nařízení vlády č. 61/2003 Sb. v aktuálním znění koncentraci P celkového $0,050 \text{ mg.l}^{-1}$, což je zhruba v souladu i s požadavky na dosažení dobrého ekologického stavu. Toto srovnání dává měřítko závažnosti otázky nakládání s odpadními vodami města Pelhřimova.

6. Závěry

Zásadní závěr, který není sice nijak novým zjištěním, ale je nutné jej uvést, zní: Pokud se zanedbá řádné nakládání s odpadními vodami u zdroje, je další řešení všestranně velmi náročné, nemůže být ani dostatečně účinné a nakonec se i značně prodraží. Ušetřit starosti i prostředky – to bývá přitom hlavní motiv, proč k nedostatečnému řešení přímo u zdroje dochází. Volně navázat můžeme jistě paralelu s diskusí kolem emisí fosforu obecně, kdy nechut řešit emise P u (bodového) zdroje, kde to jde relativně snadno, vyvolává nutnost projektů, které se snaží P lapat (inaktivovat, „zneškodňovat“) či sinice různě sofistikovaně zabíjet a na životě omezovat až následně, například na přítoku vodních nádrží (VN Brno, VN Plumlov).

Nezbytné je zdůraznit téma odlehčovaných odpadních vod, a to v souvislosti (1) s oprávněným požadavkem na retenci jejich nejznečištěnějšího podílu s následným zpracováním na ČOV a (2) s nezbytností věnovat se hospodaření se srážkovými vodami na urbanizovaném území. Vybudovat moderní a velmi nákladnou ČOV je sice jednoznačně pozitivní počín, ale odlehčované odpadní vody mohou do vodního prostředí vnášet několikanásobný objem znečištění (fosforu!), než provoz ČOV samotné. Řešení problematiky eutrofizace vodních nádrží je pak v zásadě nemožné. To platí i pro město Pelhřimov, kde odlehčované vody „řeší“ biologické rybníky, ale jak bylo ukázáno výše, o dostatečně účinné řešení, adekvátní pro povodí nejdůležitější vodárenské nádrže v ČR, se zatím určitě nejedná.

Aplikace $\text{NO}_3\text{-N}$ může zlepšit kritickou situaci silně organicky zatížených rybníků. V pelhřimovských biologických rybnících došlo k:

- eliminaci silného zápachu, což sice z pohledu ochrany jakosti vody VN Švihov bylo marginální záležitostí, ale z pohledu místních obyvatel se jednalo o zásadní problém;
- k vyrovnání gigantického oxidoredukčního dluhu (viz dále), který se v rybnících vytvořil během jejich obrovského přetěžování od okamžiku zahájení rekonstrukce ČOV: vstup BSK_5 v úrovni $100\text{--}300 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{den}^{-1}$, fosforu $50\text{--}100 \text{ g.m}^{-2}.\text{rok}^{-1}$, a který by přírodní procesy vysoce pravděpodobně vyrovnat nedokázaly;
- ke stimulaci mineralizace organických látek s následným umožněním existence autotrofních organismů – bez této podpory by s pravděpodobností blížící se jistotě (vzhledem k organickému zatížení) zůstaly oba biologické rybníky striktně anaerobní s vysokými koncentracemi $\text{NH}_4\text{-N}$, P i organických látek a s velmi nepříznivým dopadem na vodoteče a nádrže níže v povodí;
- k výraznému snížení obsahu fosforu ve vodě, ale pouze pokud se podařilo udržet v rybnících dostatečnou koncentraci dusičnanových iontů – zpětně lze říci, že poměrně vysoká dávka $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, která

byla použita (celkem 11,8 t NO₃-N, tedy 148 t dodávaného produktu), mohla být podstatně vyšší, protože potřebnou koncentraci NO₃-N v rybnících se podařilo udržet jen po omezené časové úseky (kvůli nestabilitě celého systému).

Přestože dusičnanové ionty jsou pro dobrou funkci rybníků důležité, a to zejména pokud rybníky přijímají znečištění s komunálními odpadními vodami (organika + P), je u větších ČOV stále v zásadě nemožné dosáhnout toho, aby tam, kde odtok z ČOV je do rybníků přímo či nepřímo zaústěn, nebyl N aktivně odstraňován. Nejen že procesy denitrifikace probíhají v rybnících velmi rychle, takže prostředky vynaložené na rozšíření ČOV o eliminaci N (cca 20 % nákladů na výstavbu celé ČOV) jsou prakticky zbytečné, ale zároveň se i snižuje retence P v rybnících, protože za nedostatku dusičnanových iontů se z anoxického sedimentu uvolňují sloučeniny fosforu. V případě ČOV Pelhřimov se předběžně zdá, že pokud by zde nebyla provozována denitrifikace, pak by do biologických rybníků přitéklo zhruba 60–90 kg NO₃-N denně (70 l.s⁻¹, 15–20 mg.l⁻¹ NO₃-N). To je množství, které by za předpokladu nízkého organického zatížení a nízkého vstupu P (= dobrá funkce ČOV) mělo právě nahradit spotřebu NO₃-N denitrifikací, tedy zajistit příznivé oxidoredukční poměry a udržet dobrou úroveň retence P. Je otázka, zda se podaří uhájit zachování emisí NO₃-N do BR.

Při interpretaci a přenosu výsledků laboratorních experimentů do terénu je třeba počítat s výraznou odlišností podmínek. To se projevilo nejen v případě pokusné aplikace Al koagulantu, kde testy silně podcenily dávku, ale zejména v případě odhadu dávek Ca(NO₃)₂. Ukázalo se, že zatímco v testech byla zjištěna rychlost spotřeby NO₃-N kolem 0,4 g.m⁻².den⁻¹, což odpovídalo i výsledkům testů provedených v jiných lokalitách, při druhé aplikaci byla reálná rychlost spotřeby NO₃-N kolem 25 g.m⁻².den⁻¹, tedy o dva řády vyšší! Příčinou byl právě onen výše zmíněný gigantický oxidoredukční dluh, který bylo třeba vyrovnat, než mohl celý systém začít „normálně“ fungovat.

Pro dobrou funkci biologických rybníků je nezbytná adekvátní rybí obsádka, jejíž řízení musí být zcela podřízeno účelu rybníků. Obsádka musí být poměrně silná (odpovídající vysokému zatížení rybníka), aby dokázala udržet rybník v aerobním stavu s fytoplanktonem produkujícím kyslík. Řídit takovou rybí obsádku může pouze subjekt disponující nejen dostatečnou zkušeností, ale také technickými prostředky (tedy obvykle nikoli sportovní rybáři). Příkrmování rybí obsádky, když spotřebuje přirozenou potravu, je oprávněným postupem, který vnosem P nepřispěje významně k celkové bilanci rybníka, ale pomůže udržet ekosystém ve správné funkci, včetně retence P. Nezbytné je soustředit se na zabezpečení výlovu tak, aby nedocházelo k úniku fosforem bohatých sedimentů.

Důležitou otázkou k řešení je způsob dalšího provozování soustavy ČOV Pelhřimov a BR. Mají procházet přes BR vyčištěné odpadní vody z ČOV? Zatím se zdá, že kvalita OV odtékajících z rekonstruované ČOV může být velmi dobrá (P celk 0,2–0,3 mg.l⁻¹), takže rybníky by ji z pohledu koncentrací P mohly – dokud nebude odstraněn stávající sediment – kvalitu vody dokonce zhoršovat. Zároveň ale mají biologické procesy v rybnících schopnost rozkládat některé organické mikrokontaminanty, jak ukazují předběžné výsledky z Buzického rybníka (Povodí Vltavy, státní podnik, nepubl. údaje), což může být pro jakost vody ve VN Švihov také důležitý faktor.

Zajímavá by byla i možnost využívat BR výhradně pro zachycování odlehčovaných odpadních vod a vytvořit si pro tento účel v nich i určitý retenční objem, zatímco standardně vyčištěné odpadní vody by vstupovaly přímo do recipientu, Bělé.

Z pohledu zabezpečení vodárenské nádrže Švihov před rozvojem eutrofizace, kterou je ohrožena, bude otázkou zásadního významu nastavení limitů pro obsah P v odpadní vodě vypouštěné z ČOV. Význam tohoto kroku je dán skutečností, že město Pelhřimov je pro VN Švihov největším zdrojem P, tedy prvku, jenž v nádrži přímo určuje rozvoj sinic. Dobré řešení lze ovšem najít pouze mimo rámec aktuálně platných limitů, což je jistě výzva.

Dobrym cílovým řešením se podle dosavadních výsledků zdá být: (1) odbahnit oba rybníky, (2) zachovat přítok OV z ČOV s dostatkem NO₃-N do BR a (3) uvažovat o zachycování nejznečištěnějšího podílu odlehčovaných vod v akumulaci nádrži (aktuálně žádná neexistuje) a teprve další podíl nechat natékat do BR.

To vše jsou otázky pro další úvahy, průzkumy a jednání, protože teprve optimalizace provozu ČOV Pelhřimov spolu s biologickými rybníky může znamenat velkou přidanou hodnotu k ochraně jakosti vody naší největší a nejdůležitější vodárenské nádrže.

Literatura

- [1] Duras, J.; Liška, M.; Koželuh, M.; Forejt, K. (2011): VN Švihov (Želivka) – zajímavosti z monitoringu živin a organických mikrokontaminantů. Vodárenská biologie 2011, 2.–3. února 2011, Praha, Říhová Ambrožová J., Veselá J. (Edit), str. 86–93.
- [2] Potužák, J.; Duras, J. (2013): Bodové zdroje a problematika jejich hodnocení. Vodní nádrže 2013: 25.–26. září 2013, Brno, Kosour D. (Edit.), str. 60–63.
- [3] Brunet, R. C.; Garcia-Gil, L. J. (1996): Sulfide-induced dissimilatory nitrate reduction to ammonia in anaerobic freshwater sediments. FEMS Microbiology Ecology 21, str. 131–138.
- [4] Klapper, H. (2003): Technologies for lake restoration. J. Limnol., 62(Suppl 1), p. 73–90.
- [5] Dokulil, M. T.; Teubner, K.; Donabaum, K. (2000): Restoration of a shallow, ground-water fed urban lake using a combination of internal management strategies: a case study. Arch. Hydrobiol. Spec Issues Advanc. Limnol. 55, p. 271–282.
- [6] Harada, H.; Akagi, K.; Tutioka, H.; Hashimoto, A. (2014): Remediation of coastal sediments by addition of calcium nitrate and presence of benthos in a muddy tidal flat. Journal of Environmental Protection 5, p. 703–708.
- [7] Walawska, B.; Gluzińska, J.; Miksch, K.; Turek-Szytow, J. (2007): Solid inorganic peroxy compounds in environmental protection. Polish Journal of Chemical Technology 9, 3, p. 68–72.

RNDr. Jindřich Duras, Ph.D.¹⁾ (autor pro korespondenci)
Ing. Michal Marcel¹⁾
Ing. Věra Novotná²⁾
Ing. Vlastimil Šebesta³⁾

¹⁾Povodí Vltavy, státní podnik
Denisovo nábřeží 14
304 20 Plzeň
jindrich.duras@pvl.cz,

²⁾KEMIFLOC, a.s.
Dluhonská 2858/111
750 02 Přerov

³⁾VODAK Humpolec
Křešnická 1815
393 01 Pelhřimov

Reconstruction of the Pelhřimov WWTP – addressing the situation of overloaded biological ponds and the impact on the recipient (Duras, J.; Marcel, M.; Šebesta, V.; Novotná, V.)

Abstract

During reconstruction of the Pelhřimov WWTP, the treatment of waste waters was not sufficiently resolved. Consequently, two biological ponds below the WWTP were highly overloaded. During 2014, the situation in the fishponds was maintained through several types of measure, of which the massive application of Ca(NO₃)₂ was the most important one. This confirms the positive effect of nitrate ions on the function of the impacted pond ecosystem, which raises the question of the effectiveness of N elimination technologies where the recipient is a shallow basin. For the good function of biological ponds, it is necessary to stock it adequately with fish. Addressing the treatment of wastewater entering the ponds is also important. Although significant improvement was achieved in pond ratios, it is obvious that it is not possible to effectively substitute ex post measures at the source.

Key words

biological ponds – Pelhřimov WWTP – phosphorus emissions – calcium nitrate application – Švihov Reservoir

Tento článek byl recenzován a je otevřen k diskusi do 30. června 2015. Rozsah diskusního příspěvku je omezen na 2 normostrany A4, a to včetně tabulek a obrázků. Příspěvky pošlete na e-mail stransky@vodnihospodarstvi.cz.

Fosfor v odpadních vodách – perspektivy jeho recyklace

Marek Holba, Michal Došek, Blahoslav Maršálek

Abstrakt

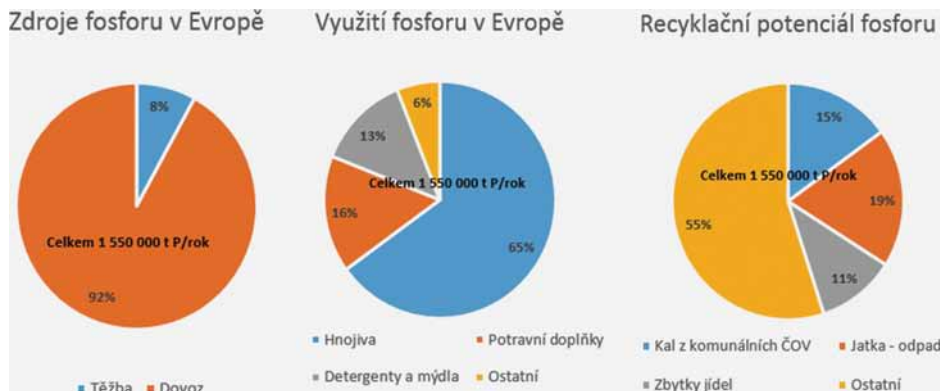
V současné době je celosvětově detekován nedostatek fosforu. Fosfor byl Evropskou unií zařazen na listinu 20 kriticky nedostatkových materiálů v blízké budoucnosti. Fosfatové rudy slouží jako hlavní zdroj fosforu používaného především v zemědělství jako hnojivo. Evropa dováží více než 90 % fosforu a i z tohoto hlediska je nutné akcentovat recyklační scénáře. Jednou ze zajímavých surovin pro jeho recyklaci jsou i odpadní vody. Pro odpadní vody existují nyní desítky aplikací v laboratorní a poloprovodní formě, nicméně objevují se už i první provozní aplikace různých technologií. Recyklace fosforu z odpadních vod může zvýšit produkci fosfatových hnojiv z evropských zdrojů zhruba na trojnásobek oproti současnému stavu.

Klíčová slova

recyklace fosforu – odpadní vody – hnojivo – technologie

Úvod

Nedostatek fosforu a fluktuace jeho cen se začíná projevat jak v zemědělství, tak v průmyslu, a proto byl fosfor Evropskou unií zařazen na listinu 20 kriticky nedostatkových materiálů v blízké budoucnosti [1]. Hlavní rizika spočívají v tom, že veškeré zdroje fosfatových rud jsou koncentrovány, a to především v Maroku (75 %) v Číně (6 %), Alžírsku (5 %) a Sýrii (5 %) [2]. Důležitost fosforu plyne i z toho, že je esenciálním prvkem pro lidské organismy. Fosfor je jedním ze tří hlavních makronutrientů a v současné době neexistuje jeho alternativa pro použití v zemědělství jako hnojivo. Jeho nedostatek může vést k úpadku extenzivního zemědělství, který může vést ke globálnímu nedostatku potravin a v extrémním případě i k sociálním nepokojům a hladu. Světové rezervy fosforu se odhadují na desítky nebo v lepším případě stovky let, nicméně kvalita těžených rud postupně klesá [3]. V rámci Evropy jsou jediné doly na fosfatové rudy ve Finsku a Evropa je závislá na importu z 92 % [1].



Obr. 1. Bilance fosforu v Evropě a jeho recyklační potenciál

Tabulka 1. Fosfor v prostředí a v přírodních a antropogenních látkách (hmotnostní % P)

Životní prostředí		Přírodní materiály		Antropogenní látky	
Vzduch	0,00	Rostliny	0,05–1,0	Beton	0,01–0,05
Mořská voda	0,0001–0,001	Lidské tělo	1,0	Okenní sklo	< 0,01
Dešťová voda	0–0,001	Krev	0,04	Popílek	4,0–9,0
Vyvěřeliny	0,1	Kosti	12,0	Tepané železo	0,1–0,2
Fosfatové rudy	10,5–15,0	Zuby	8,0	Ocel	0,02–0,05
Půda	0,02–0,50	Kravné mléko	0,1	Čistírenský kal (sušený)	2,6
Meteority	0,2	Přívovarské kvasnice	1,8		

Odpadní vody jsou bohatým zdrojem fosforu – v běžné komunální vodě jsou koncentrace fosforu okolo 10–15 mg/l a v některých průmyslových odpadních vodách se můžeme setkat i s koncentracemi ve stovkách miligramů fosforu na litr. Proto přibližně 15 % z importovaného fosforu do Evropy lze získat z odpadních vod prostřednictvím kalů a popílků nebo recyklací do formy hnojiva – viz obr. 1 [4, 5].

Současné zdroje fosforu

V mnoha pracích byla provedena řada látkových bilancí fosforu [6, 7, 8] v různých systémech s ohledem na globální zajištění potravin (viz tabulka 1). Jako hlavní oblasti potřeby a zároveň zdrojů fosforu byly identifikovány: těžba průmyslu, aplikace hnojiv, zemědělské plodiny, produkce potravin a exkrementy.

V současné době jsou primárním zdrojem fosforu fosfatové rudy (cca 90 %), z ostatních zdrojů je třeba identifikovat koncentrované zdroje, u nichž by byla recyklace ekonomicky zajímavá – viz tabulka 2.

Tabulka 3 shrnuje nároky na budoucí scénáře nakládání s fosforem. Je z ní patrné, že naším prvořadým zájmem by mělo být minimalizovat ztráty při všech procesech spojených s hospodařením s fosforem, snažit se snížit poptávku po fosforu a zvýšit využití fosforu lidmi, faunou i flórou. Biotizované komposty jsou ošetřeny mikroorganismy s vysokou produkcí fosfatů, které zpřístupní fosfor z forem pro rostliny nedostupných, například z apatitu na fosfáty).

Kontext produkce a spotřeby potravin

U zemí třetího světa se předpokládá každoroční nárůst poptávky po fosfatových hnojivech o 4 % pro zabezpečení základní zemědělské produkce, kde zhruba dvě třetiny této poptávky tvoří asijské státy. Dáme-li tuto informaci do kontextu s křivkou předpokládaného nárůstu obyvatelstva, tak nám vychází, že v r. 2050 bude muset naše planeta uživit o 2,5 miliardy lidí více, než je tomu nyní. Pro zabezpečení základních potřeb těchto obyvatel bude třeba zvýšit produkci potravin odhadem o 70 % oproti současnému stavu, především kvůli změnám ve stravovacích návycích, kdy obyvatelstvo Asie a Afriky nalézá stále více zálibu v masných a mléčných výrobcích, které jsou na potřebu fosforu výrazně náročnější [9].

Nicméně lze předpokládat, že v průměru se s ohledem na globální nárůst populace, rozvoj mlékárenského a masného průmyslu, výrobu biopaliv a zlepšenou aplikaci hnojiv zvýší poptávka po fosforu do r. 2050 zhruba o 2 % následovaná poklesem na 0,5 % směrem k roku 2100, kdy se očekává stabilizace počtu lidské populace. Zvýšenou spotřebou fosforu je možné očekávat z důvodu poptávky po biopalivech a mléčných a masných výrobcích [7].

Současná produkce a spotřeba potravin je extrémně neefektivní, zatímco každý rok vytěžíme 15 milionů tun fosforu na produkci potravin, 80 % fosforu nikdy neskončí na našem talíři. Přirozeně lze většinu fosforu nějakým způsobem recyklovat, ale minimalizace ztrát je mnohem energeticky a ekonomicky efektivnější. Sumář možných způsobů zefektivnění procesů produkce potravy s ohledem na fosfor je znázorněn v tabulce 2.

Další vhodnou úsporou v poptávce po fosforu by mohla být změna stravovacích návyků. V současnosti přibývá obézních lidí a naopak ubývá hladovějících lidí a v kontextu s globálním zvyšováním životní úrovně stoupá poptávka po masných a mléčných výrobcích, které jsou na fosfor třikrát náročnější než vegetariánská strava nehledě na zvýšenou potřebu dusíku, vody a energie. FAO předpokládá globálně dvojnásobný nárůst spotřeby masa, mléčných výrobků a ryb do r. 2050, způsobený zejména zvýšenou poptávkou v současném rozvojovém světě [10].

Zvyšování účinnosti využití fosforu v potravním řetězci by mohl být jeden z dalších kroků ke snížení ztrát v produkci potravin. Globalizace v trhu s potravinami vyústila ve více možnostech, více procesů, větší vzdálenosti a zvýšený zájem o pestřejší jídelničky. Delší výrobní řetězce přispívají k větším ztrátám potravin při transportu, výrobě, uskladnění i prodeji. Lze odhadovat, že ve vyspělých zemích se při cestě potravin z pole na talíř

Tabulka 2. Definice možných potenciálních zdrojů fosforu a procesů na jeho získávání

Zdroje:		Proces:							
		Separace zdrojů, kompostování, znovuvyužití	Využití a znovuvyužití odpadních vod	Recyklace a znovuvyužití vedlejších produktů a zbytků	Produkce a využití struvitu	Extrakce, zpracování a využití	Zpopelňování a spalování		
Současné zdroje	Lidské exkrementy	např. moč (skladování a znovuvyužití), kompostování exkrementů	např. přímé použití zředěné odpadní vody, použití vyčištěné odpadní vody na závlahy	např. aktivovaný kal z čistíren odpadních vod; kal z vyhnívaček a výroby biopaliv; filtrační koláč z produkce cukru	např. z odpadní vody na ČOV				
	Šedé vody	např. minimální čištění a okamžité využití							
	Zvířecí kejda	např. přímá aplikace kejdy					např. z mlékárenského průmyslu		
	Průmyslový odpad								
	Potrava pro zvířata	např. drcená masokostní moučka, využití krve					např. drcená masokostní moučka, využití krve		
	Zbytky potravy	např. kompostované zbytky potravy					např. kompostované zbytky z produkce potravin		
	Zbytky ze zemědělských plodin	např. zaorávání zbytků sklizně					např. olejové koláče nebo zbytky z olejářského průmyslu a z produkce cukru		
Nové zdroje	Zemědělské plodiny	např. biotizované komposty		kal z anaerobního vyhnívání v bioplynových stanicích		rozdrcení a spalování			
	Fosfátové rudy			těžba fosforu z dalších ložisek	těžba existujících a potenciálních zásob; fosfor v mořských sedimentech				
	Vodní vegetace, sedimenty a mořská voda				mořské řasy, řasy, mořská voda				

Tabulka 3. Nároky na budoucí nakládání s fosforem [7]

Nároky	Procesy produkce potravin a jejich spotřeby			
	Získávání a zpracování surovin pro produkci hnojiv	Využití hnojiv v zemědělství a produkci zemědělských plodin	Zpracování potravin	Spotřeba potravin
Minimalizace ztrát	např. snížení množství odpadů při zpracovávání fosfátových rud	např. snižování eroze a splachů	např. minimalizace ztrát při zpracovávání, uskladnění a transportu potravin; minimalizace ztrát od prodejců (supermarkety, přebytečné jídlo)	např. minimalizace domácího odpadu
Snížení poptávky		např. testování půd, sofistikované zemědělství (např. využití dálkového řízení)		např. snížení poptávky po způsobu stravování náročném na fosfor – mléko a maso; snížit přejídání
Zlepšené využití	např. lepší výběr a manipulace s plodinami a zvířaty	např. biostimulanty v kořenových zónách na lepší využití fosforu; optimalizace půdní biochemie (pH, potřeba uhlíku, vlhkost), využití organických hnojiv		např. zajištění, aby konzumenti byli zdraví, a tudíž maximalizovali využití fosforu

ztratí okolo 50 %, zatímco v zemích třetího světa je to výrazně méně. Např. ve Velké Británii domácnosti vyhodí potraviny v hodnotě za 10 miliard liber, což je zhruba třetina potravin, které nakoupí. Přibližně 60 % z toho jsou nevyužitá jedlá potravina, a tudíž odpad, kterému se lze vyhnout. Produkce potravin blíže konzumentům (různé domácí zahrádky, sady atd.) by měla také tyto ztráty zmenšit, rovněž tak jako nároky na vodu, energii atd. [10].

Dalším důležitým bodem je i zefektivnění zemědělství, neboť v průměru pouze 15–30 % aplikovaného hnojiva plodiny využijí, tudíž je zde obrovský potenciál ke zlepšení. Zefektivnění by mělo zahrnovat: vhodné, časované a přiměřené dávkování hnojiv, zlepšení fyzikálních a chemických vlastností půdy (pH, vlhkost, provzdušnění, přístupnost

ke kořenům) nebo např. přidávek mikrobiálních stimulantů (houby a bakterie) do oblasti kořenů pro zlepšené využití fosforu rostlinami. Zatímco až do 19. století se veškeré hnojení provádělo pouze aplikací organických hnojiv, objevení průmyslové výroby hnojiv pak mělo za následek odklonění se od využívání organických hnojiv, což vedlo k postupnému vytvoření závislosti na průmyslově vyráběných hnojivech. V současné době, abychom byli schopni ustát poptávku po hnojivech, budeme muset zpátky hledat cestu k organickým zdrojům.

Zdroje fosforu v budoucnosti

Řada anorganických i organických zdrojů může být použita jako hnojivo. Mezi ně lze zařadit ty, které znovu využívají organický fosfor

z výrobního a spotřebního řetězce potravin (kejda, zbytky zemědělských plodin, zbytky potravin, odpadní vody, lidské fekálie) a přírodní zdroje (mořské řasy, sladkovodní řasy, fosfátové rudy). Tyto zdroje mají různá skupenství (především pevné a kapalné), koncentraci fosforu a chemické a fyzikální vlastnosti. Budoucí scénáře budou založeny pravděpodobně na následujících kritériích: celková spotřeba energie na využití ze zdrojů, stupeň znečištění, koncentrace fosforu, chemické použití, dlouhodobá dostupnost a přístupnost zemědělcům a dále spolehlivost, co se týká kvality a množství.

Fosfátové rudy

Data z USGS [2, 5] (americká organizace geologického průzkumu, která veřejně publikuje analýzy celosvětových zásob rud a hornin) nám říkají, že z hlediska celkových zdrojů je technologicky a v ekonomicky únosné míře zhruba 18 miliard tun těžitelných fosfátových rud, což je množství, které při současné míře spotřeby vydrží na 50–100 let. Nicméně zhruba za 25 let lze předpokládat vrchol spotřeby fosforu a se zvýšenou poptávkou spojený nárůst cen.

Každá tuna vyrobených fosfátů navíc produkuje pět tun fosfogypsu (hlavní vedlejší produkt při výrobě fosfátů, což je většinou hydratovaný síran vápenatý) s vysokou koncentrací těžkých kovů, zejména kadmia, která je cca stonásobná vůči koncentraci kadmia v lidských exkrementech.

Kejdy

Kejda byla, je a bude používána jako hnojivo po celém světě. Fosfor v ní obsažený je snadno využitelný zemědělskými plodinami a jeho koncentrace se pohybuje od 2,9 % v drůbeží kejdě až po 0,1 % v hovězí kejdě. Kejdu hospodářského dobytka lze také účinně aplikovat v kombinaci s jinými organickými materiály, jako je především sláma a posklizňové zbytky, které svým vyšším obsahem uhlíku vyrovnávají nevhodný poměr dusíku, dále biologický odpad a lidské fekálie. Výsledný kompost má rovněž vhodné vlastnosti pro kondicionaci půdy na rozdíl od klasických organických materiálů. Kompostované hnojivo obsahuje až 1 % P_2O_5 oproti klasickým organickým materiálům, které obsahují cca 0,2 %. Je ale také pravděpodobnější, že bude obsahovat více těžkých kovů, pokud bude smíšeno s průmyslovým odpadem nebo čistírenským kalem. Dalším vhodným zdrojem je kal z vyhnívacích a bioplynových stanic, kde se anaerobním zpracováním kalu vyrábí bioplyn.

Předpokládá se, že cca pouze 40–50 % z celosvětové produkce kejdy (15 miliard tun) je recyklováno v zemědělství. Dosáhnout 100 % bude v budoucnu asi nemožné zejména z geografických důvodů, neboť nejsou vždy místně spjata zemědělská pole s podniky na produkci a zpracování kejdy. V některých zemích poptávka po kejdě převyšuje nabídku (např. Austrálie a Afrika), v jiných zemích je tomu přesně naopak (např. Severní Amerika a Nizozemí) [4].

Lidské exkrementy

Znovuvyužití fosforu ve formě hnojiva z lidských exkrementů může být provedeno mnoha způsoby: aplikací moči, kompostováním, smísením s odpadní vodou, spalováním, krystalizací struvitu, znovuvyužitím kalu s koncentrací fosforu od 0,2 % (moč) až cca ke 3 %, které běžně obsahuje čistírenský kal ze systémů se zvýšeným biologickým odstraňováním fosforu. Aby byla moč zdravotně nezávadná, měla by se dle standardů Světové zdravotnické organizace (WHO) ponechat nejméně tři měsíce hygienizovat před svým dalším využitím. V zemích třetího světa se s močí již dále nenakládá a přibližně 200 milionů zemědělců ji tam používá na pole jako tekuté hnojivo, které především díky svému původu není závadné z hlediska obsahu těžkých kovů. Problémem občas bývá fekální znečištění [11].

Moderním trendem je separace moči a fekálií u zdroje, což je z hlediska recyklace fosforu ekonomicky výnosnější, protože separuje koncentrované zdroje na rozdíl od např. odpadních vod na čistírnách odpadních vod. Zároveň se tím lze vyhnout i kontaminaci těžkými kovy. Fosfor lze navíc převést do formy struvitu, což je zemědělci žádané pomalu se rozkládající hnojivo. Člověk vyprodukuje ve svých exkrementech cca 1–1,5 g fosforu za den, což znamená, že lidstvo vyprodukuje za rok ve svých exkrementech okolo tří milionů tun fosforu [12].

Potravinový odpad

Potravinový odpad lze definovat jako veškerou organickou hmotu vzniklou od zpracování zemědělských plodin až po prosté zbytky potravin na našich talířích. Např. olejový koláč (zbytkový vedlejší produkt při výrobě oleje) obsahuje 0,9–2,9 % P_2O_5 , což je významně více, než obsahují zbytky při zpracování zemědělských plodin. Přibližně dva miliony tun fosforu jsou ztraceny a nerecyklovány. Zatímco zefektivnění potravinového řetězce může zamezit dalším ztrátám fosforu, pak vzniklý potravinový odpad může být kompostován nebo jinak znovu využit [7].

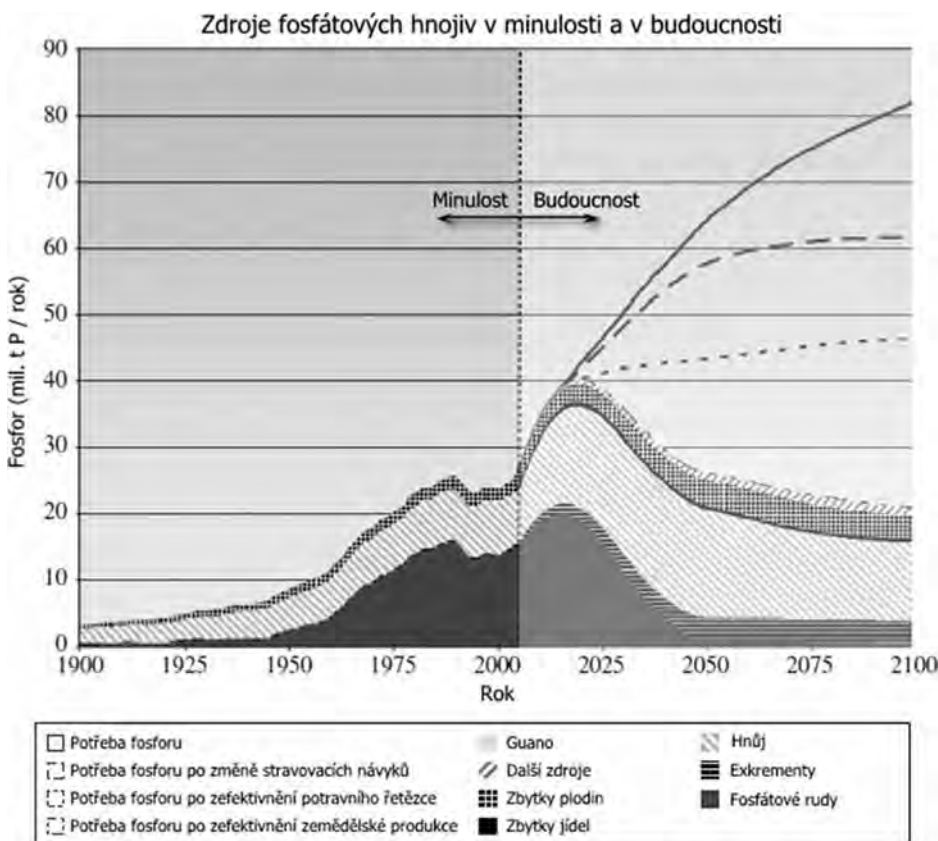
Zbytky zemědělských plodin

Zbytky zemědělských plodin, jako je sláma, kůra, stonky atd., mohou být zaorávány do půdy pro její kondicionaci a své hnojivé účinky (0,05–0,75 % P). Pouze zhruba 40 % z ročně vyprodukovaných 5 milionů tun ve formě fosforu je znovu využito jako hnojivo. Zbytek je využit pro krmení, jako palivo, stelivo nebo je spálen [7].

Další zdroje

Další potenciální zdroje lze identifikovat jako komerční organická hnojiva, popílky, kosti, maso, krev, guáno, vodní vegetaci a sedimenty. Předpokládá se, že tyto zdroje by mohly v roce 2050 produkovat 1–1,2 milionu tun fosforu ročně [10].

Obr. 2 shrnuje předpokládané rozvrstvení jednotlivých zdrojů fosforu v budoucnosti. Je patrné, že pokud se nebudeme zabývat změnou nakládání s fosforem, tak v roce 2100 dosáhne jeho spotřeba 84 milionů tun. Nicméně předpověď asi tak pesimistická nebude, a abychom se vyhnuli fosfátové krizi, lze očekávat, že se fosforem budeme zabývat téměř okamžitě. Zhruba nějakých 10–20 let ovšem bude trvat, než se všechny teoretické poznatky převeďou do praxe a ustanoví se základní principy pro využití zdrojů a recyklace fosforu. Někdy okolo 2020–2030 lze očekávat zvýšené využívání alternativních zdrojů fosforu. Případný nedostatek fosforu lze řešit získáváním z tzv. nových zdrojů (viz **tabulka 1**), jimiž jsou například řasy a popílky.



Obr. 2. Současné a budoucí zdroje fosforu jako hnojiva (převzato z [7])

Technologie recyklace fosforu z odpadních vod

V současnosti existují v laboratorním a poloprovodním měřítku desítky technologií recyklace fosforu z odpadních vod. Některé z nich dokonce pracují i v provozním měřítku a jsou k nim vypracovány případové studie [8]. Přehledná rešerše všech dostupných technologií byla vypracována autory již dříve a publikována v [13, 14]. Zaměříme se proto pouze na ty technologie, které jsou dle počtů do budoucna zajímavé z ekonomického hlediska. Pro recyklaci fosforu z odpadních vod se v současnosti využívá nejvíce krystalizace do formy struvitu, srážení do formy hydroxylapatitu anebo kalu ve formě popílku. Přehled nejzajímavějších technologií je znázorněn na obr. 3.

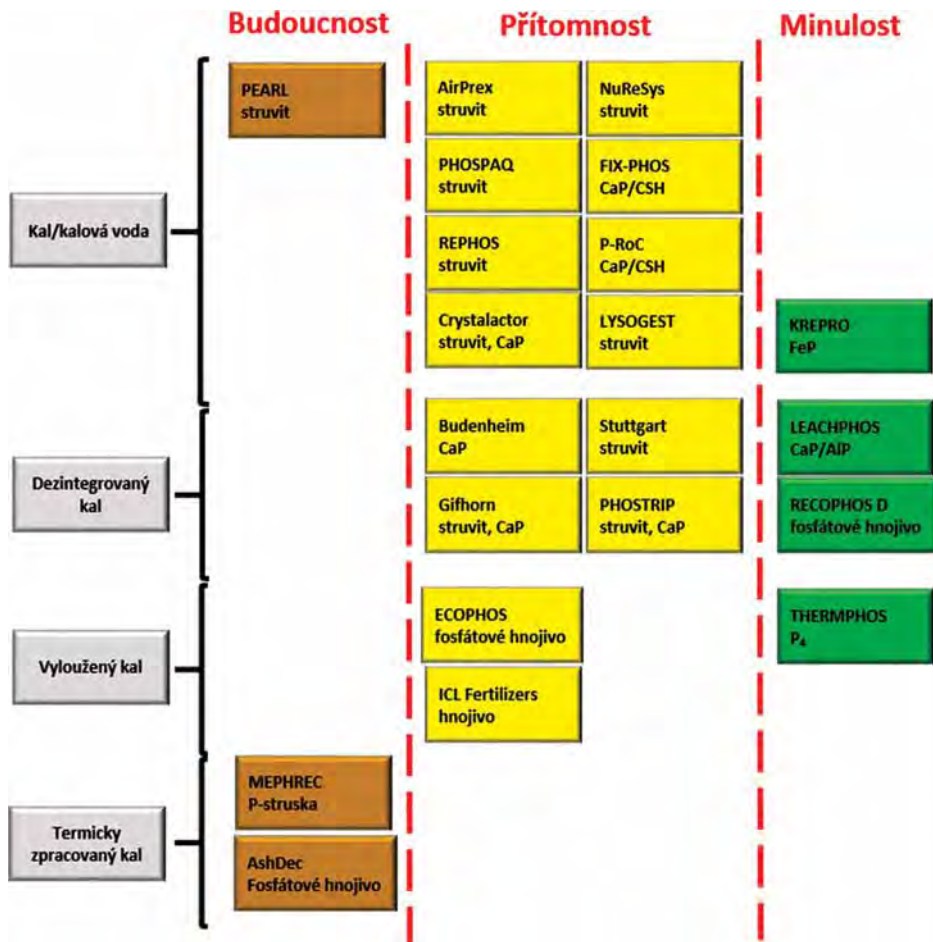
Z těchto technologií je jednoznačně nejvyužívanější recyklace fosforu jeho krystalizací ve formě struvitu ($\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), který je i zemědělci nejvíce vítán, protože struvit je pomalu se rozkládající hnojivo a fosfor je v něm biodostupný. Zdrojem fosforu je přitékající odpadní voda nebo kalová voda a do reaktoru jsou přidávány sloučeniny dusíku, fosforu nebo hořčíku (MgO nebo MgCl_2) pro dosažení stechiometrického poměru zpravidla 1 : 1,2 : 1 (N : Mg : P). Samozřejmě někteří výrobci používají i jiné stechiometrické poměry podle toho, kde se hnojivo předpokládá využít, příkladem může být produkt firmy Ostara pro hnojení golfových hřišť, kde je přidáno navíc 10 % MgO , protože zvýšená koncentrace hořčíku vede k zelenějšímu pažitě na hřištích, a tudíž k lepšímu estetickému vnímání a přijetí zákazníkem. Z technologického pohledu je krystalizace struvitu ovlivněna především teplotou, dobou zdržení, pH, koncentrací žádoucích i nežádoucích látek v roztoku a stechiometrickými poměry mezi nimi. Tyto procesy neovlivňují pouze tvorbu struvitu, ale také koprecipitaci obtížně rozpustitelných solí a/nebo hydroxidů některých kovů přítomných v odpadních vodách. Vedle toho krystalizaci ovlivňuje i řada hydraulických parametrů, jako je intenzita míchání, vnitřní geometrie krystalizátoru, prostorové rozmístění přídavných zařízení apod. Jedním z důležitých faktorů je i vhodná nukleace, která může být buďto homogenní, anebo heterogenní s využitím externích nukleačních jader, která mohou být ve formě hydroxylapatitu, expandovaných jílu, písku nebo např. skla [15].

Co se týká provozních aplikací, převážná většina je jich provozována firmou Ostara v USA a v Kanadě, v Evropě je prozatím jeden provoz firmy Ostara ve Velké Británii ve Sloughu a aplikace technologie AirPrex na berlínské čistírně ve Wassmansdorfu. V poloprovodním měřítku je asi nejznámější technologie Struvia, kterou provozuje Veolia.

Jiné procesy využívají jako zdroj fosforu kal, ať už zahuštěný, odvodněný nebo ve formě popílku. Velice progresivní se jevila a jako učebnicový příklad se používala technologie Thermphos, která spalovala kal v Nizozemí a recyklovala jej posléze jako hnojivo, nicméně firma před pár lety zkrachovala. Z termických procesů má provozní aplikaci technologie Ash-Dec v Königswusterhausenu v Německu. Technologie je založená na spálení kalu při cca 1 000–1 200 °C, zplynění těžkých kovů a jejich vyvázání ze směsí přídavkem chloridů. Technologie Mephrec má pouze poloprovodní aplikaci.

Technologie, které pracují se zahuštěným nebo odvodněným kalem, jej zpravidla rozkládají při nízkém anebo vysokém pH a posléze z něj selektivně získávají především fosforečnany, které se následně využijí pro tvorbu fosforečnanového hnojiva. Provozní aplikací se můžou v současné době pochlubit technologie Seaborne v německém Gifhornu, která na čistírně pro 50 000 EO produkuje vedle struvitu ještě další hnojivo, a to síran amonný, dále pak technologie Leachphos a Ecophos.

Problematické se jeví současné cesty „recyklace fosforu“ z odpadních vod, který je z nich vysrážen zpravidla za pomoci železitého nebo hlinitého koagulantu. Vzniklý chemický kal obsahující fosforečnan



Obr. 3. Technologie recyklace fosforu z odpadních vod

železitý (hlinitý) je součástí zahuštěného (odvodněného) přebytečného kalu, který se za určitých podmínek může zpětně recyklovat na zemědělskou půdu. Nicméně fosfor ve formě fosforečnanů vázaný na železitý nebo hlinitý iont je pro rostliny nebiodostupný a je diskutabilní, zda se tedy jedná o jeho recyklaci.

Aktuální stav v rámci Evropské unie

Pro Evropskou unii se stal potenciální nedostatek fosforu natolik akutní, že jej dala na listinu dvaceti kriticky nedostatkových materiálů. Hlavní hnací silou je to, že se jedná o nesubstituovatelný prvek, a že jsou jeho ložiska zakoncentrována pouze v několika zemích, které leží mimo EU.

V současné době proto vzniká celá řada podpůrných aktivit, které jsou markantní především v západní Evropě. Byla založena fosfátová platforma *European Sustainable Phosphorus Platform* (<http://phosphorusplatform.eu/>), která má již své odnože v Nizozemí a v Německu a v řádu několika týdnů nebo měsíců bude iniciována i v České republice. Cílem fosfátové platformy je zlepšit sdílení znalostí, přenos vědomostí a zvýšit networking v oblasti nakládání s fosforem.

S podobným cílem byla založena aktivita Global TraPs (<http://www.globaltraps.ch/>), která se nesoustřeďuje pouze na Evropu, ale snaží se dívat na fosfátovou politiku z globálního pohledu.

V rámci EIP (European Innovation Partnership) byla ustanovena akční skupina ARREAU (Accelerated Resource Recovery from Water Cycle) – <http://www.eip-water.eu/working-groups/arreau-accelerating-resource-recovery-water-cycle-ag108>, která si klade za cíl recyklaci surovin z odpadních vod a mimo jiné i fosforu.

Evropská unie dále dotuje formou svých grantových projektů celou řadu vědecko-výzkumných aktivit spojených s recyklací fosforu. Mezi nejvýznamnější projekty patří projekt P-REX (<http://p-rex.eu/>) s rozpočtem několika milionů eur, který si klade za cíl porovnat existující technologie recyklace fosforu a odstranit legislativní a sociální bariéry pro jejich úspěšný vstup na trh.

Nás může těšit, že ačkoliv ve východní Evropě je recyklace fosforu poněkud opomíjena a v lepším případě na druhé koleji, tak se momentálně aktivně účastníme všech výše zmíněných aktivit a v rámci

projektu NAZV, s jehož podporou vznikl i tento příspěvek, se snažíme vyvinout a v poloprovozním měřítku otestovat technologii na recyklaci fosforu z odpadních vod.

Závěry

Kvůli očekávanému nedostatku fosforu je nutné nastavit dlouhodobější koncepci, která by byla schopna postupně vyvinout technologie a zabezpečit recyklaci tohoto esenciálního nutrientu.

Byly identifikovány zdroje fosforu, jež by měly sloužit k co neefektivnější recyklaci. V současné době existuje zároveň poměrně široká škála technologických řešení, z nichž všechny mají své klady a zápory a žádná technologie nevyčnívá jako jednoznačně nejlepší řešení. Ve vyspělém světě se nicméně technologie soustřeďují na recyklaci fosforu ve formě struvitu a zpracování čistírenského kalu, zatímco pro rozvojové země se jeví jako nejvhodnější technologie založené na separaci moči nebo kejdy z chovů hospodářských zvířat.

Zatímco v národním měřítku je recyklace fosforu poměrně opomíjena, v evropském a potažmo i světovém měřítku se bije už několik let na poplach, kdy byla postupně založena celá řada platform, lobbistických hnutí a podpořeno množství projektů, které se problematikou aktivně zabývají.

Budoucnost nakládání s fosforem není omezena pouze na jedno prostředí (např. vodní nebo půdní prostředí), ale je komplikována složitými interakcemi mezi nimi a měla by být směřována k dvěma základním hlavním cílům: ochraně životního prostředí a zajištění potravin. Je před námi ještě dlouhá cesta, kde se ke slovu budou dostávat vědci, tvůrci legislativ, podnikatelé, různé komunity a vlády, pro které bude recyklace fosforu výzvou pro budoucí zajištění potravy lidstva se současnou ochranou životního prostředí.

Strategickou výhodou budou mít ty země a společnosti, které budou vyvíjet a využívat technologie recyklace fosforu. Vzhledem k tomu, že v současnosti jsou všechny dostupné technologie recyklace fosforu dražší než fosilní zdroje, očekává se, že nové technologie by mohly být levnější, případně logisticky a environmentálně šetrnější. Proto je výzkum nejen v EU v této oblasti podporován, včetně celospolečenské diskuse od otázek ekonomických, environmentálních přes etické až po hygienické. Podpořit tuto diskusi v České republice je účelem také tohoto příspěvku.

Poděkování: Publikace vznikla díky projektu QJ1320234: „Z odpadů surovinami“, který je financován za podpory NAZV.

Literatura

- [1] European Commission, (2014): *Report on critical materials for the EU (2014)* [online]. [cit 2014-03-03]. http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/crm-report-on-critical-raw-materials_en.pdf.
- [2] U.S.Geological Survey, (2014): *Mineral Commodity summaries* [online]. [cit 2014-03-03]. http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/mcs-2014-phosp.pdf.
- [3] Kauwenbergh, J., Stewart, M., Mikkelsen R. (2013): World reserves of Phosphate Rock ... a Dynamic and Unfolding Story, *Better Crop*, **97**: 18–20.
- [4] van Dijk, K. (2013): Scenario analyses of phosphorus use in the EU-27 food system, *2nd Scientific European Phosphorus Workshop - "Sustainable P use in the EU"*, Wageningen.
- [5] Jasinski, B.S.M. (2013): *Mineral Yearbook*, U.S. Geological Survey.
- [6] Cordell, D.; Schmidt-Neset, T.; White, S.; Drangert, J. O. (2009): Preferred future phosphorus scenarios: A framework for meeting long-term phosphorus needs for global food demand. *International Conference on Nutrient Recovery*, Vancouver, 23–43.
- [7] Cordell, D.; Drangert, J.-O.; White, S. (2009): The Story of Phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change*, **19**, 292–305.
- [8] Valsami-Jones, E. (2004): *Phosphorus in Environmental Technologies: Principles and Applications*, IWA Publishing, ISBN: 1-84339-001-9.
- [9] Koppelaar, R. H. E. M.; Weikard, H. P. (2013): Assessing phosphate rock depletion and phosphorus recycling options, *Global Environmental Change*, **23**(6), 1454–1466.
- [10] Alexandratos, N.; Bruinsma, J. (2012): *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision*. ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO.
- [11] WHO (2006): *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater* Volume 2: Wastewater use in agriculture.
- [12] Lens, P.; Zeeman, G.; Lettinga, G. (2001): *Decentralized Sanitation and Reuse: Concepts, systems and implementation*, IWA Publishing, ISBN: 1-900222-47-7.
- [13] Holba, M.; Došek, M.; Škorvan, O.; Matysíková, J.; Plotěný, K.; Maršálek, B. (2013): Recyklace fosforu – potřeba nebo nutnost?, in *Voda 2013, Sborník přednášek*

a posterových sdělení. Brno: Tribun EU, 2013 – (Růžičková, I.; Fuka, T.; Wanner, J.), 335-338, ISBN 978-80-263-0506-4.

- [14] Holba, M.; Došek, M.; Škorvan, O.; Maršálek, B. (2015): Review on phosphorus recovery and recycling prospects in wastewater and water environment, *Clean Soil Air and Water*, accepted manuscript.
- [15] Doyle, J.D., Parsons, S.A. (2002): Struvite formation, control and recovery. *Water Research*, **36**, 3925–3940.

Ing. Marek Holba, Ph.D. ¹⁾

Ing. Michal Došek ^{1,2)}

prof. Ing. Blahoslav Maršálek, CSc. ³⁾

¹⁾ ASIO, spol. s r.o.

Kšírova 552/45

619 00 Brno

holba@asio.cz

²⁾ Mendelova Univerzita v Brně

Ústav techniky a automobilové dopravy

Zemědělská 1

613 00 Brno

³⁾ Oddělení experimentální fykologie a ekotoxikologie

Botanický ústav Akademie věd České republiky, v.v.i.

Lidická 25/27

657 20 Brno

Phosphorus in wastewater – recycling prospects (Holba, M.; Dosek, M.; Marsalek, B.)

Abstract

Currently, a worldwide shortage of phosphorus is observed. Therefore, the European Union has placed phosphorus on the list of twenty materials that are critical in the near future. Phosphate ore is used as the main source of phosphorus and is used mainly in agriculture as a fertilizer. Europe imports more than 90% of its phosphorus, and from this point of view, it is necessary to focus on recycling scenarios. Wastewater is one of the raw materials that are interesting for recycling. There are numerous applications of recycling of phosphorus in laboratories as well as in plants on a trial basis, and several successful full-scale applications are emerging. Phosphorus recycling from wastewater could approximately triple the recent production of phosphate fertilizers in Europe.

Key words

phosphorus recycling – wastewater – fertilizer – technology

Tento článek byl recenzován a je otevřen k diskusi do 30. června 2015. Rozsah diskusního příspěvku je omezen na 2 normostrany A4, a to včetně tabulek a obrázků.

Příspěvky posílejte na e-mail stransky@vodnihospodarstvi.cz.

Odstraňovanie dusíka z odpadových vôd pomocou externých substrátov na ČOV v Duslo a.s.

Viktor Molnár, Peter Németh, Alena Andrášiová, Mikuláš Buday

Abstrakt

V roku 2013 bola úspešne ukončená skúšobná prevádzka rekonštruovanej ČOV, kde jedným z hlavných cieľov bolo vyhodnotenie intenzifikovaných procesov odstraňovania dusíka. Zvýšená pozornosť bola venovaná denitrifikačným procesom, pri ktorých je kvôli nedostatku vhodného organického uhlíka nutné dávkovať ho aj vo forme externého substrátu. Zamerali sme sa na možnosť využitia substrátov, ktoré sú z odbornej praxe známe ako alternatívne zdroje organického uhlíka na denitrifikáciu ako g-fáza, resp. surový glycerín z výroby MERO, komerčný produkt firmy Brenntag Slovakia – Brenntaplus a metanol s prímiesami. Každý z uvedených alternatívnych substrátov bol laboratórne testovaný vo VUCHT a.s. Bratislava a v laboratóriu ČOV Duslo a.s. Po adaptácii kalu sa vyhodnotila vhodnosť jednotlivých substrátov.

Kľúčové slová

denitrifikácia – externý substrát – metanol – g-fáza – priemyselné odpadové vody

Úvod

Čistiareň odpadových vôd Duslo a.s. Šaľa je koncipovaná ako dvojstupňová aktivácia. Prvý stupeň čistenia je rozdelený na aktiváciu organických a anorganických odpadových vôd. Takto vyčistené odpadové vody sa následne zmiešajú a sú dočistené spoločne v druhom stupni aktivácie.

Okrem odstraňovania organického znečistenia sa venuje čoraz väčšia pozornosť odstraňovaniu anorganických zlúčenín dusíka. V aktívnom procese sa oxidované formy dusíka odstraňujú biologickou denitrifikáciou. Organický uhlík vhodný na tieto procesy je prítomný len v aktivácii organických odpadových vôd. Do zvyšných dvoch stupňov, t.j. do anorganických vôd a do druhého stupňa aktivácie, je potrebné dávkovať externý substrát. Najčastejšie používaným denitrifikačným činidlom je metanol. Jeho použitie má popri výhodách aj svoje nevýhody ako sú toxicita, horľavosť a výbušnosť pár. Pre tento účel bolo v rámci rekonštrukcie vybudované metanolové hospodárstvo obsahujúce 3 nádrže o objeme 45 m³, príslušnú dávkovaciu stanicu a rozvodné potrubia do všetkých denitrifikačných sekcií. Takisto boli vybudované dve skladovacie nádrže o objeme 170 m³ pre dusíkaté, resp. bezdusíkaté externé substráty slúžiace pre uskladnenie koncentrovaných organických látok. Pre substráty obsahujúce dusík je možnosť dávkovania len do prvého stupňa aktivácie, pričom pre bezdusíkaté substráty je možnosť dávkovania do všetkých denitrifikačných sekcií. Z výroby bionafty boli skúšané rôzne vedľajšie produkty (pracná voda a pod.), ktoré však obsahujú vyššiu reziduálnu CHSK, a tak boli dávkované len do prvého stupňa aktivácie organických odpadových vôd. Od 1. 2. 2013 do 11. 5. 2014 bol metanol dávkovaný do prvého stupňa aktivácie anorganických vôd a do druhého stupňa aktivácie zmesných odpadových vôd. Vyslovene riadené dávkovanie metanolu prebieha v druhom stupni. Špecifická spotreba metanolu bola vyhodnocovaná pre každý deň. Priemerná hodnota za uvedené obdobie je 3,89 g CHSK · g⁻¹ dusíka. Pri rôznych zaťaženiach II. stupňa aktivácie dusíkom nebol pozorovaný trend zmeny špecifickej spotreby (obr. 1).

Na základe merania koncentrácie oxidovaných foriem dusíka v reálnom čase v troch rôznych komorách aktivácie je metanol proporciálne dávkovaný a na výstupe sa udržuje požadovaná koncentrácia oxidovaných foriem dusíka (obr. 2).

Po viac ako ročnej pozitívnej skúsenosti s metanolom sme pristúpili k hľadaniu vhodných alternatívnych zdrojov organického uhlíka na denitrifikačné procesy. Z komerčne bežne používaných substrátov boli dostupné produkty na báze glycerínu, tzv. g-fáza, ktorými sa

zaoberali viaceré štúdie [1, 2], čistý glycerín a Brenntaplus. Okrem už spomenutého obsahu vhodného organického uhlíka je ich veľkou výhodou aj vysoká koncentrácia.

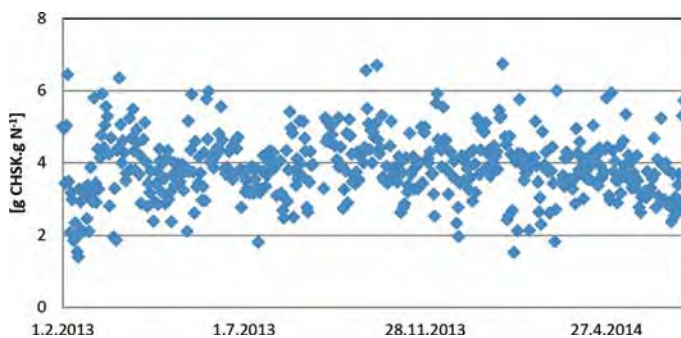
G-fáza vzniká ako vedľajší produkt pri výrobe metylesteru repkového oleja. Z väčšej časti obsahuje glycerín, metanol, tuky a menšie množstvo vody. Dočisťovaním glycerínovej fázy vzniká relatívne čistý glycerín. Boli vytypované spoločnosti, ktoré sa zaoberajú spracovaním repky olejnej a výrobou bionafty:

- Meroco a.s., Leopoldov (Slovensko)
- Rossi Biofuel, Komárom (Maďarsko)
- Vukovar Biodizel, Vukovar (Chorvátsko)
- PREOL a.s., Lovosice (Česká republika)

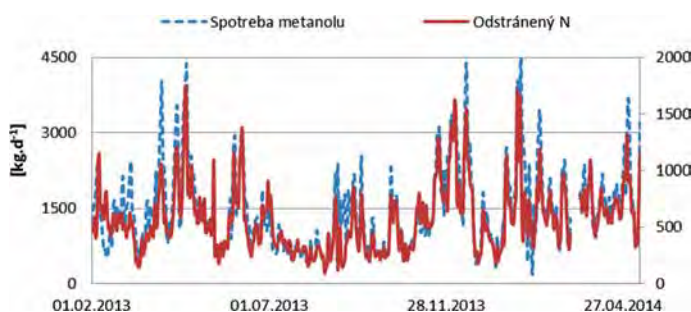
Z prvých troch menovaných boli dodané vzorky produktu na testovanie. Ďalšou možnosťou je komerčný produkt spoločnosti Brenntag Slovakia Brenntaplus VP1. Je to výživná zmes alkoholov, cukrov, proteínov, nutrientov, pričom je úplne biologicky rozložiteľný.

Laboratórny test dostupných denitrifikačných substrátov

Experimentálna časť prebiehala v laboratóriách VUCHT a.s. [3, 4] a v laboratóriu ČOV Duslo a.s., ktoré sídli v areáli akciovej spoločnosti Duslo. Výsledky boli získané diskontinuálnym denitrifikačným testom za použitia aktivovaného kalu z II.° aktivácie biologickej ČOV a odpadovej vody vstupujúcej do II.° aktivácie po adaptácii. Okrem parametra špecifická spotreba denitrifikačného činidla (ŠSDN; udáva sa v jednotkách g CHSK/g odstráneného N) bola vyhodnotená aj špecifická denitrifikačná rýchlosť (ŠDR; udáva sa v jednotkách mg odstráneného N/g aktivovaného kalu za hodinu) – viz tab. 1 a obr. 3.



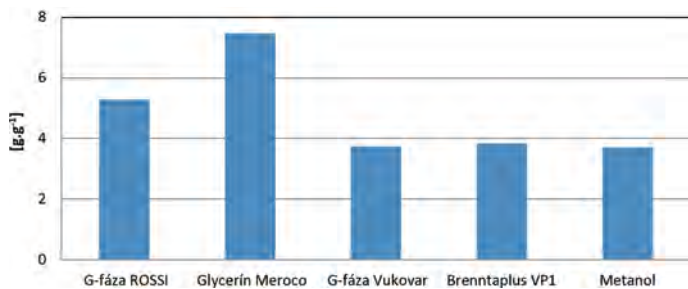
Obr. 1. Špecifická spotreba metanolu pre druhý stupeň aktivácie



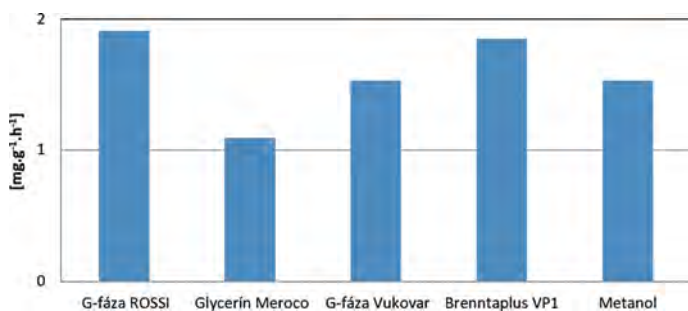
Obr. 2. Závislosť spotreby metanolu od odstráneného dusíka pre druhý stupeň aktivácie

Tab. 1. Sumárny prehľad výsledkov testovania alternatívnych substrátov v porovnaní s metanolom

Názov	ŠSDN [g · g ⁻¹]	ŠDR [mg · g ⁻¹ · h ⁻¹]	Špec. CHSK [g · g ⁻¹]	Množstvo substrátu [g] na odstránenie 1g N
G-fáza ROSSI	5,28	1,91	1,09	4,84
Glycerín Meroco	7,47	1,09	0,88	8,49
G-fáza Vukovar	3,74	1,53	1,19	3,14
Brenntaplus VP1	3,84	1,85	0,79	4,86
Metanol	3,71	1,53	1,42	2,61



Obr. 3. Prehľad jednotlivých špecifických spotrieb denitrifikačných činidiel



Obr. 4. Prehľad špecifických denitrifikačných rýchlostí denitrifikačných činidiel

Špecifické denitrifikačné rýchlosti sú pomerne dôležitý ukazovateľ z hľadiska prevádzky. Výsledky testov ukázali, že pre substrát g-fáza Vukovar boli namerané rovnaké rýchlosti ako v prípade metanolu, a to 1,53 mg.g⁻¹.h⁻¹. Vyššie rýchlosti boli namerané pre Brenntaplus VP1 1,85 mg.g⁻¹.h⁻¹ a g-fáza ROSSI 1,91 mg.g⁻¹.h⁻¹ (obr. 4). Koľko denitrifikačného činidla je potrebné na odstránenie jednotkového množstva dusíka, je z komerčného hľadiska veľmi dôležitý údaj (obr. 5).

Z pohľadu špecifickej spotreby denitrifikačného činidla boli porovnateľné výsledky pri substrátoch g-fáza Vukovar, Brenntaplus VP1 a metanol. Najvyššia špecifická spotreba 7,47 g.g⁻¹ bola stanovená pre glycerín zo spoločnosti Meroco, najnižšia 3,71 g.g⁻¹ bola stanovená pre metanol.

Ďalšie hodnotenie je pomerne relatívne, keďže sa týka cenových relácií jednotlivých denitrifikačných činidiel. Treba však prihliadnúť aj na ďalšie aspekty, a to dostupnosť, podmienky prepravy, možnosť skladovania, dávkovania, fyzikálne, resp. fyzikálno-chemické vlastnosti pri rôznych teplotách a v neposlednom rade aj na tvorbu prebytočného kalu. Práve tvorba prebytočného kalu je pri metanole ako substráte s jedným uhlíkovým atómom najmenšia, pričom pri ostatných substrátoch je vyššia.

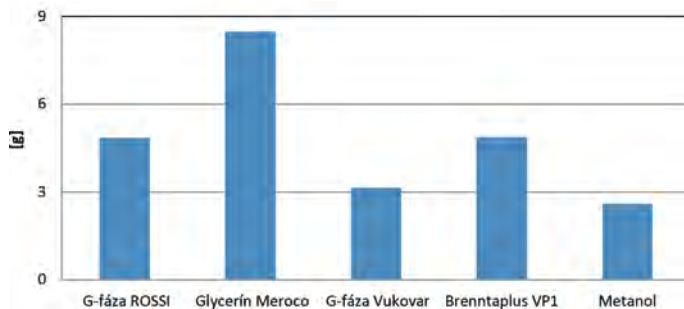
Vybudované metanolové hospodárstvo na ČOV Duslo a.s. má výhodu eliminovania negatívnych vlastností metanolu a možnosť presného dávkovania. Keďže g-fáza je klasifikovaná ako výbušná, nastáva problém s jej skladovaním v štandardných priestoroch, aké pre externé substráty na ČOV sú k dispozícii.

Využitie metanolu nižšej kvality ako denitrifikačného substrátu

V súčasnosti je v skúšobnej prevádzke metanol nižšej kvality (metanol NK), ktorý sa svojimi parametrami zdá ako najlepší a najvýhodnejší. Okrem metanolu sú v zmesi ďalšie minoritné komponenty na báze jednoduchých aromatických uhľovodíkov, esterov, ketónov atď. (tab. 2).

Prevádzkovému odskúšaní predchádzali denitrifikačné testy a testy biologickej rozložiteľnosti vykonané v laboratóriu ČOV Duslo a.s. Metanol nižšej kvality vykazoval úplnú biologickú rozložiteľnosť.

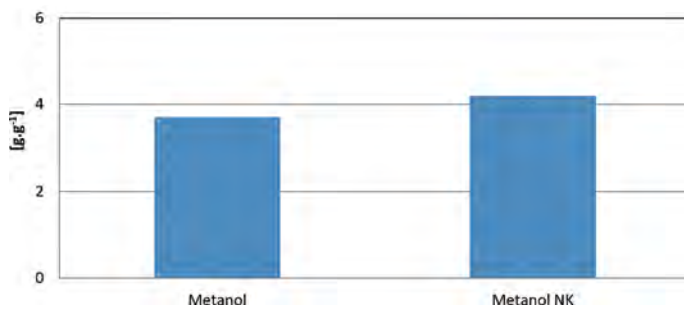
Špecifická spotreba denitrifikačného činidla bola v prípade metanolu nižšej kvality na úrovni 4,20 g.g⁻¹, pričom metanolu 3,71 g.g⁻¹. Vzhľadom na skutočnosť, že jeho ďalšie prímiesy nemajú negatívny vplyv na skladovacie priestory, dávkovaciu stanicu a rozvodné potrubie, sa mohlo používať stávajúce zariadenie na skladovanie a presné



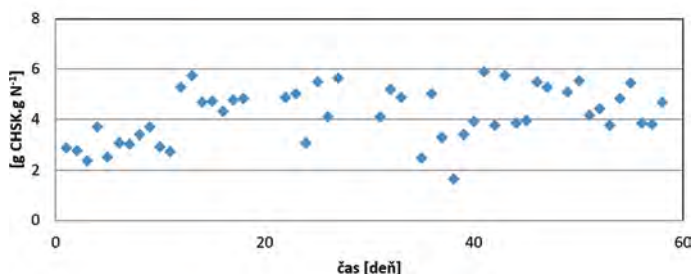
Obr. 5. Množstvo substrátu potrebného na odstránenie jednotkového množstva dusíka

Tab. 2. Prehľad výsledkov testu metanolu a metanolu nižšej kvality

Názov	ŠSDN [g.g ⁻¹]	Špec. CHSK [g.g ⁻¹]	Množstvo substrátu [g] na odstránenie 1g N
Metanol	3,71	1,42	2,61
Metanol NK	4,20	1,36	3,08



Obr. 6. Porovnanie špecifických spotrieb denitrifikačných činidiel metanolu a metanolu nižšej kvality



Obr. 7. Špecifická spotreba metanolu nižšej kvality na denitrifikáciu v druhom stupni aktivácie zmesných odpadových vôd

dávkovanie. Dňa 18. 6. 2014 sme pristúpili k prevádzkovému pokusu. Za zhruba dvojmesačné skúšobné obdobie sa potvrdilo, že metanol nižšej kvality je veľmi vhodnou alternatívou k čistému metanolu. Neboli zaznamenané žiadne negatívne vplyvy na kal, či reziduálna CHSK (obr. 6 a 7).

Priemerná špecifická spotreba sa pohybovala na úrovni 4,18 g.g⁻¹, čo zhruba zodpovedá výsledkom laboratórnych testov. Presnejšie technické údaje sú diskretného charakteru, nakoľko podliehajú dohode medzi Duslo a.s. a dodávateľskou spoločnosťou.

Záver

Testovaním denitrifikačných činidiel boli odskúšané dostupné substráty ako náhrada metanolu. Výsledky testov ukázali, že na trhu sú vhodné alternatívy. Treba však brať do úvahy aj ďalšie aspekty ako sú možnosti skladovania, presného dávkovania, fyzikálno-chemické vlastnosti pre zimné obdobie ako aj tvorba prebytočného kalu. Z alternatívnych látok vyšiel najlepšie metanol nižšej kvality, ktorý je v súčasnosti v prevádzkovom odskúšaní a vytvára reálny predpoklad pre trvalé nahradenie čistého metanolu.

Podakovanie: Autori tohto príspevku ďakujú vedeniu Duslo a.s. Šala za financovanie výskumu v predmetnej oblasti a za udelenie súhlasu na zverejnenie dosiahnutých výsledkov.

Literatúra

- [1] Malý J., Malá J., Široký P. (2007): Použití odpadní vody z výroby bionafty pro denitrifikaci v procesu odstraňování dusíku v kalové vodě na poloprovozním SBR, Zborník konferencie „Řešení extrémních požadavků na čištění odpadních vod“, AČE-ČR, str. 27 – 36, Boskovice, (február 2007).
- [2] Bodík I., Hutňan, M., Blšťáková, A., Sedláček, S. (2008): Biodiesel waste as source of organic carbon for municipal WWTP denitrification.
- [3] Buday M., Andrášiová A., Pulenová A.: Odkúšanie denitrifikačného činidla Brenntaplus VP1 LV, Technický záznam VUCHT č. 45/2013, (jún 2013).
- [4] Andrášiová A., Buday M., Pulenová A.: Odkúšanie denitrifikačných činidiel, Technický záznam VUCHT č. 46/2013, (jún 2013).

Ing. Viktor Molnár¹⁾ (autor pro korespondenci)
Ing. Peter Németh, Ph.D.¹⁾
Ing. Alena Andrášiová²⁾
Ing. Mikuláš Buday, CSc.²⁾

¹⁾Duslo a.s.
Administratívna budova ev. č. 1236
927 03 Šala
viktor.molnar@duslo.sk

²⁾VUCHT a.s.
Nobelova 34, 836 03 Bratislava

Nitrogen removal from waste water by using external denitrification substrates at the Duslo a.s. WWTP (Molnar, V.; Nemeth, P.; Andrasiova, A.; Buday, M)

In 2013, the trial operation of the reconstructed WWTP was successfully completed. One of the main objectives was to evaluate the intensified process of removing nitrogen. Increased attention has been given to denitrification processes in which, for lack of suitable organic carbon, dosages in from of external substrates must be added. We focused on the possibility of using substrates that are professionally known as alternative sources of organic carbon for denitrification, for example, g-phase; crude glycerol from MERO productions; Brenntaplus, a commercial product from Brenntag Slovakia; and methanol with impurities. Each of these alternative substrates was tested in the laboratories of VUCHT Bratislava and the Duslo WWTP. After adaptation of the sludge, the suitability of various substrates was evaluated.

Key words

denitrification – external substrate – methanol – g-phase – industrial waste water

Tento článok bol recenzovaný a je otvorený k diskusi do 30. června 2015. Rozsah diskusného príspevku je omezený na 2 normostrany A4, a to včetně tabuliek a obrázků. Príspevky pošlite na e-mail stransky@vodnihospodarstvi.cz.

Posouzení vlivu proudění na jakost vody v nádrži Fláje

Petr Jiřinec, Pavel Tachecí

Abstrakt

Studie proudění a transportu znečištění v nádrži Fláje byla zpracována s využitím 3D matematického modelu MIKE 3. Cílem studie bylo ověřit, zda zvýšený vnos huminových látek během povodňových epizod bezprostředně ovlivňuje koncentrace v místě odběrného objektu pro úpravu vody v Meziboří.

Při simulacích charakteristik proudění byl aplikován turbulentní model založený na Smagorinského rovnici. Šíření huminových látek v nádrži bylo simulováno pomocí advektivně-disperzního popisu (konzervativní šíření látek) ve čtvercové výpočetní síti. Model byl úspěšně kalibrován a poté validován vůči měřeným teplotám vody a rychlostem proudění změřeným během tří kampaní v srpnu a říjnu 2008. Pro variantní simulace byla vybrána extrémní letní epizoda v srpnu 2002 a epizoda tání v březnu 2000. Jako okrajové podmínky byly z dostupných dat odvozeny průtoky, teplota vody a koncentrace $CHSK_{Mn}$ na čtyřech hlavních přítocích, odtoku a odběru z nádrže. Z výsledků je zřejmé, že přestože za povodňových podmínek vzniká v zátce Rašeliníku tranzitní proud, neovlivňuje přímo koncentrace v oblasti odběrného objektu. Uvažované umístění sypaných hrázek by skutečně vedlo k odklonění proudu, ale dopad na změny koncentrací by byl nevýznamný. Z analýzy dále vyplývá, že k pozvolnému zvýšení koncentrací v místě vtokového objektu dochází až s odstupem několika dnů po povodňové epizodě.

Klíčová slova

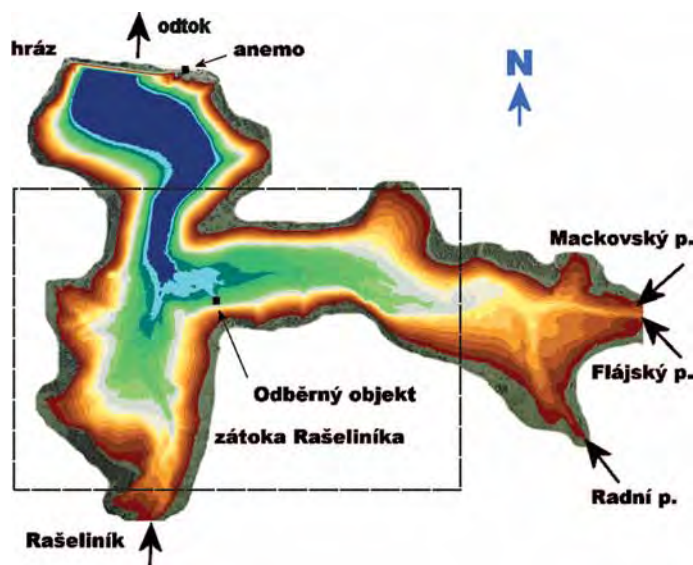
3D modelování proudění – proudění v nádržích – transport látek v nádržích

1. Úvod

Nádrž Fláje leží na severní straně Krušných hor v nadmořské výšce přes 700 m n. m. Celkový ovladatelný objem nádrže činí 21,6 mil. m³.

Jejím hlavním účelem je akumulace vody pro zásobení severočeské oblasti pitnou vodou a zajištění minimálního průtoku ve Flájském potoce pod nádrží. Nádrž přísluší povodí o velikosti 43,1 km² a jejími hlavními přítoky jsou Flájský potok, Radní potok, Rašeliník a Mackovský potok.

Jakost odebírané surové vody z nádrže Fláje nebyla optimální pro vodárenské využití z hlediska dlouhodobých trendů i kolísání měřených hodnot $CHSK_{Mn}$. Příčinou je vnos huminových látek a organického znečištění do nádrže z přítoků, protékajících rašeliníšti. Během povodňových epizod koncentrace $CHSK_{Mn}$ v přítoku Rašeliníku dosahují až 40 mg/l. K řešení tohoto problému byla provedena řada studií a navržena některá opatření. Cílem tohoto příspěvku je analyzovat proudění vody v nádrži a za pomoci prostředků matematického modelování posoudit, zda navržené sypané hrázky v nádrži skutečně způsobí odklonění proudu od odběrného objektu a snížení koncentrací v místě odběrného okna.



Obr. 1. Schéma nádrže Fláje, poloha přítoků a objektů. Obdélníkem vyznačen výřez použitý pro prezentaci výsledků na obr. 10 až 13. Barevná škála značí nadmořskou výšku dna nádrže

Tab. 1. Plochy povodí jednotlivých přítoků nádrže Fláje

přítok	plocha km ²	podíl (%)
Flájský potok	13,6	35
Radní potok	9,1	23
Mackovský potok	6,2	16
Rašeliník	7,0	18
Drobné přítoky severně (u Mackovského p.)	1,6	4
Drobné přítoky západně (u Rašeliníku)	1,6	4

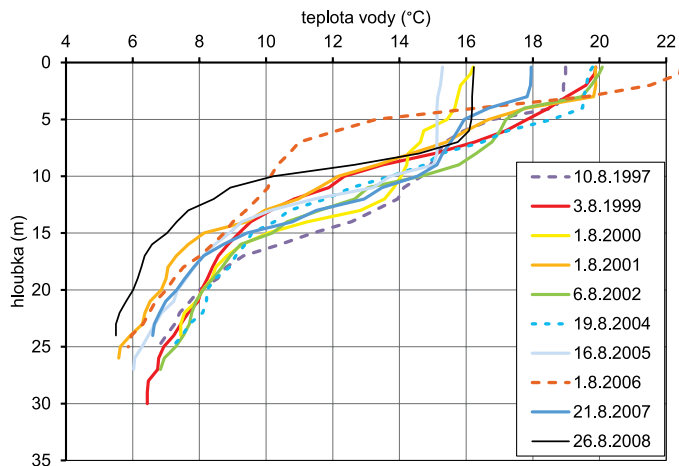
K tomuto účelu byl vytvořen 3D numerický model nádrže pomocí softwarového prostředku MIKE 3. Model zahrnuje hlavní přítoky, odběr a odtok z nádrže (schematizované jako bodové dynamické okrajové podmínky), objem vody ve vlastní nádrži (schematizovaný pomocí výpočetních buněk pravidelného tvaru) a další okrajové podmínky (nepropustné dno; vliv větru a změn teplot vzduchu na hladinu). Numerické řešení pohybových rovnic ve třech směrech je založeno na schématu konečných diferencí s využitím turbulentního modelu založeného na Smagorinského rovnici. Pro simulaci transportu látek byl přijat zjednodušující předpoklad konzervativního šíření. Parametry modelu byly stanoveny na základě kalibrace s využitím datové sady dvou měřicích kampaní (2008). Simulované hodnoty vnitřních stavových veličin v nádrži (rychlosti proudění a teploty vody v různých hloubkách) byly ověřeny vůči měřeným hodnotám získaným také během těchto kampaní. Model byl poté využit pro řešení vlastní úlohy – pro analýzu proudění a dynamiky koncentrací látek v nádrži během vybraných povodňových epizod (3/2000 a 8/2002). Pro tyto epizody byly na základě dostupných dat vytvořeny vstupní řady průtoků a koncentrací a okrajové a počáteční podmínky. Do modelu byly dále zavedeny různé varianty opatření (ponořené hrázky) a na základě simulací bylo provedeno porovnání dynamiky koncentrací simulovaných modelem v místě odběrného objektu.

2. Datové podklady

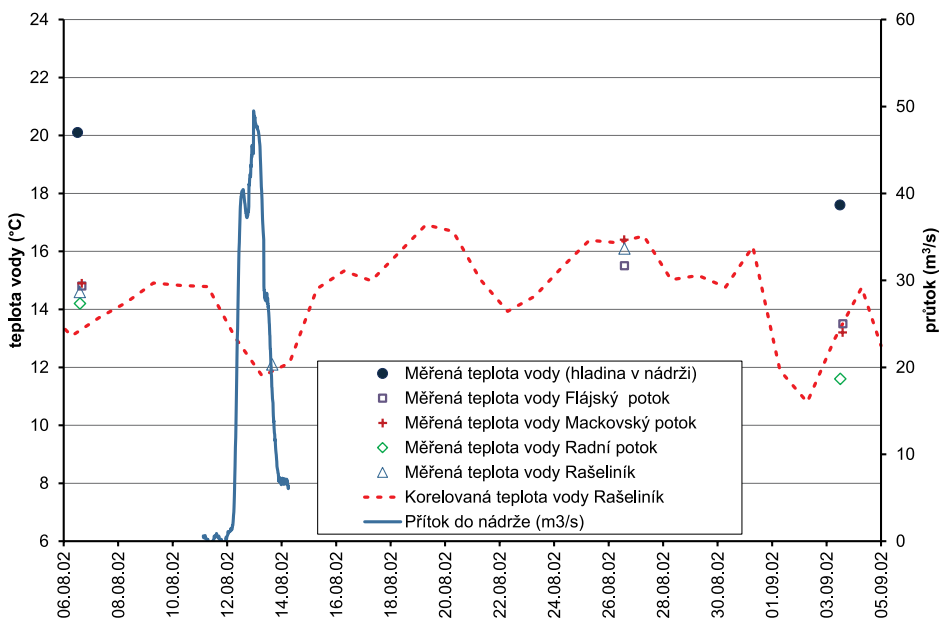
Při řešení byla zpracována řada datových podkladů, získaných ze zdrojů podniku Povodí Ohře, s. p., [1, 2] ČHMÚ, SČVK a ČEZ. Vlastní terénní měření na nádrži Fláje byla prováděna pracovníky DHI a.s. za spolupráce ÚVU TGM, v.v.i., a ČVUT FSv KHH [3]. Vyhodnoceny byly klimatické veličiny (rychlosti a směry větru, srážky, teploty a vlhkost vzduchu), hydrologická data (průtoky, teploty vody), koncentrace látek (v nádrži, v přítocích a na vstupu do úpravně), stavové veličiny v nádrži (rychlosti proudění vody, teploty vody). Dále byly zpracovány mapové podklady pomocí GIS prostředků a z detailního zaměření dna nádrže [5] byla vytvořena podrobná topologie dna nádrže.

Pro pohyb vody v nádrži Fláje jsou zásadní především tři veličiny: velikost průtoků v jednotlivých přítocích, rychlost a směr větru a okamžitá teplotní stratifikace vody v nádrži. Průměrný denní přítok do nádrže je dispečinkem Povodí Ohře, s. p., vyhodnocován jako celkový přítok pomocí bilance (z měřeného odtoku, odběru a změn objemu vody v nádrži na základě změn polohy hladiny). Rozdělení celkového přítoku pro účely modelování bylo provedeno podle plochy povodí jednotlivých přítoků (tab. 1).

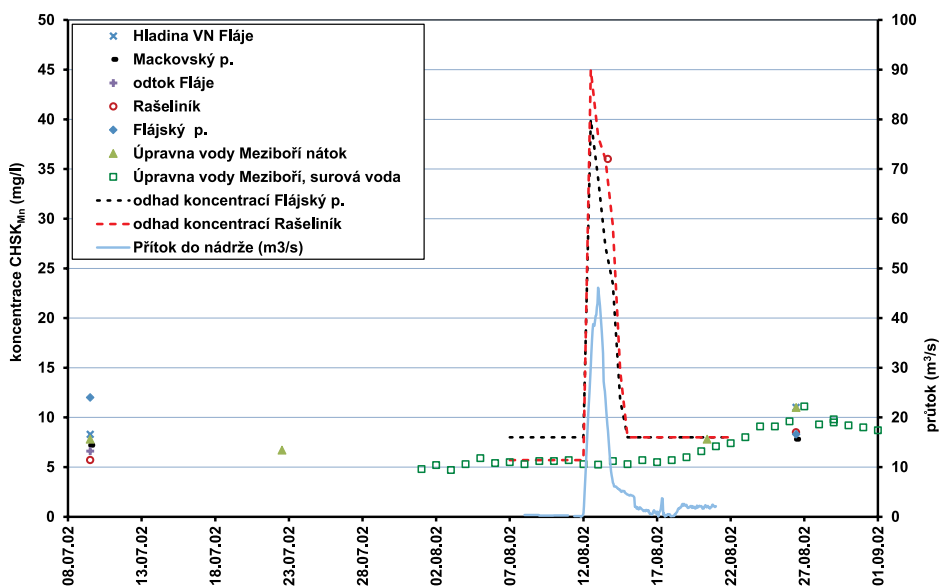
K ověření bylo provedeno vlastní měření výšky hladiny vody (ultrazvuková sestava Fiedler, desetiminutové průměry) v profilu propustky na potoce Rašeliník, kombinované se čtyřikrát provedeným hydrometrováním ve stejném místě. Z porovnání průměrných



Obr. 2. Teplota vody v nádrži u odběrného objektu v srpnu 1997 až 2008 (data Povodí Ohře, s. p.)



Obr. 3. Odhad teploty vody v přítoku Rašeliník a v nádrži, epizoda 8/2002



Obr. 4. Odhad koncentrací CHSK_{Mn} a celkového přítoku do nádrže během epizody 8/2002. Body: měřené hodnoty. Čárkovaná a tečkovaná čára: odhad průběhu koncentrací na přítocích do nádrže během epizody

denních průtoků (vypočtených z bilance a přečtených z měření v propustku) se potvrdilo, že časové řady průtoků vypočtené z bilance a rozdělené na základě plochy povodí lze využít pro modelování. Během letní sezony 2008 bylo prováděno také vlastní měření rychlostí a směru větru na hrázi nádrže. Pomocí korelační analýzy se stanicí ČHMÚ Nová Ves byly určeny koeficienty pro přepočet odhadu rychlostí a směru větru nad hladinou nádrže z údajů této stanice.

2.1 Data pro povodňové epizody

Z manipulačního řádu přehradní nádrže Fláje byly zjištěny N-leté průtoky platné v profilu nádrže a využity pro vyhodnocení významnosti srážko-odtokových epizod. Pro simulaci modelem byla vybrána letní povodeň 8/2002 (extrémní, asi 100letý průtok) a jarní povodeň z tání 3/2000 (20 až 50letý průtok). Pro obě vybrané epizody byly stanoveny odhady rychlostí a směru větru nad hladinou nádrže pomocí dat ze stanice ČHMÚ Nová Ves.

Dále byly zpracovány teploty vody měřené podnikem Povodí Ohře, s. p. (asi jednou měsíčně) na přítocích a také v nádrži poblíž odběrného objektu (obr. 2).

Na základě analýzy těchto dat byl proveden odhad vertikálních profilů teploty vody pro vybrané epizody. Na základě korelačních vztahů k teplotě vzduchu byly dále aproximovány průměrné denní teploty vody na přítocích (obr. 3).

Dále byla provedena analýza koncentrací vybraných látek v nádrži, které by mohly sloužit jako charakteristiky pro modelování transportu huminových látek v nádrži. Byly porovnány časové řady okamžitých měřených koncentrací (na přítocích, vlastní nádrži i na odtocích) celkového organického uhlíku (TOC) v mg/l, chemické spotřeby kyslíku manganistanem ($CHSK_{Mn}$) v mg/l a absorbance 254 v nm (A_{254}). Ve všech třech ukazatelích byly zjištěny nejvyšší hodnoty průměrných dlouhodobých koncentrací na potoce Rašeliník. Např. koncentrace $CHSK_{Mn}$ dosahují v Rašeliníku 11 mg/l, na hladině nádrže a v ostatních přítocích 5 až 9 mg/l a u vstupu na ÚV Meziboří asi 6,7 mg/l. Dále je zřejmé, že během významných srážko-odtokových událostí se koncentrace $CHSK_{Mn}$ zvyšují, viz obr. 4.

Na základě provedených analýz datových podkladů lze konstatovat, že koncentrace $CHSK_{Mn}$ na vstupu do ÚV Meziboří se při velkých srážko-odtokových epizodách (či tání) zvýší obvykle o 2 až 3 mg/l po 8 až 12 dnech. Pokles koncentrací na původní hodnoty trvá týdny. Objemový podíl toku huminových látek z Rašeliníku do nádrže Fláje během studovaných epizod 8/2002 a 3/2000 lze na základě jednoduché bilance průtoků a koncentrací $CHSK_{Mn}$ odhadnout asi na 30 % z celkového vnosu do nádrže.

Pro simulace dynamiky koncentrací látek v nádrži modelem byla vybrána $CHSK_{Mn}$ (nejvyšší počet měřených hodnot v datovém souboru) a vytvořena časová řada koncentrací $CHSK_{Mn}$ na přítocích (chybějící údaje byly doplněny pomocí korelace).

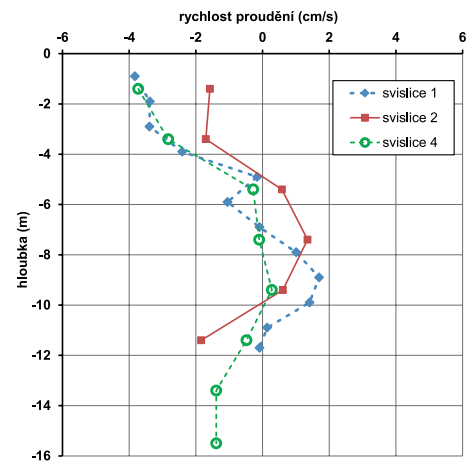
2.2 Data pro kalibraci a validaci modelu

V období srpna až září 2008 proběhly celkem tři měřicí kampaně, při nichž byla prováděna společným týmem DHI a.s., VÚV TGM, v.v.i., a FSv ČVUT KHH tato měření:

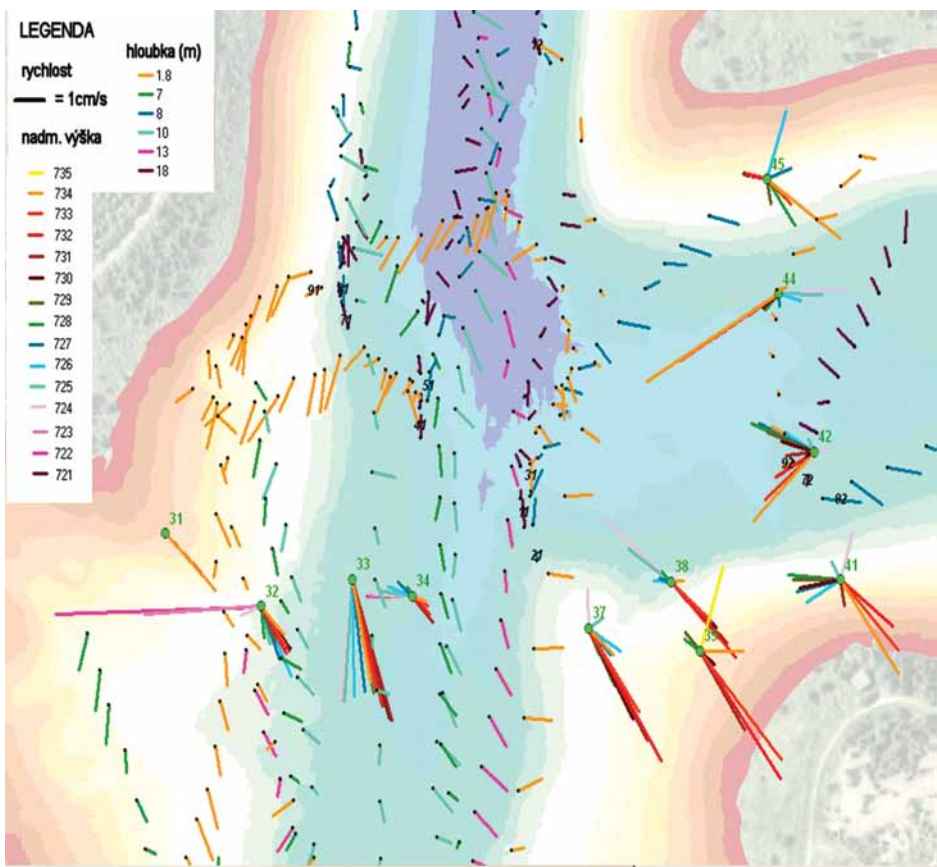
- měření rychlostí větru u hladiny (z lodě) v různých místech nádrže;
- měření teploty vody ve vertikálních profilech v různých místech nádrže;



Obr. 5. Plovák s osazenou GPS stanicí. Měření proudění v nádrži Fláje 9/2008



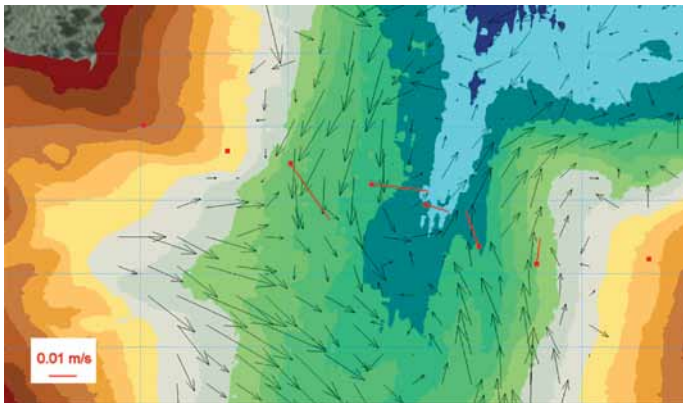
Obr. 6. Příklad měřených rychlostí proudění vody v nádrži Fláje ve svíslících (metoda ADP, 9/2008)



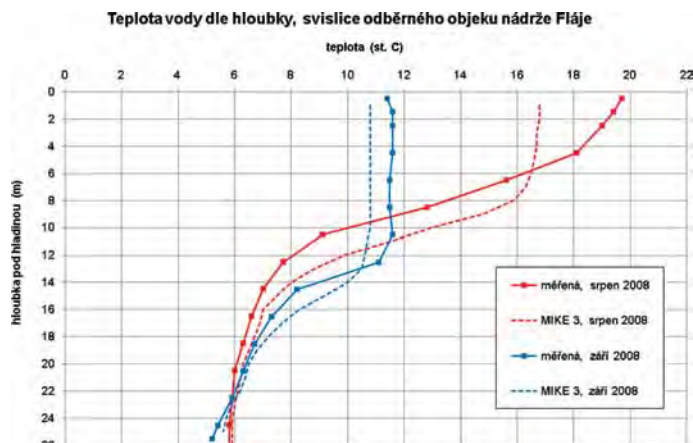
Obr. 7. Rychlosti proudění vody v nádrži, Fláje 7. 8. 2008. Barva čáry značí hloubku měření, (1,8 až 18 m, viz legenda). Zelená značka s číslem označuje ultrazvukové měření (ADP), černé body pak polohu plováků v desetiminutovém intervalu. Směr a velikost čar ukazuje vektor rychlosti (počátek v bodu měření) proudění (po odečtení vlivu větru). Podkladem je batymetrie dna nádrže (barevná škála viz legenda)

- sledování proudění vody v různých hloubkách nádrže pomocí plováků (obr. 5);
 - měření rychlosti proudění vody ultrazvukovou metodou ADP [3].
- Ze zpracování datových podkladů a výsledků měření byly ustaveny počáteční a okrajové podmínky a vstupní časové řady pro simulaci dvou kalibračních epizod (8 a 9/2008). Měřené stavové veličiny (rychlosti proudění, teploty vody) v nádrži pak sloužily pro validaci výsledků modelu (obr. 7).

Při nízkých přítocích do nádrže během měřicích kampaní byly rychlosti proudění v nádrži velmi malé (viz obr. 6). Jednoznačné směry proudění a cirkulace bylo možno určit jen obtížně.



Obr. 8. Vektory rychlostí simulované modelem v hloubce 11 m pod hladinou pro termín 25. 9. 2008 11:00 (černé šipky); porovnání s měřením přístrojem ADP (červené body a čáry). Zátoka Rašelíník, nádrž Fláje



Obr. 9. Měřená a simulovaná teplota vody ve svislici nad odběrným objektem pro úpravnu vody

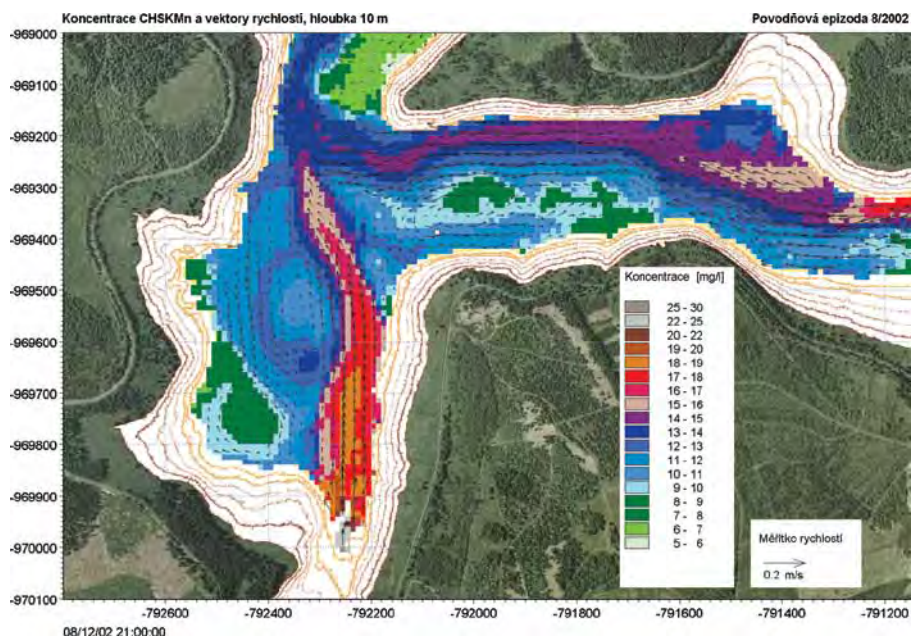
3. 3D numerický model proudění v nádrži (MIKE 3)

K posouzení charakteristik proudění v nádrži Fláje a šíření znečišťujících látek byl sestaven 3D numerický model pomocí softwarového prostředí MIKE 3 (DHI Software 2008). Model zahrnuje vliv teplotní stratifikace nádrže včetně teplotní výměny mezi vodou v nádrži a proudícím vzduchem nad hladinou. Matematický model MIKE 3 využívá aproximaci řešení Navier-Stokesových pohybových rovnic metodou konečných diferencí ve třech prostorových dimenzích, může dále zohledňovat i vlhkost vzduchu, intenzitu slunečního záření a poměrné „zastínění“ vodní hladiny [4]. Pro simulaci proudění v nádrži Fláje byl použit turbulentní model, popsaný Smagorinského rovnicí, jež vychází z předpokladu, že turbulentní napětí v kapalině jsou úměrná gradientu rychlostí a vzdálenosti mezi jednotlivými elementy výpočetní sítě. Vypočtená rychlostní pole – jako výsledek simulací, založený na výše zmíněném zjednodušeném turbulentním modelu – nejlépe odpovídala směrům a velikostem vektorů rychlostí, změřených během měrných kampaní. Šíření huminových látek v nádrži bylo simulováno pomocí advektivně-disperzního popisu za zjednodušeného předpokladu konzervativního šíření $CHSK_{Mn}$.

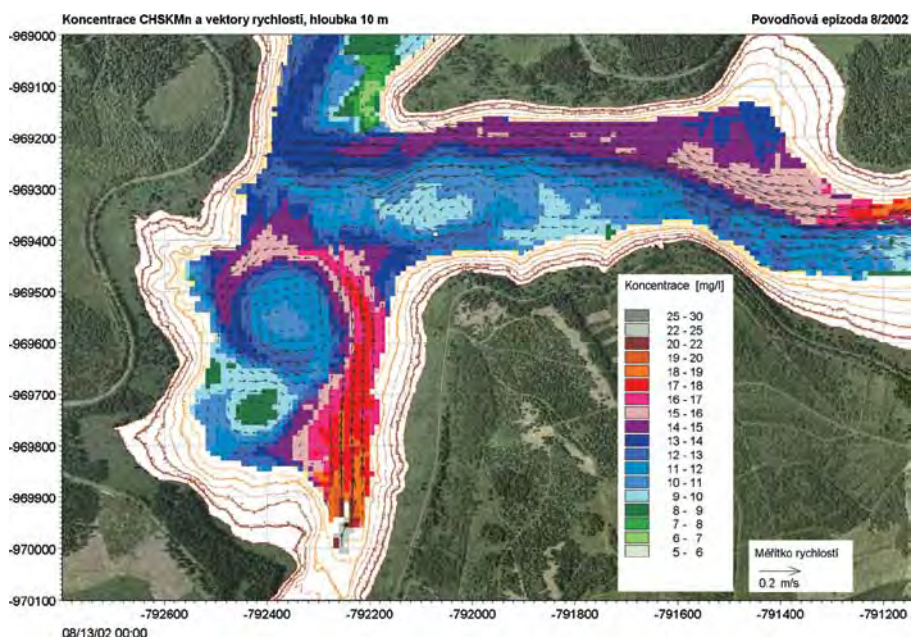
Numerický model byl sestaven s čtvercovou výpočetní sítí o velikosti výpočetní buňky 10 x 10 m a výšce 1 m. Ve studii byly posuzovány charakteristiky proudění v rozsahu hladin 722,0 až 738,0 m n. m., což odpovídá 21 až 37 výpočetním elementům ve vertikálním směru. Časový krok pro ukládání výsledků byl 1 hodina. V šesti okrajových podmínkách byl zadáván časově proměnný průtok, teplota vody a koncentrace $CHSK_{Mn}$ – na přítoku do nádrže (4 hlavní přítoky), v profilu odtoku základovou výpustí, resp. bezpečnostního přepadu a odběru z nádrže pro úpravnu vody v Meziboří.

3.1 Kalibrace a validace modelu

Parametry modelu proudění vody byly kalibrovány na základě datových sad získaných v letní sezóně 2008. Model byl validován porovnáním vektorů rychlostí proudění v měřených hodnotami během měřicích kampaní v srpnu a září 2008 a dále porovnáním simulovaných a měřených teplotních profilů v nádrži. Lze konstatovat, že numerický model vystihuje vektorové pole rychlostí v dostatečné shodě s měřeními (příklad na obr. 8).



Obr. 10. Simulované koncentrace $CHSK_{Mn}$ (barevná škála) a vektory rychlostí (šipky) pro 12. 8. 2002 21:00, hloubka 10 m, vodní nádrž Fláje



Obr. 11. Simulované koncentrace $CHSK_{Mn}$ a vektory rychlostí pro 13.8.2002 0:00, hloubka 10 m, vodní nádrž Fláje

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 Jandory 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

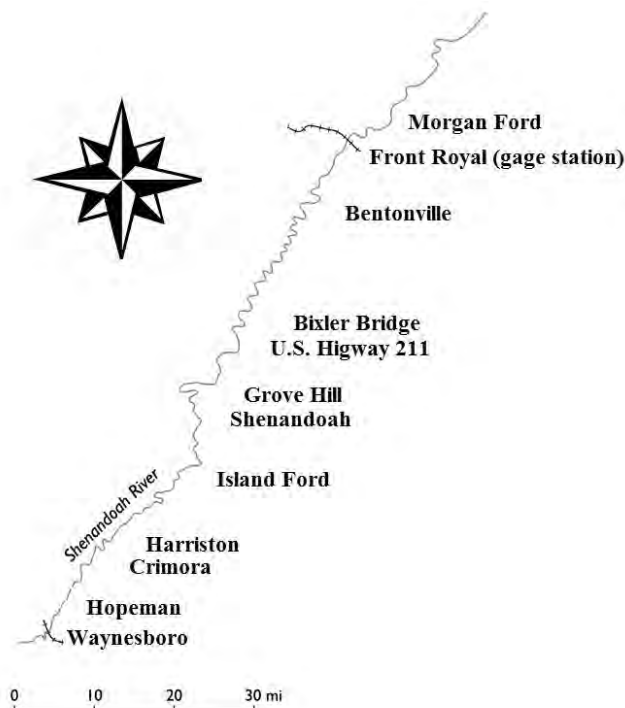
c_p = peak concentration of pollution plume,

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 popsané 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 unášejším 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

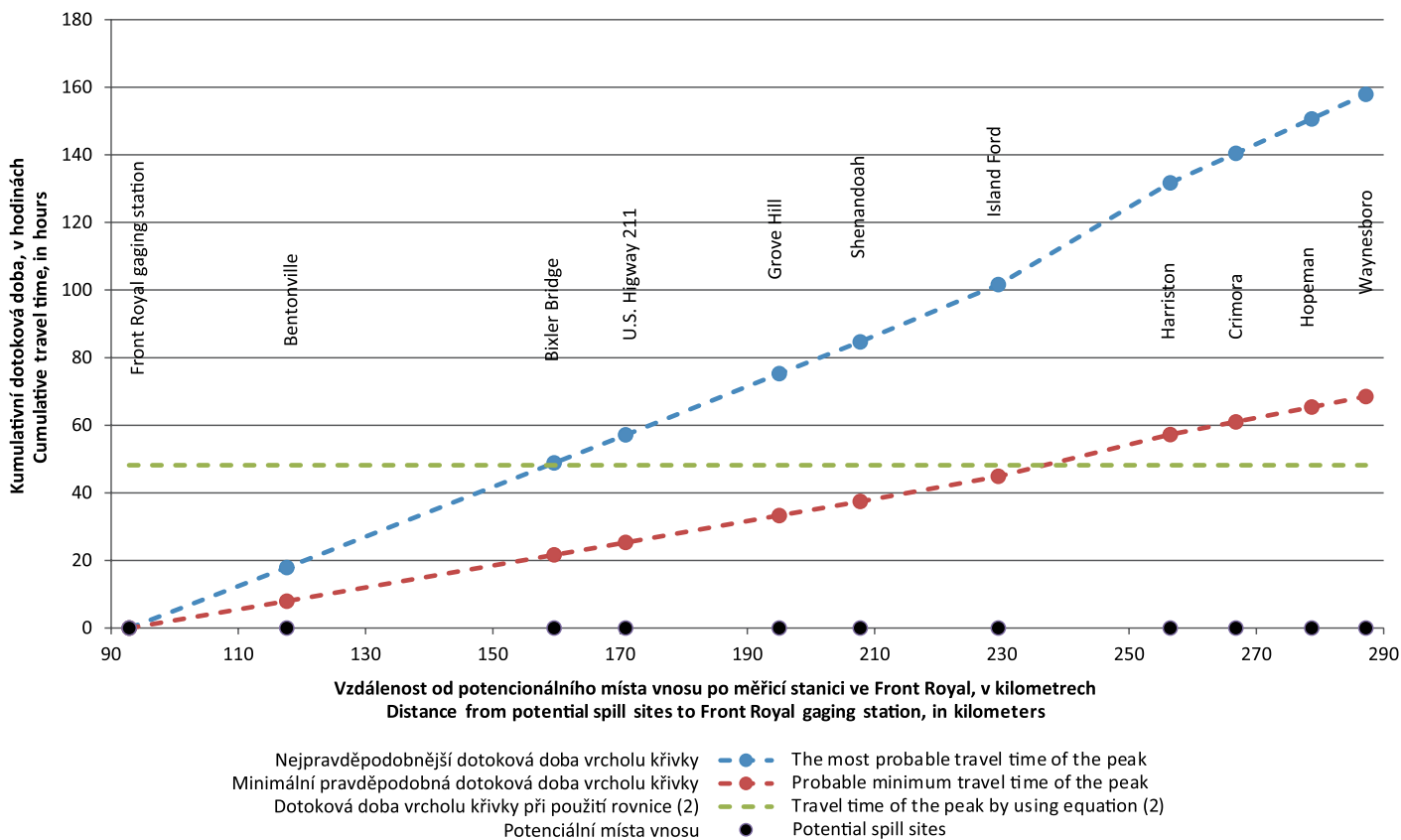
1. Case, if the tracer study is not available

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

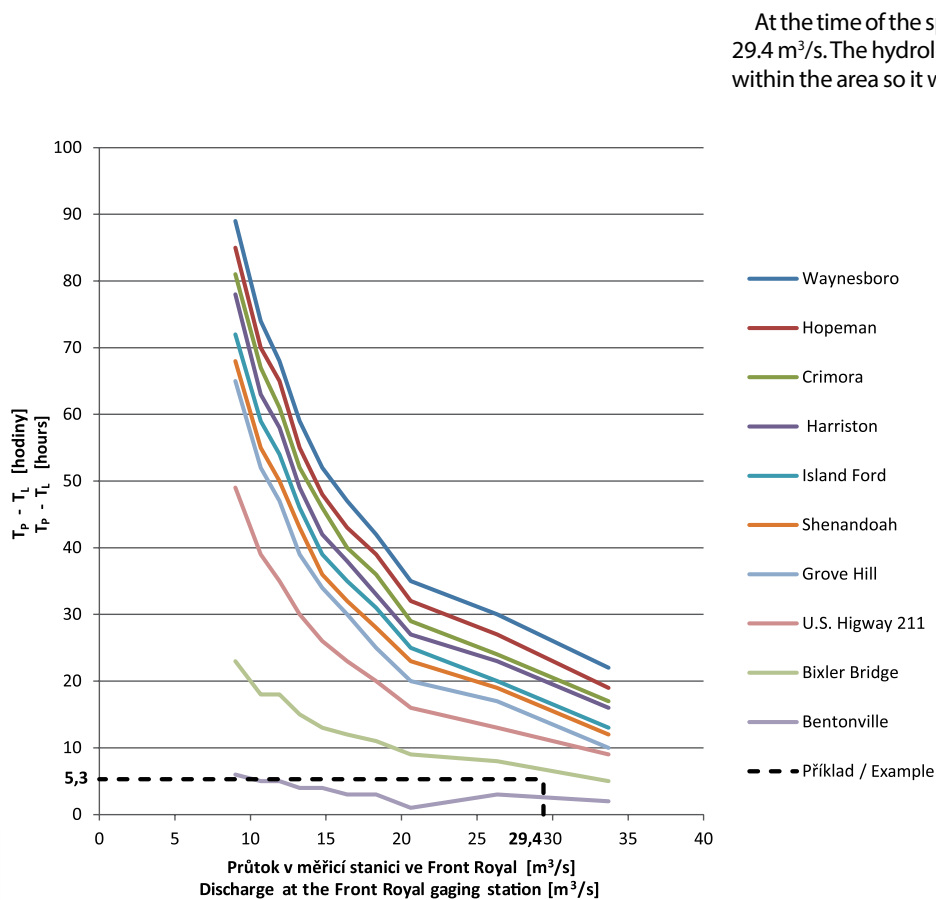
Tabulka 1. Výsledky získané použitím empirických rovnic popsanych Jobsonem (1997)

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. Případ, 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*).

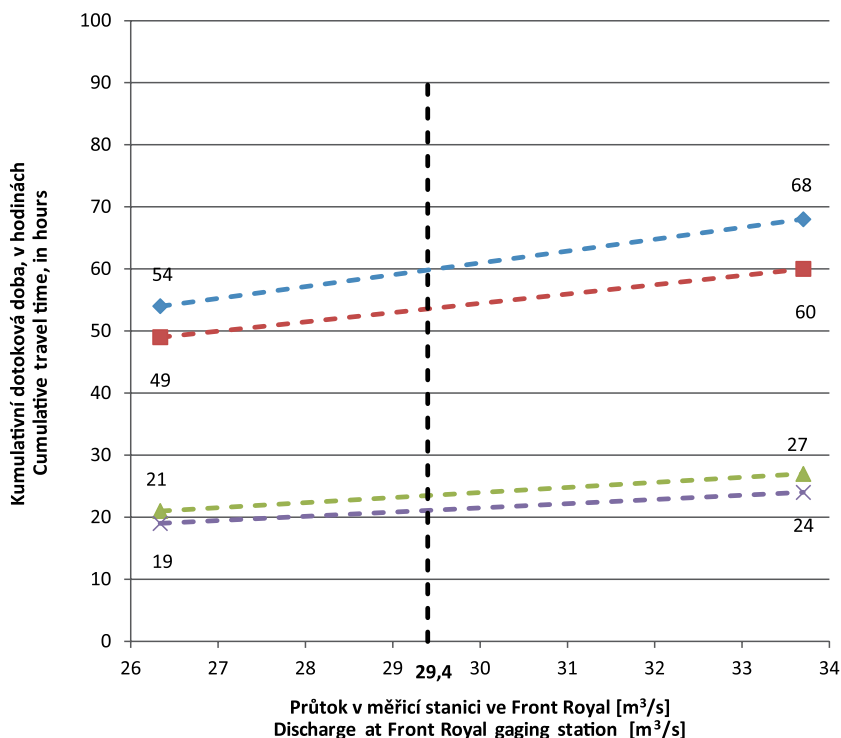
Rozdíl $T_p - T_L$ pro úsek z Front Royal do Morgan Fordu může být odhadnut z *tabulky 2* jako 2 hodiny. Je-li rozdíl $T_p - T_L$ pro úsek od místa vnosu po Front Royal 5,3 hodiny, pak je rozdíl $T_p - T_L$ pro úsek od místa vnosu po Morgan Ford 7,3 hodiny.

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.

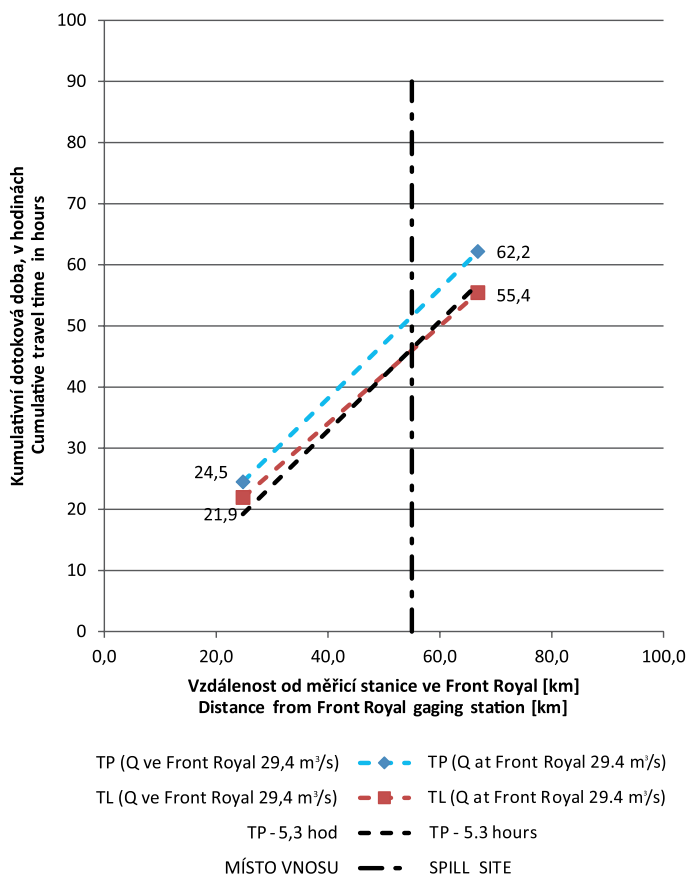
Pecletovo číslo může být odhadnuto pomocí rovnice (5) jako 668,5.

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



- ◆ — dotoková doba vrcholu z Bixler Bridge do měřicí stanice Front Royal
travel time of the peak from Bixler Bridge to Front Royal gaging station
- ■ — dotoková doba náběžné hrany z Bixler Bridge do měřicí stanice ve Front Royal
travel time of the leading edge from Bixler Bridge to Front Royal gaging station
- ▲ — dotoková doba vrcholu z Bentonville do měřicí stanice ve Front Royal
travel time of the peak from Bentonville to Front Royal gaging station
- × — doba dotoku náběžné hrany z Bentonville do měřicí stanice ve Front Royal
travel time of the leading edge from Bentonville to Front Royal gaging station
- - - — odhad dob dotoku z Bentonville do měřicí stanice Front Royal při aktuálním průtoku
estimation of the travel times from Bentonville to Front Royal gaging station at actual discharge

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 $29,4 \text{ m}^3/\text{s}$
Fig. 5. Estimation of the spill site between Bixler Bridge and Bentonville, assuming discharge at Front Royal gaging station $29.4 \text{ m}^3/\text{s}$

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 $29.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 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 $29.4 \text{ m}^3/\text{s}$, 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.

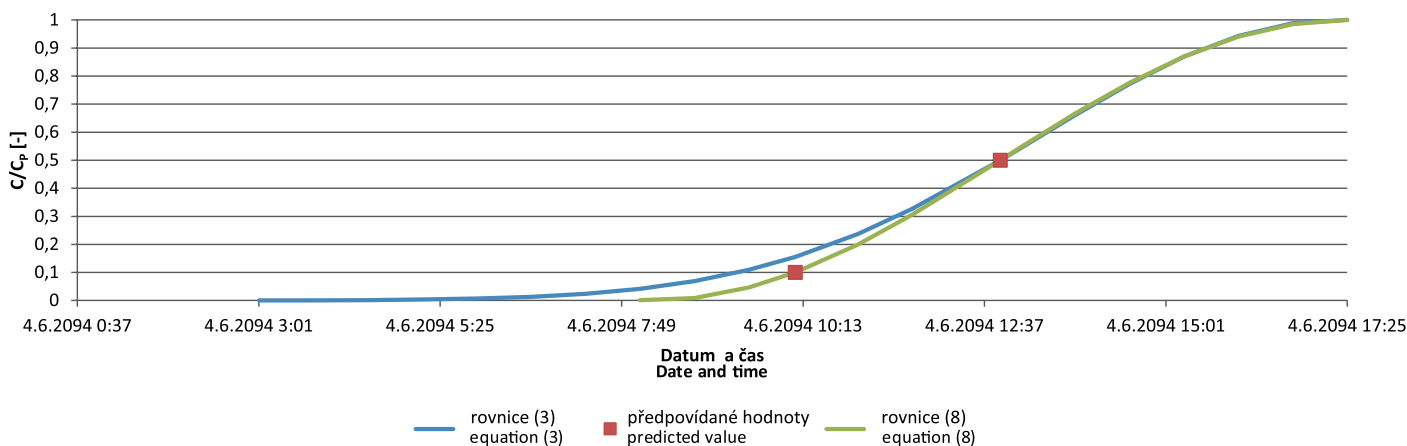
Prediction of the increasing part of the breakthrough curve at Morgan Ford is shown in Fig. 6.

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

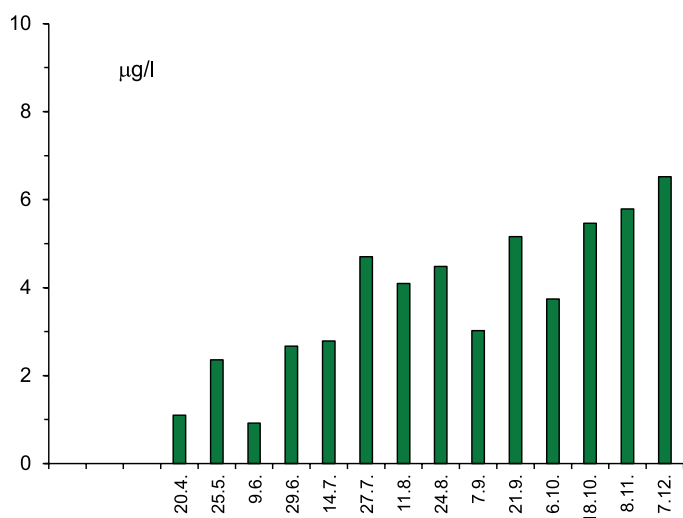
Biotechnologický přípravek byl ve formě aktivované kultury (připravené na místě rozmícháním vypočtené dávky přípravku ve 2–4 litrech vody a následnou aktivací 15–20 minut) dávkován spoliředitelskou firmou projektu VENTURA-VENKOV, s.r.o., do přítoku z kanalizace, do zemní usazovací nádrže, do přítoku 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 %)

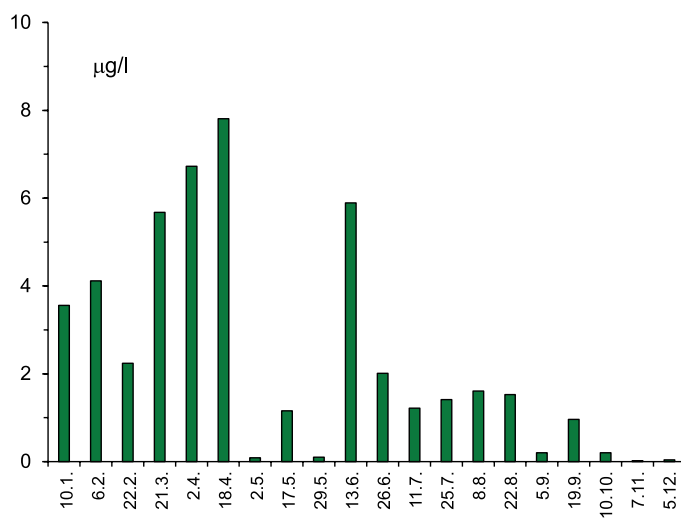
2014: $n = 15$; min. 1,26 mg/l; max. 12,99 mg/l; koncentrace < 1 mg/l: 0x (0 %)

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.

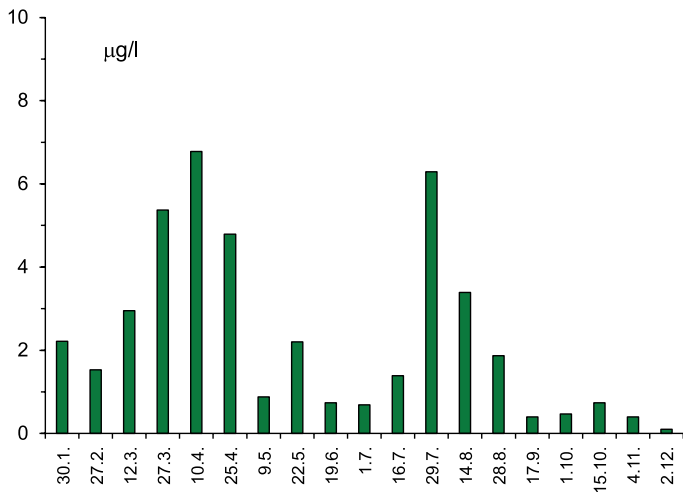
Průběh změn biomasy fytoplanktonu (koncentrace chlorofylu-a) za sledované období 2011–2014 v profilu „stabilizační nádrž-odtok“ je uveden na obr. 1–4. Vzhledem ke značnému kolísání koncentrace chlorofylu-a ve sledovaných profilech v průběhu vegetačních sezon jsou údaje v grafech prezentovány v logaritmické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



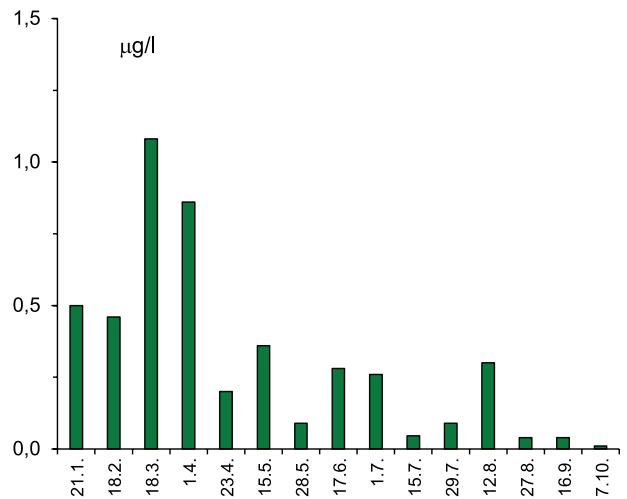
Obr. 2. Stabilizační nádrž: koncentrace chlorofylu-a ($\mu\text{g/l}$; data v logaritmické transformaci), 2012

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



Obr. 3. Stabilizační nádrž: koncentrace chlorofylu-a (µg/l; data v logaritmické transformaci), 2013

Fig. 3. Stabilization pond: chlorophyll-a concentration (µg/l; data in logarithmic transformation), 2013



Obr. 4. Stabilizační nádrž: koncentrace chlorofylu-a (µg/l; data v logaritmické transformaci), 2014

Fig. 4. Stabilization pond: chlorophyll-a concentration (µg/l; data in logarithmic transformation), 2014

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.

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

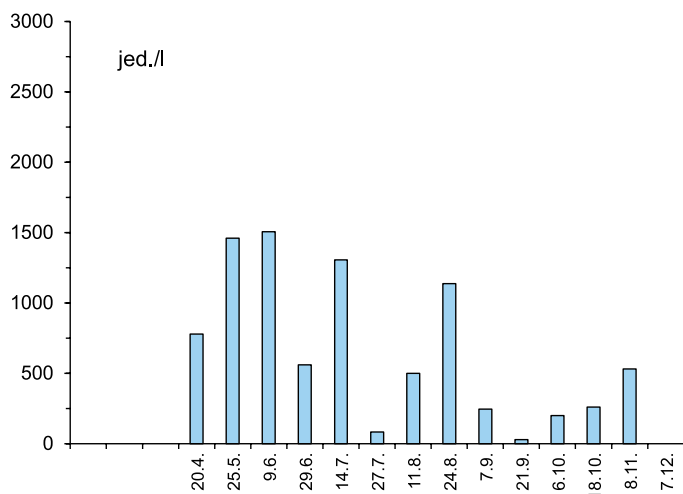
prům. abundance zooplanktonu v jednom odběru 2013: 651 jed./l

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)

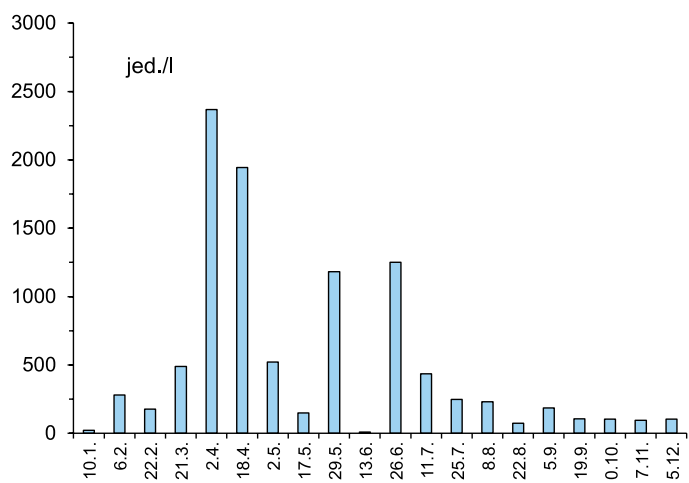
Table 1. Mean and maximum chlorophyll-a concentration values in sampling profiles (2011–2014)

Profil	Koncentrace chlorofylu-a, µg/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



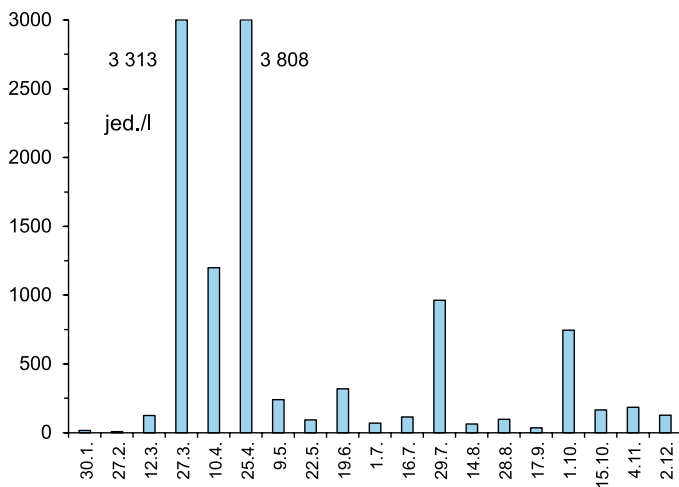
Obr. 6. Stabilizační nádrž: abundance zooplanktonu (jed./l), 2012

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

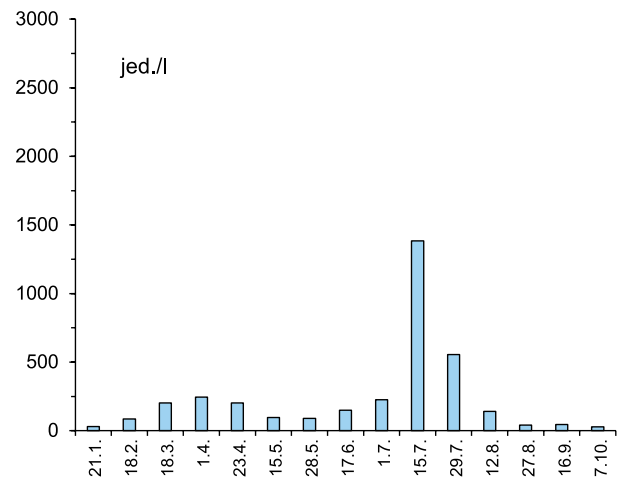
Stabilizační nádrž-odtok:

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.



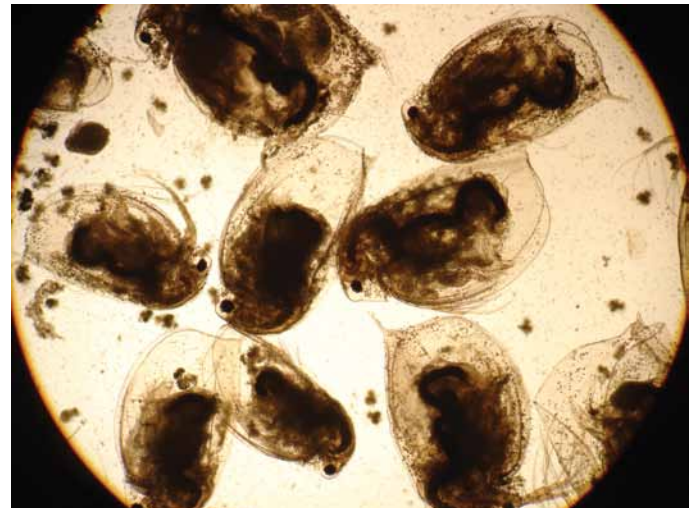
Obr. 7. Stabilizační nádrž: abundance zooplanktonu (jed./l), 2013
Fig. 7. Stabilization pond: zooplankton abundance (ind./l), 2013



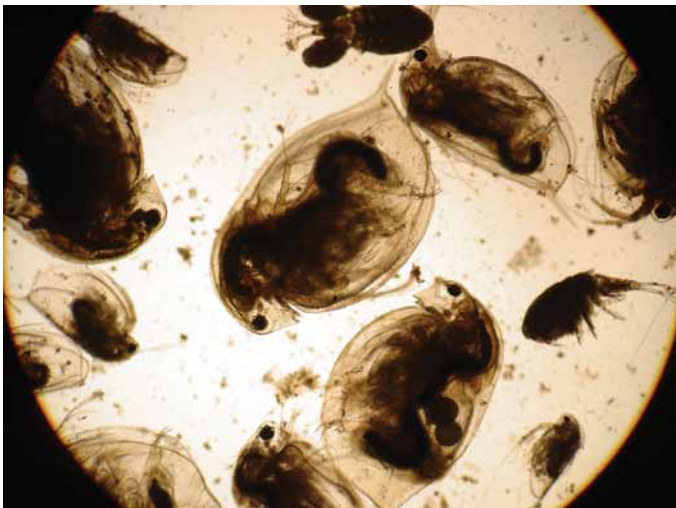
Obr. 8. Stabilizační nádrž: abundance zooplanktonu (jed./l), 2014
Fig. 8. Stabilization pond: zooplankton abundance (ind./l), 2014



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

Porovnání vypočteného rozdělení teplot vody v nádrži ve svislici nad odběrným objektem s měřenými hodnotami je uvedeno na obr. 9. Je zřejmé, že pro dny, kdy bylo provedeno měření, je i vertikální rozdělení teplot vody v nádrži modelem popsáno dostatečně blízko měřených hodnot.

4. Výsledky simulací povodňových epizod

Do numerického modelu (s parametry vzešlymi z kalibrace) byly zadány vstupní časové řady, okrajové a počáteční podmínky pro vybrané epizody 3/2000 a 8/2002 a s těmito datovými sadami provedeny simulace proudění vody a šíření látek podle podmínek popsaných výše. Simulované rychlosti a směry proudění vody a také změny koncentrací v jednotlivých hloubkách byly analyzovány a interpretovány především v oblasti odběrného objektu v nádrži.

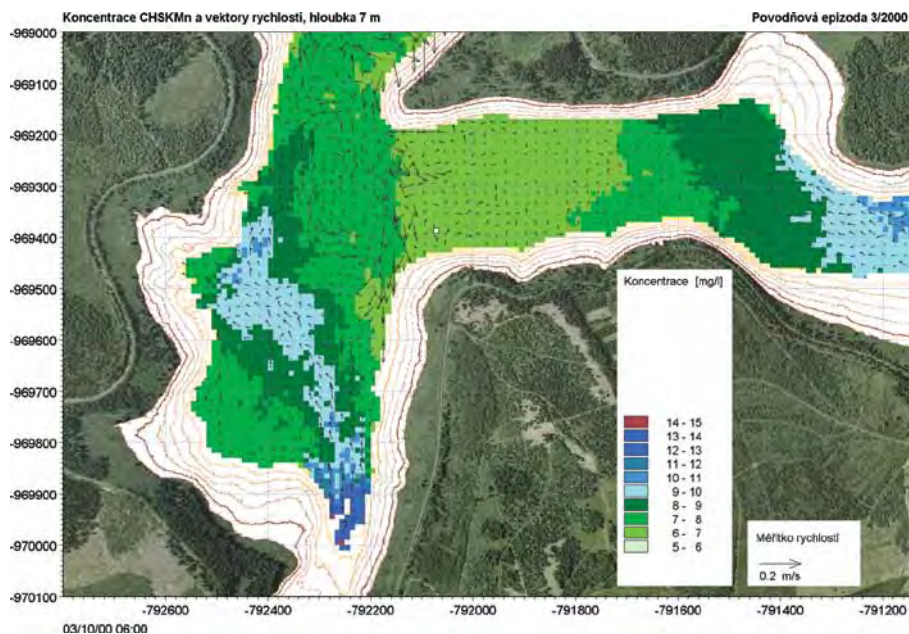
Povodňová epizoda ze srpna 2002 představuje extrémní letní povodeň s výraznou letní teplotní stratifikací vody v nádrži. Směr a rychlost větru (7 až 11 m/s ze západu až severozápadu) významně ovlivňovaly rychlosti proudění ve vrstvách vody u hladiny nebyl v celé ploše nádrže modelem simulován významný nárůst koncentrace $CHSK_{Mn}$. V zátocě Rašeliníku byl během kulminace přítoku do nádrže zaznamenán zřetelný tranzitní proud, který sledoval východní břeh zátoky a přetrvával až do míst, kde se zátoka Rašeliníku spojuje se zátokou Flájského potoka. Takovou charakteristiku tranzitního proudu bylo možné ve výsledcích modelu pozorovat v hloubkách 7 až 14 m pod hladinou (obr. 10 a 11); ve větších hloubkách se tranzitní proud vytrácel.

Z hlediska cílů studie jsou rozhodující koncentrace $CHSK_{Mn}$ ve svislici nad odběrným objektem. Maximální hodnoty za celou dobu simulace povodňové epizody jsou vykresleny na obr. 14. Z výsledků plyne, že během povodňové epizody 8/2002 se koncentrace $CHSK_{Mn}$ v hloubce odpovídající vtokovému objektu (v úrovni 708 až 710 m n. m.) zvýšila jen nepatrně, a to až v závěru simulovaného období. Během simulované epizody 3/2000 se tranzitní proud severním směrem v zátocě Rašeliníku nevytvářel. Typický příklad rozdělení vektorů rychlostí v hloubce 7 m pod hladinou je na obr. 12.

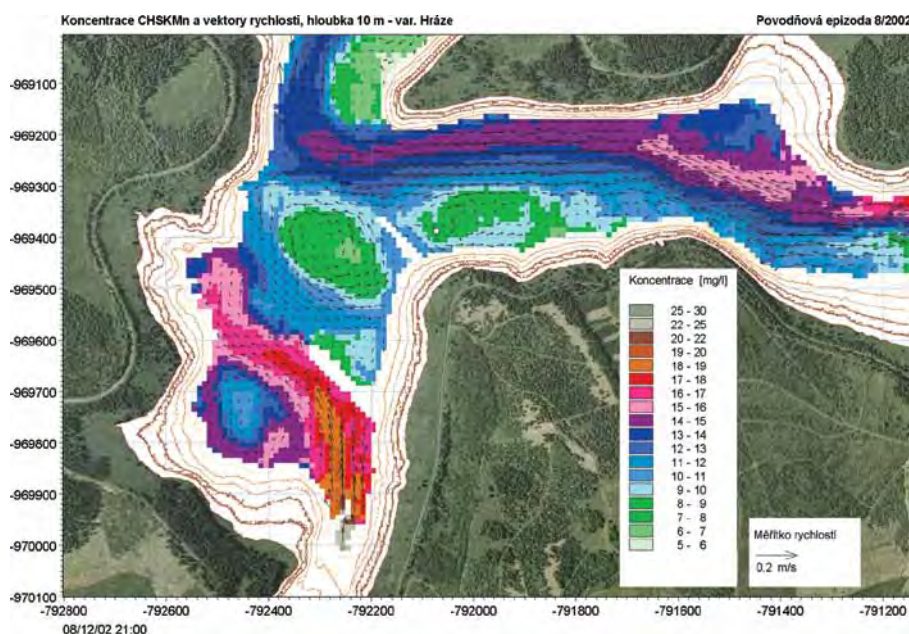
5. Variantní simulace

V dalším kroku byl pomocí modelu posouzen možný dopad uvažovaných opatření (dvou ponořených šterkových přehrázek) na odklonění proudu směřujícího ze zátoky Rašeliníku. Posuzované varianty vycházely z hydrologických podmínek povodňové epizody 8/2002. Při relativně plné nádrži (počáteční hladina na kótě 735,1 m nad mořem) přehrázka v zátocě Rašeliníku jednoznačně odklání tranzitní proud v hloubkách cca 7 až 14 metrů pod hladinou severozápadním směrem k protějšímu břehu (obr. 13).

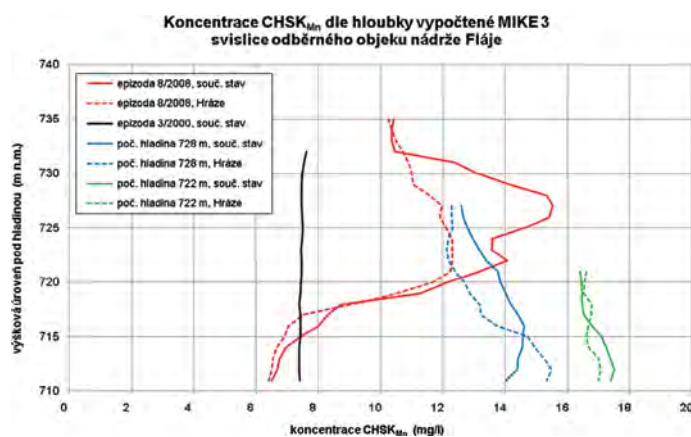
Při snížené počáteční hladině vody v nádrži na kótu 728,0 m n. m. se v zátocě Rašeliníku vytvářely úplavy a vírové oblasti, byť menšího rozsahu než při plné nádrži. Přehrázka u vtokového objektu při nižší hladině (a zúženém průtočném profilu) zachytávala proud z Flájského potoka, který též vnášel vysoké koncentrace $CHSK_{Mn}$. Při počáteční hladině vody v nádrži na kótu 722,0 m n. m. byl průtočný profil zátoky Rašeliníku i Flájského potoka výrazně zúžen, obě zátoky byly velmi mělké. V důsledku toho se nevytvářely typické úplavy či vírové oblasti. Přehrázky zasahovaly velmi málo do proudění v nádrži. Z obr. 14 je také patrné, že simulované koncentrace $CHSK_{Mn}$ ve svislici nad odběrným objektem při začlenění hrázek do modelu se výrazně neliší od stavu bez hrázek, viz tab. 2.



Obr. 12. Simulované koncentrace $CHSK_{Mn}$ a vektory rychlostí pro 10. 3. 2000 6:00, hloubka 7 m, vodní nádrž Fláje



Obr. 13. Simulované koncentrace $CHSK_{Mn}$ a vektory rychlostí pro 12.8.2002 21:00, hloubka 10 m, vodní nádrž Fláje, varianta se šterkovými přehrázkami



Obr. 14. Maximální simulované koncentrace $CHSK_{Mn}$ ve svislici nad odběrným objektem pro varianty opatření a různé počáteční hladiny vody pro epizodu 8/2002 v nádrži Fláje. Pro srovnání uvedeny i maximální koncentrace v epizodě 3/2000 (černá plná čára). Odběrné okno je ve výšce 708 až 710 m n. m.

6. Závěry

Pomocí simulačního prostředí MIKE 3 byl sestaven numerický model proudění v nádrži Fláje. Model byl úspěšně validován vůči měřeným teplotním profilům vody v nádrži a vektorům rychlosti v několika místech nádrže. Na základě simulací provedených modelem pro povodňové epizody 3/2000 a 8/2002 lze učinit následující závěry:

- Množství CHSK_{Mn} přicházející během studovaných epizod ze zátky Rašeliníku tvoří jen asi 30 % z celkového množství. Stejnou pozornost je tedy třeba věnovat i východní části nádrže, kde ústí Flájský potok.
- Modelem bylo prokázáno, že vznik a výskyt tranzitního proudu v zátoce Rašeliníku v hloubkách 7 až 15 m pod hladinou s největší pravděpodobností neovlivňuje bezprostředně koncentrace huminových látek na vstupu do odběrného objektu ve střední části nádrže.
- Při extrémních přítocích do nádrže (např. při povodňové epizodě v srpnu 2002), zatížených vysokými koncentracemi huminových látek, dochází jen k malému zvýšení koncentrací na vstupu do úpravny vody, a to až s mnohadenním zpožděním.
- Efekt navrhovaných přehrázek v nádrži na koncentrace a doby dotoku znečišťujících látek k odběrnému objektu při extrémních přítocích do nádrže se na základě simulací ukázal jako nevýznamný (a to i při různých počátečních úrovních hladiny vody v nádrži). Vysokým koncentracím huminových látek v odebírané vodě během povodňových epizod lze tedy zabránit zřejmě jen omezením vnosu těchto látek do nádrže opatřeními v povodí (mimo nádrž).

Poděkování: Autoři publikace děkují za spolupráci na prováděných měřeních pracovníkům VÚV TGM, v.v.i. (Ing. Pavel Balvín, RNDr. Radvan Hájek, Ing. Miroslav Rudiš, DrSc.), pracovníkům ČVUT FSV KHH (Ing. Daniel Mattas, CSc., Ing. Tomáš Píček, Ph.D.), dále Ing. Ladislavu Vondrákovi za konzultace a firmě MGE Data s.r.o. za poskytnutí GPS stanic k testování a měření. Projekt byl financován z prostředků Ústeckého kraje.

Literatura

- [1] Hodnocení trendu v dlouhodobém vývoji jakosti vody v nádrži Fláje v ukazatelích CHSK a huminové látky a návrh postupu jejího zlepšení. ENKI, o.p.s., Třeboň, červen 2004.
- [2] Možnosti omezení vlivu toku Rašeliníku na kvalitu surové vody ve Flájské přehradě. Povodí Ohře s. p., Chomutov, září 2006.
- [3] Měření hloubek a rychlostí proudění na nádrži Fláje. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka v.v.i., Praha, říjen 2008.
- [4] MIKE 3 Flow Model, User Guide. DHI Water & Environment, Hørsholm, Dánsko, 2008.
- [5] Technická zpráva projektu měření – VD Fláje. Povodí Vltavy, státní podnik, Mělník, červen 2008.

Ing. Petr Jiřinec (autor pro korespondenci)
Ing. Pavel Tachecí, Ph.D.
DHI a.s.
Na Vrších 5, 100 00 Praha 10
p.jirinec@dhi.cz, 267 227 129

Tab. 2. Dotokové doby zvýšené koncentrace CHSK_{Mn} od přítoku Rašeliníku k odběrnému objektu, simulované 3D numerickým modelem nádrže Fláje

varianta simulace	kalibrovaný model (beze změn)	model s přehrázkami
epizoda 8/2002, počáteční hladina 735,1 m. n. m	více než 36 hodin	více než 36 hodin
epizoda 3/2000	více než 60 hodin	----
epizoda 8/2002, počáteční hladina 722 m. n. m	12 hodin	14 hodin
epizoda 8/2002, počáteční hladina 728 m. n. m	24 hodin	18 hodin

Assessment of the impact of water flow on water quality at the Fláje Reservoir (Jirinec, P.; Tachecí, P.)

Abstract

A study on water flow and pollution transport in the Fláje Reservoir was conducted, using MIKE 3, a 3D numerical model. The aim of the study was to determine whether the increased input of humic substances during flood events directly affects the concentration at the site of water take-off for the Meziboří WTP. When simulating the flow characteristics, the turbulent model (based on the Smagorinsky equation) was applied. The dissemination of humic substances in the reservoir was simulated using the advection-dispersion equation (conservative transport of substances) in a rectangular calculation grid of 10x10 meters with a cell height of 1 meter. Based on the available data, discharge, water temperature, and concentration of COD(Mn) time series were established for four main tributaries, outflow and water take-off as boundary conditions. For the simulation, the extreme summer event of August 2002 and the snow melt of March 2000 were chosen. The numerical model was successfully validated using water temperature profiles and water velocity vectors observed during two periods in August and September 2008. Considered locations of the two submerged structures (groynes) would actually lead to divert the flow, but the impact is not great. The results further show that the gradual increase in concentrations at the site of the take-off structure occurs several days after the flood episode.

Key words

3D flow modelling – flow in water reservoir – pollution transport modelling

Tento článek byl recenzován a je otevřen k diskusi do 30. června 2015. Rozsah diskusního příspěvku je omezen na 2 normostrany A4, a to včetně tabulek a obrázků. Příspěvky posílejte na e-mail stransky@vodnihospodarstvi.cz.

Technické plyny pro zlepšení kvality pitné vody

Implementace směrnice 98/83/EC Evropské rady do národních legislativ členských zemí EU přinesla nové, nižší limitní hodnoty pro nežádoucí látky obsažené v surové vodě, například specifické těžké kovy nebo organické halogeny. To také znamená, že dodavatelé vody musí zajistit, aby pitná voda vyhovovala těmto limitním hodnotám. Je tedy nutné odpovídajícím způsobem upravit chemii vody, aby se například zabránilo rozpouštění olova ve starších domovních rozvodech vody.

Technické plyny jsou často nezbytnou součástí mnoha technologií potřebných k dosažení těchto cílů. Jsou použity jako látky, které jsou přirozenou součástí zdravé pitné vody, nezanechávají nežádoucí vedlejší produkty nebo kontaminaci a snižují náklady na úpravy vody. Tento článek prezentuje nejvýznamnější aplikace plynů při úpravě pitné vody.

Kyselina uhličitá je kyselinou první volby

Vnosem a rozpouštěním oxidu uhličitého (CO_2) ve vodě dochází k tvorbě produktů – kyseliny uhličitě, hydrogenuhličitánů a uhličitánů, které jsou přirozenou součástí pitné vody. Při úpravě pitné vody přináší využití oxidu uhličitého celou řadu výhod ve srovnání s minerálními kyselinami:

- Zamezuje zvyšování solnosti vody, neboť nedochází ke zvyšování koncentrací síranů a chloridů (důležité pro korozní chemii vody).
- Skladování a manipulace s CO_2 je jednoduchá a bezpečná a nezpůsobuje korozi okolních zařízení.
- CO_2 umožňuje přesnější kontrolu pH při menších investicích – bez dávkovacích čerpadel, bezpečnostních prvků, jednodušší vnos atd. Překyselení je prakticky vyloučeno.

Surová voda z přehradních nádrží či řek může být velmi měkká. Tvrdost pod 0,5 mmol/l není výjimečná. Zároveň se v současné době stále zvyšuje množství pitné vody odsolované reverzní osmózou nebo destilací, která je charakterizována velmi nízkou alkalitou. Taková voda je bez dalšího zpracování velmi agresivní. K prevenci koroze potřebná a zařízení je pak nutný mineralizační krok pro dosažení potřebné tvrdosti a pufrací kapacity o hodnotě nejméně 0,5 mmol/l. Protože do distribuční sítě často vstupuje pitná voda z více než jednoho zdroje, nastavuje se tvrdost vody obecně na hodnoty od 0,7 do 1,4 mmol/l. Běžně se však vyskytují vyšší hodnoty. Nejekonomičtější způsob mineralizace vody je založen na dávkování vyváženého množství vápna a CO_2 , vytvářejícím rozpustný hydrogenuhličitán vápenatý.

Kromě změkčování je regulace pH pomocí CO_2 výhodná i v jiných procesech úpravy vody:

- V případě nanofiltrace nebo membránové reverzní osmózy okyselování vstupní vody pomocí CO_2 zabraňuje zanášení membrán vodním kamenem. Vzhledem k tomu, že CO_2 proniká membránami pro reverzní osmózu, upravená voda na výstupu již obsahuje větší množství tohoto plynu nutného pro remineralizaci.
- Úprava pH pomocí CO_2 se používá také v případě flokulačního stupně na vstupu surové vody do úpravy. V teplých povrchových vodách bývá v průběhu letního období zaznamenán nárůst pH i nad 9. Proto se během těchto období upravuje pH pomocí CO_2 (optimalizace flokulace, zamezení nadměrného rozpouštění hliníku).
- Úprava pH vody po jejím změkčování (např. dekarbonizaci v reaktorech s fluidní vrstvou) na takové hodnoty, aby v důsledku nerovnováhy mezi pH a zbytkovou tvrdostí nedocházelo k postupnému vysrážení uhličitánů za technologií změkčení.

Oxidace pomocí kyslíku

Oxidační reakce se využívají v nejrůznějších krocích úpravy vody. Nejrozšířenějším je separace železa a manganu z důvodů potlačení inkrustace v rozvodném potrubí. Podzemní voda obsahuje železo a mangan v jejich rozpustné formě. Po obohacení podzemní vody kyslíkem oxiduje dvojmocné železo velmi rychle na trojmocné za tvorby hydroxidu železitého, který je zachycován na filtrech. Za odpovídajících podmínek dochází také k oxidaci manganu a odfiltrování nerozpustného oxidu manganičitého. Dle stechiometrie vyžaduje tato oxidace pouze malé množství kyslíku. Z tohoto důvodu lze požadovaného obohacení kyslíkem dosáhnout pomocí vzduchu. Nicméně použití procesu Oxysolv® společnosti Messer, který využívá čistý kyslík, je ekonomičtější a má mnoho výhod:

- Použití kyslíku namísto vzduchu často vede ke zvýšení průchodnosti filtru mezi proplachovacími cykly (minimalizace ztrát vody při proplachování, snížení nákladů na zpracování či vypouštění

proplachovací vody). Provzdušňování obvykle znamená i přesycení vody dusíkem, zejména pokud je použito tlakové provzdušňování. Během provozu způsobuje tlaková ztráta na filtrech přechod dusíku do plynného stavu a jeho akumulaci ve filtrační vrstvě ve formě mikrobublinek, které následně filtr blokují. Použitím čistého kyslíku namísto vzduchu je tomuto jevu zabráněno a je dosaženo delších provozních dob filtru.

- Kyslík zabraňuje tzv. „bílé vodě“ v kohoutku u koncových odběratelů pitné vody (zpětná tvorba plynného dusíku v kohoutcích či rozvodech vody).
- Lze snadno dosáhnout koncentrací rozpouštěného kyslíku ve vodě nad 20 mg/l. Toto je důležité v případech, kdy neupravená voda obsahuje také amoniak, metan a sulfan. Oxidace těchto látek vyžaduje totiž mnohem vyšší koncentrace kyslíku.

Díky uvedeným výhodám je použití čistého kyslíku ekonomičtější než tlakové provzdušňování. Nízké investice i provozní náklady a významně nižší náklady na údržbu a čištění kompresorů a ventilů hovoří jednoznačně v jeho prospěch. Tyto výhody vedly k aplikacím čistého kyslíku v mnoha zahraničních vodárnách, kde se o nich hovoří jako o nejpokročilejších technologiích.

Ozon

V případech, že jsou tradiční čistící kroky (flokulace, filtrace a/nebo chlorace) nedostatečné pro zajištění kvality a zdravotní bezpečnosti pitné vody, používá se oxidace ozonem. Ozon je zároveň přátelský k životnímu prostředí – výsledkem jeho působení jsou obvykle neškodné oxidační produkty a kyslík. Díky tomu nezanechává žádné nežádoucí vedlejší produkty a nezhoršuje sensorické vlastnosti vody.

Ozonizace se uplatňuje v procesu úpravy pitné vody mnoha způsoby:

- Ozon se používá k dezinfekci, často v kombinaci s UV zářením. V porovnání se sloučeninami chloru ozón účinkuje rychleji na bakterie, cysty, spory, plísně, parazity a je mnohem účinnější proti virům. Ozon zamezuje růstu řas a zabraňuje tvorbě biologických povrchových slizů.

- Ozon se používá také pro oxidaci železa a manganu tam, kde jsou tyto kovy organicky zakomplexovány v huminových kyselinách a nelze je oxidovat čistým kyslíkem.

- Ozon se používá k oxidaci (odolných) organických látek. Dochází tak ke zlepšení sensorických vlastností – barvy, turbidity, zápachu a chuti. Často se používá v kombinaci s filtry s granulovaným aktivním uhlím (GAU) pro likvidaci pesticidů. Ozon také rozbíjí prekurzory tvorby halogenů (CHX_3). To je důležité při následném chlorování na vstupu do distribuční sítě.

Ozon je nutné vyrábět na místě spotřeby. Zejména pro střední a velké úpravny vody je použití čistého kyslíku jako zdroje pro jeho výrobu ekonomičtější než použití vzduchu – nevyžaduje nákladné zařízení pro odstranění vlhkosti, stopových prvků a jemných pevných nebo kapalných částic, které by mohly ovlivňovat životnost generátorů ozonu. Kyslík dále umožňuje dosáhnout mnohem vyšších koncentrací ozonu ve výstupním plynu (10–15 %). Z toho důvodu jsou ozonové generátory a injektory kompaktnější, méně nákladné a s výrazně nižší spotřebou energie. Výsledkem je, že všechny moderní ozonové instalace používají čistý kyslík. Také mnoho starších vzduchových generátorů ozonu je nahrazováno generátory využívajícími čistý kyslík, což přináší významné snížení provozních nákladů.

Závěr

Oxid uhličitý, kyslík nebo ozon se používají v celém řetězci procesu úpravy vody surové na vodu pitnou. Tým kvalifikovaných vědců, inženýrů a techniků firmy Messer má rozsáhlé zkušenosti s aplikacemi zde popsaných metod a odpovídající know-how pro používání technických plynů v uvedených procesech. Poskytují konzultace a nabízejí řešení, které je tvořeno inženýrskou činností, hardwarem a dodávkami technických plynů a upraveno dle aktuálních požadavků zákazníka. Výsledkem je více než 200 referenčních instalací, kterými byly v minulých letech vybaveny úpravy vody po celé Evropě.

MESSER
Gases for Life

Ing. David Bek, Ph.D.
aplikační inženýr

Messer Technogas s.r.o.
Mobil: +420 602 760 022

E-mail: david.bek@messer.cz • www.messer.cz



Předběžný odhad PMF v profilu VD Orlík na Vltavě

Radovan Tyl, Tomáš Vlasák, Jan Daňhelka, Jan Kubát, Petr Šercl

V čísle 11/2014 *Vodního hospodářství* publikoval Ing. Blažek diskusní příspěvek s názvem „VD Orlík – pravděpodobná maximální povodeň (PMF)“, jehož téma je z názvu jednoznačně zřejmé. V rámci diskuse k tomuto článku bychom nejprve chtěli upozornit na některé nepřesné hodnoty uvedené v příspěvku, např. hodnota přítoku do VD Orlík při povodni 2002 byla vyhodnocena na $3\,900\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Čtenáře odkazujeme na webové stránky s výsledky projektu vyhodnocení povodně (<http://voda.chmi.cz/pov02/index.htm>). Hlavním cílem tohoto diskusního příspěvku však je diskutovat otázku odhadu PMF v profilu našeho největšího vodního díla. Následující text shrnuje dosavadní známé pokusy o simulaci extrémního přítoku do VD Orlík a odhad maximální možné povodně, dále popisuje v krátkosti postup ČHMÚ při odhadu pravděpodobné maximální povodně (PMF) v profilu hráze VD Orlík na Vltavě určené z pravděpodobné maximální srážky (PMP) a diskusi.

Úvod

Koncept pravděpodobné maximální povodně (probable maximum flood – PMF) jako návrhové veličiny není v hydrologické praxi v České republice používán. Při posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních podle ČSN 75 2935 se pro vodní díla I. kategorie (tedy VD s největším rozsahem potenciálních škod v případě jejich havárie) jako kontrolní povodňová vlna užívá teoretická povodňová vlna s dobou opakování $N = 10\,000$ let. Přestože se PMF neuvádí, je dobré alespoň orientačně znát přibližný rozdíl mezi odhady Q_{10000} a PMF.

Jak uvádí zahraniční literární prameny, postupy odvození PMF jsou většinou vázány na odhad pravděpodobné maximální srážky (PMP). Tyto přístupy však často narážejí na problém odhadu počátečních podmínek povodí (nasycenosti), které jsou v našich geografických podmínkách naprosto zásadním faktorem tvorby povodňového odtoku.

Pokusy o simulaci extrémního přítoku do VD Orlík

Blažek [1] při svém odhadu vychází z hodnoty PMP určené dle podkladu [7] a simulace srážko-odtokového procesu pomocí Nashovy soustavy lineárních nádrží. Ve svých výpočtech dospěl k hodnotě PMF na úrovni $5\,760\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ při srážce o trvání 30 až 42 hodin a celkovém úhrnu 140 až 170 mm.

ČHMÚ v hydrologické studii [2], zpracované na objednávku Povodí Vltavy, s. p., v roce 2005, odvodil pro profil hráze VD Orlík teoretickou povodňovou vlnu s dobou opakování 10 000 let statistickým přístupem s využitím všech dostupných pozorování. Výsledný odhad kulminace teoretické vlny

s pravděpodobností překročení $pQ = 0,0001$ byl $5\,300\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

Po povodni v srpnu 2002 se ČHMÚ zúčastnil výzkumného projektu vedeného univerzitou v Karlsruhe, jehož cílem bylo řešení protipovodňové ochrany na německém úseku toku Labe, a v jehož rámci byly simulovány povodně i v české části povodí [5]. V rámci projektu byly simulovány varianty povodně ještě nepříznivější než v srpnu 2002. V použitém meteorologickém modelu byly mírně modifikovány podmínky roku 2002 z hlediska pozice tlakového pole, přičemž byly číňeny různé kombinace nasycenosti a navýšení srážek. Výsledkem byly simulované přítoky do VD Orlík dosahující až $5\,000\text{--}5\,400\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

U příležitosti konference k 10. výročí povodně 2002 se o simulaci nepříznivějšího průběhu povodně pokusili Kubát a Krejčí – viz [6]. Jejich postup spočíval v prodloužení vstupní srážky do srážko-odtokového modelu při druhé srážkové epizodě v srpnu 2002 o jeden den tak, že rozložení srážek z 12. 8. 2002 bylo použito (zopakováno) i pro 13. 8. 2002. Simulovaná hodnota přítoku do VD Orlík, v tomto případě pro třídní srážku s plošným průměrem na povodí 183 mm, dosáhla $6\,800\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

Pravděpodobná maximální srážka na povodí VD Orlík

Rastry pravděpodobných maximálních srážek byly aktualizovány Ústavem fyziky atmosféry AV ČR v rámci výzkumného projektu QD 1368 „Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní“. Pro výpočet byly k dispozici hodnoty plošné PMP s dobou trvání 1, 2 a 3 dny, a to pouze pro území České republiky, tedy bez částí povodí Vltavy a Lužnice ležících za hranicemi.

Se zahrnutím redukce srážky na plochu povodí k hrázi VD Orlík určené dle metodického postupu dle [8] vychází plošný průměr PMP pro jednotlivé doby trvání následovně:

- PMP 1d-red = 156 mm;
- PMP 2d-red = 215 mm;
- PMP 3d-red = 242 mm.

Bez zahrnutí redukce srážky na plochu povodí vychází PMP 2d = 357 mm. Velikost plošného redukčního koeficientu na povodí VD byla následně určena jako podíl PMP 2d s uvažováním redukce a PMP 2d bez uvažování redukce, tedy:

$$\text{PMP 2d-red/PMP 2d} = 215/357 = 0,602$$

Průběh srážkových výšek v hodinovém kroku během druhé vlny povodně v srpnu 2002 byl použit jako podklad pro rozložení PMP do hodinových intervalů. Převážná část srážek vypadla v průběhu dvou dnů 11.–12. 8., viz obr. 1, proto jako vstupní rastr srážek PMP byl vybrán ten s odpovídající dobou trvání (PMP 2d). Denní srážkové výšky pro povodí k hrázi VD Orlík z druhé vlny povodně 2002 jsou oproti redukované PMP zhruba poloviční:

- 11. 8. 2002: 41,6 mm;
- 12. 8. 2002: 74,6 mm;
- 13. 8. 2002: 5,2 mm.

Podílem rastru PMP 2d a rastru dvoudenní sumy srážek 2002 byly vynásobeny (navýšeny) hodinové rastry srážek z druhé vlny povodně 2002, které byly posléze redukovány již zmíněnou hodnotou 0,602. Výsledkem byly hodinové průběhy srážek ve formě rasterových dat (ASCII gridy) v období 11. 8. 2002 6:00 až 13. 8. 2002 5:00, které svou sumou odpovídají hodnotě PMP 2d a zároveň jsou redukovány na plochu povodí VD Orlík. Tyto rastry v dalším kroku posloužily jako vstup do srážko-odtokového modelu.

Výpočet PMF srážko-odtokovým modelem

Odtoková odezva na návrhovou srážku byla vypočtena hydrologickým modelem Aqualog s nastavením a parametry, které jsou aktuálně používány pro operativní hydrologické předpovědi. Vstupní návrhové srážky byly převedeny do formy mapových rastrů s hodinovým krokem a prostorovým rozlišením 1×1 km. Teploty vzduchu byly převzaty z období povodně ze srpna 2002.



Obr. 1. Průběh srážek na povodí VD Orlík

Odvozené srážkové rastry pokrývají pouze území České republiky, a proto na částech povodí horní Vltavy, které leží na území Německa a Rakouska, byly vstupní srážky nulové. Protože jde pouze o 6 % celkové plochy povodí a navíc je to území, které má nejdelší doběhovou dobu vzhledem k závěrovému profilu, předpokládáme, že odtok z tohoto území má na kulminaci návrhové PMF zanedbatelný vliv.

Jako počáteční podmínky byly použity dvě reálné letní situace, které reprezentují stav extrémně vysoké nasycenosti (stav z 11. 8. 2002) a extrémně nízké nasycenosti (stav ze 7. 7. 2014), viz obr. 2 a 3. U přehradních nádrží, které jsou součástí hydrologického modelu (VD Lipno I + II, VD Římov a VD Husinec), byl při výpočtu odtok z nádrží nahrazen modelovaným přítokem, tzn., že retenční vliv těchto nádrží nebyl uvažován.

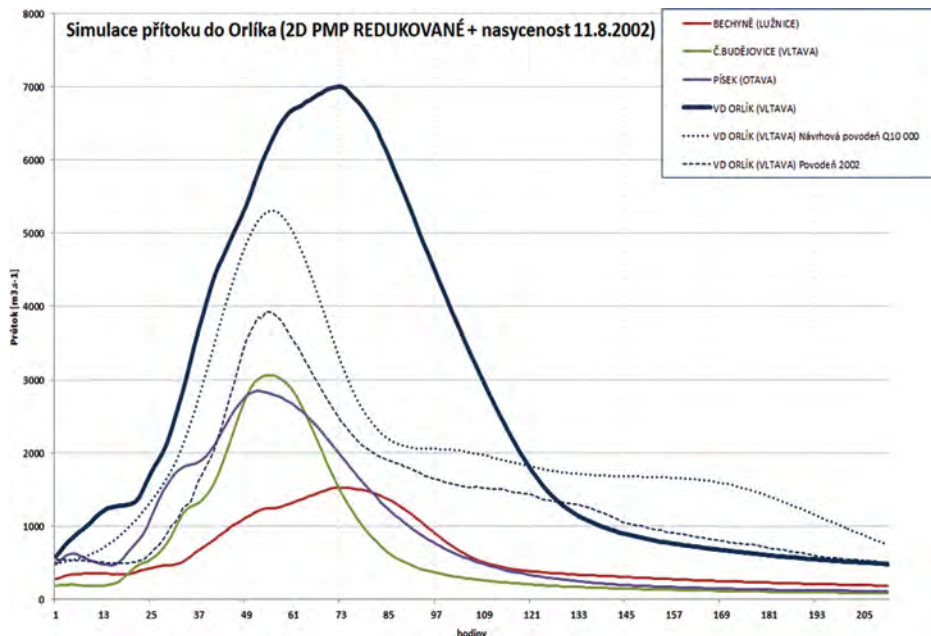
Kulminace tímto způsobem simulované PMF pro vysoké počáteční nasycení povodí dosáhla $7\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, pro nízké počáteční nasycení mírně přesáhla $4\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Výsledek dokumentuje obrovský vliv počátečních podmínek na průběh simulace.

Diskuse a shrnutí

Pro ověření reálnosti simulovaných hodnot byl využit empirický vztah maximálních pozorovaných specifických odtoků a velikosti plochy povodí, který ČHMÚ aktualizuje po proběhlých povodňových událostech (obr. 4). Historicky na jejich základě byla odvozena rovnice obalové čáry pozorovaných hodnot v podobě $q = 0,45 \cdot A^{0,48}$, kde A je plocha povodí. Pro účely tohoto hodnocení byly do databáze doplněny hodnoty extrémních zaznamenaných odtoků ve střední Evropě i mimo území ČR (Německo, Slovensko) a nově odhadnuté extrémní odtoky z historické povodně 1714 [4]. Na jejich základě byla rovnice mírně upravena. Dle této rovnice by byl specifický odtok pro plochu povodí ke hrázi VD Orlík blízký hodnotě $0,5\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$, čemuž by odpovídal kulminační průtok cca $6\,000$ až $6\,200\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Je však třeba upozornit, že v případě evidovaných případů se jedná o historicky pozorované extrémy, které již z principu nemohou být považovány za maximální pravděpodobnou povodeň.

Provedené simulace jsou založeny na řadě předpokladů, jejichž validitu nelze ověřit. Předně se jedná o vlastní určení hodnoty pravděpodobné maximální srážky. Její bodové hodnoty přitom nelze dostatečně verifikovat již z podstaty věci. Např. dříve určená hodnota jednodenní PMP byla pro lokalitu Cínovec v roce 2002 překonána. Druhým zvoleným předpokladem je míra poklesu hodnoty plošného průměru srážky s rostoucí zasaženou plochou. Jedná se o klíčový prvek odhadu celkového objemu srážek vstupujícího do výpočtu, kdy byly bodové hodnoty PMP redukovány na přibližně 60 % na základě předpokladu, že není možné, aby se ve všech „bodech“ celé plochy povodí o ploše $12\,000\text{ km}^2$ současně vyskytla srážka odpovídající PMP v daném bodě. Takový předpoklad je logický, ovšem míra poklesu byla odvozena ze vztahů, které byly získány rozborem významných pozorovaných srážkových událostí za relativně krátké období pozorování.

Dalším předpokladem je využití prostorové a časové struktury srážek ze srpna 2002 jako



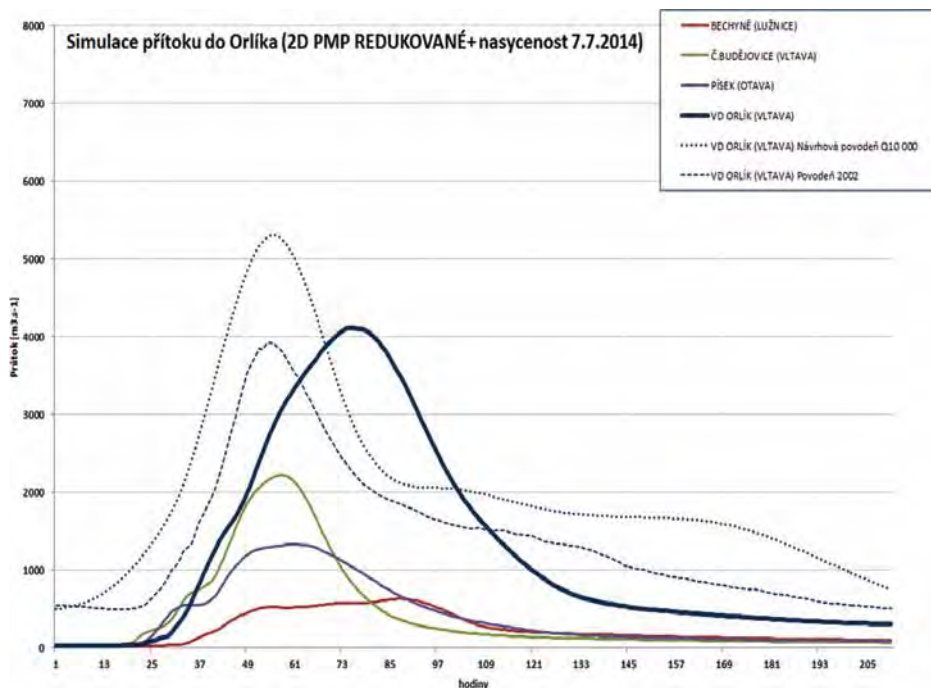
Obr. 2. Simulovaná PMF při vstupu redukované 2D PMP a počátečních podmínkách z 11. 8. 2014 (vysoká nasycenost)

šablony pro simulaci teoretické PMF, a proto nelze vyloučit, že některé odlišné časoprostorové distribuce srážek by vedly k odlišným a potenciálně větším simulovaným hodnotám odtoků.

Problém volby počátečního nasycení povodí byl ukázán prostřednictvím simulace dvou různých variant nasycení reprezentující „suché“ a „vlhké“ povodí. Výsledky těchto dvou variant demonstrují velmi vysokou citlivost na tento faktor.

Z předložených výsledků je zřejmé, že odhad hodnoty PMF v našich podmínkách a navíc v plošně rozsáhlém povodí je velmi

problematická úloha vedoucí k výsledkům se značnou nejistotou. Tato nejistota je daná jak způsobem určení časového a prostorového rozložení příčných srážek, tak současně i volbou počátečního nasycení povodí. Právě jeho volba může vyústit ve značnou variabilitu odtokové reakce. Pro zajímavost uvedme situaci povodní 2013 a 1899 v povodí horního Dunaje, kdy srážky v roce 2013 dosahovaly výrazně menších hodnot ve srovnání s rokem 1899, přesto odtoková reakce v roce 2013 byla větší, a to právě v důsledku extrémního nasycení povodí [3].



Obr. 3. Simulovaná PMF při vstupu redukované 2D PMP a počátečních podmínkách ze 7. 7. 2014 (nízká nasycenost)

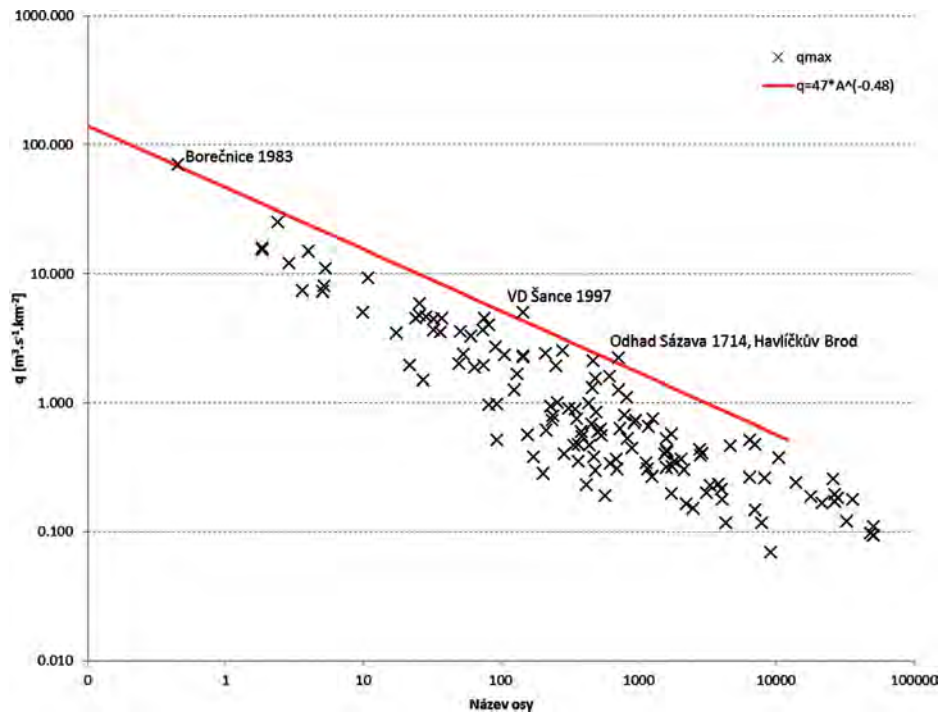
V případě hydrologického modelu byl použit hydrologický předpovědní systém AquaLog, který je v ČHMÚ standardně používán v povodí Labe a po povodni v roce 2013 byl úspěšně rekalibrován. Přesto provedené simulace, zejména extrémních povodní, je nezbytné vnímat jako zatížené významnou nejistotou. Jedním z problémů je mimo jiné skladba povodňových vln z jednotlivých přítoků v relativně dlouhém vzdutí VD Orlík.

ČHMÚ standardně používá metodiku srážko-odtokového modelování (jiným typem modelu) při odvozování teoretických povodňových vln na malých nepozorovaných povodích. Pro velká povodí jsou zpravidla preferovány statistické přístupy, které vychází z vyhodnocení vodoměrných pozorování.

Závěrem lze uvést, že rozdíl mezi kulminací 10 000leté povodně a pravděpodobné maximální povodně může být významný. V daném případě VD Orlík nelze jako nereálné odmítnout hodnoty kulminačního průtoku PMF na úrovni 6 000 až 7 000 m³.s⁻¹. Přesto s ohledem na značné nejistoty při odvozování parametrů teoretických povodní s extrémně dlouhou dobou opakování lze souhlasit s Ing. Blažkem ohledně doporučení neužívat návrhové průtoky s delší dobou opakování než 10 000 let. Pokoušet se o odhad doby opakování PMF považujeme z podstaty věci za zavádějící. Zároveň se domníváme, že u extrémních teoretických povodní by pravděpodobně bylo vhodnější používat vyjádření pravděpodobnosti jejich výskytu (např. pQ=0,0001) namísto vžitě doby opakování.

Literatura

- [1] Blažek, V. D. 2014: VD Orlík – pravděpodobná maximální povodeň (PMF), Vodní hospodářství 11/2014, s. 12–13.
- [2] Boháč, M.; Kulasová, B. 2005: Průběhy teoretických povodňových vln s kulminačním průtokem s pravděpodobností překročení pQ = 0,0001 a s podmíněnými pravděpodobnostmi překročení objemu. Hydrologická studie pro VD Orlík. ČHMÚ.
- [3] Blöschl et al. 2013: The June 2013 flood in the Upper Danube Basin, and comparison with the 2002, 1954 and 1899 floods. HESS, 17, pp. 5197–5212.
- [4] Elleder, L., a kol. 2014: Přívalová povodeň v létě 1714 na Českomoravské vrchovině – rekonstrukce



Obř. 4. Historické vyhodnocení kulminační specifické odtoky na území ČR v závislosti na ploše povodí

- katastrofy po 300 letech, Meteorologické zprávy, 67, 6, pp. 161–173
- [5] Kron, A.; Nestmann, F.; Schlüter, I.; Schädler, G.; Kottmeier, C.; Helms, M.; Mikovec, R.; Ihringer, J.; Musall, M.; Oberle, P.; Saucke, U.; Bieberstein, A.; Daňhelka, J.; Krejčí, J., 2010: Operational flood management under large-scale extreme conditions, using the example of the Middle Elbe, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, **10**, pp. 1171–1181, ISSN: 1561-8633.
 - [6] Kubát, J., Krejčí, J. 2012: Povodeň 2002 byla extrémní, mohou nastat i větší? Vodní hospodářství 8/2012, s. 236–240.
 - [7] Řezáčová, D. a kol. (2000): Vývoj metod pro stanovení PMP, závěrečná zpráva grantu VaV/510/97 “Vývoj metod pro stanovení extrémních povodní”, ČHMÚ a ÚFA AVČR, 2000.
 - [8] Řezáčová, D.; Pešice, P.; Sokol, Z. (2005): An

estimation of probable maximum precipitation for river basins in the Czech Republic. *Atmos. Research*, 77, 407–421.

- [9] Šercl, P., a kol 2003: Projekt QD 1368 „Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní“. Výroční zprávy za roky 2001 a 2002. Dílčí výstup V01. Praha, ČHMÚ.

Ing. Radovan Tyl, Ph.D.
Mgr. Tomáš Vlasák, Ph.D.
RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D.
Ing. Jan Kubát
Ing. Petr Šercl, Ph.D.
Český hydrometeorologický ústav
Na Šabatce 2050/17
143 06 Praha 4–Komořany
tyl@chmi.cz

VÝROBCE ZAŘÍZENÍ PRO ČIŠTÍRNÝ ODPADNÍCH VOD

- Přizpůsobíme se Vaším potřebám
- Vhodná zařízení pro ČOV všech velikostí
- Vysoké parametry za příznivou cenu
- Dodávky včetně návrhu, montáže a servisu

TISÍCE VÝROBKŮ PO CELÉM SVĚTĚ

FONTANA R, s.r.o.; Příkop 4, 602 00 Brno; tel.: +420 545 175 (850 - 855)
 fax: +420 545 175 (851, 852), Servis: +420 737 288 407
 e-mail: fontanar@fontanar.cz, web: http://www.fontanar.cz/

Podkovářská 6, 190 00 Praha 9
 Tel.: 222 531 605
 E-mail: obchod@ekosystem.cz
 www.ekosystem.cz

- Čištění komunálních i průmyslových odpadních vod
 Komplexní dodávky komunálních i průmyslových ČOV
 Výroba domovních biologických ČOV
- Úprava vody pro pitné i průmyslové účely
- Komplexní řešení ekologických zátěží
- Plastová výroba
 Technologické celky (odlučovače RL a tuků, filtry, provzdušňovače), univerzální plastové nádrže, zumpy, septiky, vodoměrné a kanalizační šachty

Realizace programu 129 120 Podpora prevence před povodněmi II v územní působnosti státního podniku Povodí Vltavy – 2. část

Ondřej Hrazdíra, Martin Poláček, Jiří Stratílek, Jan Šimůnek, Marta Šrámková

Protipovodňová opatření na Litavce – úsek Králův Dvůr – ř. km 2,828 – 5,820

Stavba navazuje na etapu protipovodňových opatření realizovanou v letech 2009 až 2010 v ř. km 5,821–7,120. Ochrana území je zabezpečena převážně výstavbou zemních homogenních hrází a železobetonových zdí s kamenným obkladem na obou březích koryta (foto 10 a 11). V technickém řešení je kladen větší důraz na environmentální aspekty, jako je např. rozvolnění břehové linie kynety toku, použití různých typů břehového opevnění

(v rámci obou břehů upravovaného koryta a po jejich délce se střídá kamenný zához s kamennou rovnáninou), opatření pro břehuli říční (realizace svislé gabionové břehové stěny s vloženými trubkami umístěnými kolmo na povrch zdi), umístění soliterních kamenů do dna kynety pro zajištění úplavů (foto 11 a 12). Součástí stavby jsou i protipovodňové úpravy na Počápejském, Dibřím a Suchomastském potoce zajišťující ochranu okolních pozemků a staveb před vzdutou vodou z Litavky.

V rámci stavby byla realizována kompletní přestavba silničního mostu přes Litavku

z důvodu nekapacitního průtočného profilu. Původní železobetonový most s nedostatečným průtočným profilem a nízkou položenou mostovkou byl nahrazen novým mostem o jednom poli s předpjatou železobetonovou konstrukcí mostovky na úrovni bezpečně převyšující hladinu Q_{100} (foto 9 a 10). Dále byly realizovány související vyvolané investice, jako přeložky dotčených podzemních sítí, přeložka chodníku a veřejného osvětlení, úpravy na vyústění dešťových kanalizací, náhradní výsadba za kácené dřeviny.

Stavba zabezpečuje ochranu přilehlé části území Králůva Dvora před stoletou povodní s kulminačním průtokem ve spodní části úpravy $Q_{100} = 327 \text{ m}^3/\text{s}$.

Společně s předchozí etapou je ochráněno území podél Litavky v celkové délce cca 4,3 km.

Stavba byla realizována v rámci podprogramu 129 123 Podpora protipovodňových opatření podél vodních toků.

Navrhovatel: Město Králův Dvůr

Investor: Povodí Vltavy, státní podnik

Projektant: Sweco Hydroprojekt a.s.

Zhotovitel: Metrostav a.s.

Celkový náklad: 150 mil. Kč

Termíny realizace: 11/2012–06/2014



Foto 9. Litavka, Králův Dvůr – bourání silničního mostu s nevyhovující průtočnou kapacitou



Foto 10. Litavka, Králův Dvůr – pohled po vodě na střední část úpravy s novým mostem



Foto 11. Litavka, Králův Dvůr – pohled po vodě na horní část úpravy



Foto 12. Litavka, Králův Dvůr – levý břeh s gabionovou zdí a vloženými trubkami pro hnězdění břehuli říční

Vltava, Český Krumlov – úprava jezu Jelení lávka, ř. km 282,490

Pro zvýšení průtočné kapacity v profilu jezu Jelení lávka byl původní pevný jez v délce 36,6 m odstraněn a nahrazen jezem pohyblivým (foto 13). Při levém břehu byla vybudována propust pro vodáky šířky 5,5 m, v jejíž kynetě jsou osazeny kartáče výšky 50 cm, které umožňují využití propusti i jako rybí přechod (foto 17). Na propust navazuje pevná část jezu o délce 7 metrů a dále pohyblivý hydrostatický sektorový uzávěr délky 40 metrů s hrazenou výškou 1,8 m. Sektorový uzávěr je konstruován jako tenkostěnný svařenec z ocelových plechů (foto 16). Ovládání jezu je umístěno v pravobřežním jezovém pilíři. Součástí stavby je rovněž lávka pro obsluhu umožňující z pravého břehu přístup k ovládací komoře v pravobřežním pilíři. Veškeré viditelné plochy spodní stavby a pilířů jezu jsou obloženy zdívkem z lomového kamene, povodní líc jezového tělesa je opatřen obkladem z dubových fošen. Stavba probíhala ve stísněných podmínkách města s historickou zástavbou a jediným, obtížným příjezdem na staveniště (foto 14 a 15).

Původní pevný jez způsoboval při zvýšených průtocích ve Vltavě značné vzdutí



Foto 13. Jez Jelení lávka – pohled na ukončenou stavbu, sektorový uzávěr ve vztyčené poloze

hladiny v nadjezí, a v důsledku toho byly zatápěny nemovitosti nad jezem již při průtocích cca 90 m³/s, což odpovídá přibližně jednoleté povodni. Nový jez je provozován pouze ve

dvou polohách – při běžných průtocích v plně vztyčené poloze se pohledově uplatňuje jako jez pevný. Pokud nastane povodňová situace a průtok vody v korytě Vltavy přesáhne



Foto 14. Jez Jelení lávka – stavba probíhala ve stísněných podmínkách města a historické zástavby



Foto 15. Jez Jelení lávka – jediný příjezd na staveniště, doprava částí jezové konstrukce



Foto 16. Jez Jelení lávka – jezový sektorový uzávěr ve výrobě



Foto 17. Jez Jelení lávka – osazování kartáčů do vodácké propusti, která slouží současně jako rybí přechod

neškodnou úroveň (přibližně při I. stupni povodňové aktivity), obsluha jezu odaretuje pohyblivé jezové pole a vypuštěním vody z tlačné komory jez sklopí do úrovně dna. Tím se ve srovnání s původním stavem zvýší průtočná kapacita jezu o otvor šířky 40 m a výšky 1,8 m. V důsledku toho poklesne při povodni hladina v nadjezí a zvýší se protipovodňová ochrana zástavby nad jezem. Úprava původního pevného jezu na pohyblivý spolu s navazujícími dříve realizovanými stavbami (úprava koryta nad a pod jezem) zajistí protipovodňovou ochranu intravilánu Českého Krumlova přibližně na pětiletou povodeň. Od záměru realizovat další dvě etapy protipovodňových opatření, po jejichž dokončení by bylo město Český Krumlov chráněno na stoletou vodu, městská samospráva ustoupila.

Stavba byla realizována v rámci podprogramu 129 123 Podpora protipovodňových opatření podél vodních toků

Investor: Povodí Vltavy, státní podnik

Projektant: VH TRES spol. s r.o.

Zhotovitel: Zvánovec a.s.

Celkový náklad: 49 mil. Kč

Termíny realizace: 01/2012–03/2014

VD Dráteník – zabezpečení vodního díla před účinky velkých vod

Vodní dílo Dráteník se nachází asi 15 km severně od Příbrami na Červeném potoce. Původní hráz vodního díla Dráteník byla vybudována v 17. století jako homogenní z místních materiálů, se sklonem vzdušního svahu 1 : 2 a návodního 1 : 1,5. Výška koruny hráze nad terémem činila cca 6,5 m. Po protržení hráze v roce 1872 nebyla hráz opravována až do r. 1950, kdy byla dále rozrušena velkými vodami a erozivním působením dešťové vody. V době od 1. 7. 1951 do 30. 4. 1953 proběhla rekonstrukce hráze. Při této rekonstrukci byl návodní svah opatřen šikmým jílovým těsněním o min. tloušťce 80 cm, chráněným 70 cm silnou šterkopískovou vrstvou a dlažbou 31 cm tlustou. Při katastrofální povodni dne 8. 7. 1954 došlo k opětovnému protržení hráze následkem jejího přelití. V letech 1957–1959 byla provedena další rekonstrukce hráze. Těleso hráze bylo doplněno v místě průřvy jílovitohlinitým materiálem. Návodní líc byl upraven, na něj uložen říční šterkopísek o tloušťce

25 cm, křemencová drť o průměru 15–40 mm v tloušťce 25 cm a betonové šestiúhelníkové tvárnice tloušťky 15 cm s kruhovým otvorem o průměru 10 cm.

Vodní dílo Dráteník je podle významu a potenciálního rizika ohrožení území pod vodním dílem zařazeno pro účely odborného technicko-bezpečnostního dohledu ve smyslu vyhlášky č. 471/2001 Sb. do III. kategorie, požadována míra ochrany, vyjádřená dobou opakování kontrolní povodňové vlny, je 1000 let. Kulminační průtok této kontrolní povodně činí 70 m³/s. V listopadu 2003 byl zpracován posudek bezpečnosti vodního díla při povodních. Cílem posudku bylo prověření, zda bezpečnostní a výpustná zařízení vodního díla z hlediska jejich parametrů, typu a stavu odpovídají současným nárokům na bezpečnost vodního díla. Z provedených výpočtů vyplynulo, že vodní dílo Dráteník nevyhovuje požadavkům bezpečnosti při povodních ve smyslu TNV 75 29 35 – „Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních“ (foto 18).

Z tohoto důvodu byla realizována nápravná stavebně-technická opatření, která zahrnovala zejména vybudování nového, sdruženého objektu vodního díla s bočními přelivnými hranami, spodními výpustmi a skluzem od přelivu zaústěným do vývaru v podhráží vodního díla. V návaznosti na vybudování sdruženého objektu vodního díla byla provedena rovněž úprava navazujícího úseku odpadního koryta. Součástí stavby bylo i navýšení koruny hráze vodního díla formou železobetonového průběžného vlnolamu výšky 1,75 m po celé délce hráze.

Nový sdružený objekt se nachází v hrázi vodního díla, v prostoru původních spodních výpustí a objektu ovládní uzavěrů. Původní konstrukce byla výstavbou sdruženého objektu zrušena a nahrazena novou (foto 19). Součástí realizace sdruženého objektu bylo důkladné zajištění stavební jámy, neboť konstrukce sdruženého objektu protíná celé těleso hráze. Došlo k demolici konstrukce původní spodní výpusti, realizaci železobetonového šachtového objektu nových spodních výpustí, realizaci objektu nového bezpečnostního přelivu, vývaru, přemostění v koruně hráze a ocelové lávky k objektu spodních výpustí. Provozní uzavěry spodních

výpustí byly navrženy a realizovány s možností elektrického ovládní. Proto byla zřízena z obce Komárov přípojka nízkého napětí vedoucí z levého břehu po koruně hráze a ocelové lávce na objekt spodních výpustí.

Další částí stavby zabezpečující vodní dílo bylo zvýšení úrovně koruny hráze vodního díla formou železobetonového průběžného vlnolamu výšky 1,75 m po celé délce hráze. Vlnolam je zapuštěn do násypu těsnícího jádra hráze do hloubky 1,00 m. Zřízení konstrukce nového vlnolamu vyvolalo rekonstrukci pochůzných ploch procházející po koruně zemní hráze. V průběhu stavby po vypuštění nádrže byl zjištěn havarijný stav původního bezpečnostního přelivu situovaného v levém zavázání hráze a bylo rozhodnuto přeliv rekonstruovat. Pro možnost realizace stavby byla na pravém břehu vybudována účelová komunikace napojená na korunu hráze vodního díla.

Stavba byla realizována v rámci podprogramu 129 124 Podpora zvyšování bezpečnosti vodních děl.

Investor: Povodí Vltavy, státní podnik

Projektant: Pöyry Environment, a.s.

Zhotovitel: Metrostav a.s.

Celkový náklad: 65 mil. Kč

Termíny realizace: 5/2009–11/2010

Ing. Ondřej Hrazdira
ondrej.hrazdira@pvl.cz

Ing. Martin Poláček
martin.polacek@pvl.cz

Ing. Jirí Stratílek
jiri.stratilek@pvl.cz

Ing. Jan Šimůnek
jan.simunek@pvl.cz

Marta Šrámková
marta.sramkova@pvl.cz

Povodí Vltavy, státní podnik
Holečkova 8
150 24 Praha 5



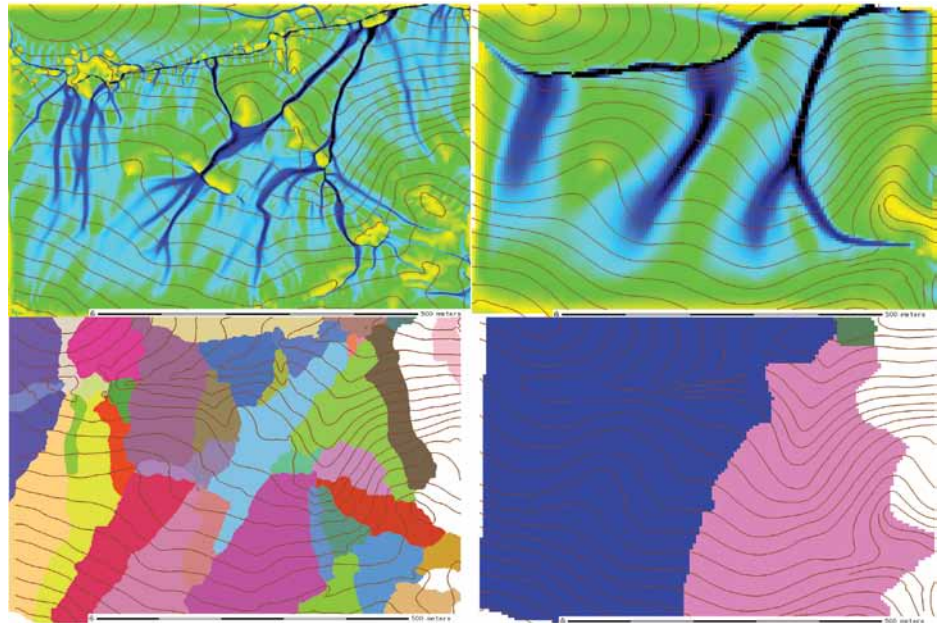
Foto 18. VD Dráteník – pohled z levého břehu na původní stav hráze



Foto 19. VD Dráteník – pohled proti vodě na dolní část sdruženého objektu umístěného v místě původní spodní výpusti, stav při výstavbě

Errata

V důsledku technického nedopatření byla část obrázku 4 ve článku *Digitální model reliéfu jako podklad pro návrh vodohospodářských opatření v pozemkových úpravách* (Mayer, Z.; Zemek, F.), zveřejněného ve *Vodním hospodářství* č. 3/2015, překryta šedou plochou. Autorům i čtenářům se omlouváme a obrázek přinášíme ještě jednou ve správné podobě.



Obr. 4. Rozdíly ve výsledcích funkce akumulace odtoku a určení dílčích povodí pomocí GIS. Vlevo DMR 4G, vpravo ZABAGED

NENECHTE SI UJÍT !

Co je to mokřad?

Libuše Vlasáková

Časopis *Vodní hospodářství* jako mediální partner konference *Mokřady v zemědělských krajinách – současný stav a perspektivy v Evropě* si dovoluje čtenářům účast na této akci vřele doporučit. O konferenci, která proběhne 11.–16. 10., poskytně informace autorka níže uvedené odpovědi na můj dotaz: **Co je to vlastně mokřad? Tento termín není dle mého dostatečně ukotven v českém právu. A jak je tomu ve světě?**

Mokřady zaujímají pozici mezi suchozemskými (terestrickými) a vodními (aquatickými) ekosystémy. Termín „mokřad“ je odvozen z anglického ekvivalentu „wetland“.

Jak je mokřad definován? Existuje více definic mokřadů a každá vždy odráží potřeby či účel, pro něž byla vytvořena. K definici mokřadů lze přistupovat dvěma odlišnými způsoby: založit ji (1) **na procesech, které**

podmiňují jejich charakter, nebo (2) na výčtu vnějších charakteristik, které tyto biotopy musí splňovat. První kategorie – funkční definice, jsou užívány obvykle v ekologickém kontextu, tedy pro potřeby studia a porozumění určujícím procesům, které v těchto ekosystémech probíhají. Výčtem charakteristik jsou mokřady definovány obvykle pro legislativní účely.

Z podstaty procesů charakteristických pro mokřady vychází definice, kterou uvádějí Mitsch et Gosselink (2000): *Mokřad je ekosystém, který vzniká, když v důsledku zaplavení vodou v půdě převládá anaerobní (přesněji anoxické) procesy, což vyvolá vznik adaptací živých organismů (převážně rostlin) na zaplavení.*

Do kategorie funkčních definic spadá také poněkud užší definice, která byla přijata v průběhu Mezinárodního biologického programu (IBP) (Westlake et al. 1988). Podle ní je mokřad definován jako: Území dominované specifickými druhy rostlin (makrofity), jejichž produkce se odehrává převážně v atmosféře nad vodní hladinou, a přitom jsou tyto rostliny zásobeny takovým množstvím vody, které by bylo nadbytečné pro většinu ostatní druhů vyšších rostlin s prýty ve vzdušném prostředí.

Ramsarská úmluva definuje mokřad celkem široce a současně obecně jako: „území bažin, slatin, rašelinišť i území pokrytá vodou, přirozeně i uměle vytvořená, trvalá či dočasná, s vodou stojatou či tekoucí, sladkou, brakickou či slanou, včetně území s mořskou vodou, jejíž hloubka při odlivu nepřesahuje šest metrů“.

Lze převzít i stručnou a výstižnou definici, kterou formuloval Patrick Denny – Mokřad

je sezonně nebo trvale podmáčená nebo mělce zatopená plocha, kde se běžně vytváří podmínky k rozvoji rostlin přizpůsobených k životu ve vodě.

Podle starších vymezení, která uvádějí Hejný et al. 1998 (např. Sjors 1948, Ratcliffe 1964) se za mokřady považují stanoviště, s hladinou podzemní vody blízko povrchu, na nichž se vegetace musí přizpůsobit více méně trvalému zamokření.

Z výše uvedeného lze vyvodit, že obecně jsou mokřady biotopy charakteristické výskytem mělké vody, jejíž hladina může během roku kolísat a jsou osídleny specifickou florou a faunou.

V České republice zaujímají mokřady asi 1,5 % plochy státu (údaj z r. 1999). Významnými mokřadními typy jsou u nás rybníky, říční nivy s vegetací lužních lesů a vlhkých luk a rašeliniště. Mokřady jsou rozšířeny po celém území České republiky od nížin do podhorského i horského stupně. Výskyt je vázán především na povodí větších řek a dále do vlhkých oblastí s rybníky a bažinami (např. Třeboňsko, Českobudějovicko, Kokořínsko, Poodří, Pomoraví, Podyjí).

Jak už bylo několikrát uvedeno, na mokřady je vázána typická vegetace, k jejímž ekologickým nárokům patří především vlhkost a úživnost prostředí. Najdeme zde druhy, které řadíme do rákosin a ostřic (např. puškovec obecný, třtina šedavá), vegetaci bahnitých substrátů (např. šmel okoličnatý a žabník kopinatý), pobřežní vegetaci potoků (vrbovka chlupatá, zblochan zoubkatý) aj. Ze živočišných druhů jsou na mokřady vázány různé druhy hmyzu, měkkýšů, ale i obratlovců – obojživelníci, plazi, ryby, ptáci a savci. Mokřady jsou ohromným zdrojem biologické rozmanitosti druhů.

Pro odpověď byly využity tyto podklady: text Ramsarské úmluvy, článek Význam mokřadů pro ovlivnění vodní bilance krajiny autorů Jan Pokorný, Richard Lhotský, 2006.

Mgr. Libuše Vlasáková, MŽP
Koordinátorka projektu Ochrana
a udržitelné využívání mokřadů ČR
Libuse.Vlasakova@mzp.cz



Typický obyvatel šumavských rašelinišť a vrchovišť (V. Stránský)



ZPRÁVY ČESKÉ VĚDECKOTECHNICKÉ VODOHOSPODÁŘSKÉ SPOLEČNOSTI

Výroční konference Operačního programu životní prostředí

Článek shrnuje průběh a zásadní informace z Výroční konference Operačního programu životní prostředí, která se uskutečnila dne 12. února v hotelu Barceló v Praze. Hlavní témata byla orientována na zkušenosti a zhodnocení přínosů Operačního programu životní prostředí v programovém období 2007–2013 pro Českou republiku a představení nového programového období 2014–2020 s důrazem na možnosti čerpání evropských dotací a první plánované výzvy.

Konference se zúčastnili především zástupci Ministerstva životního prostředí a Státního fondu životního prostředí ČR i další představitelé úřadů státní správy a dále zástupci profesních sdružení i vybraných žadatelů a příjemců podpory. Konference se zúčastnil i zástupce Evropské komise Christos Gogos, vedoucí skupiny DG REGIO/F2 – Česká republika. Za Svaz vodního hospodářství ČR byli na konferenci přítomni předseda představenstva RNDr. Petr Kubala a Ing. Jan Plechatý.

Úvodní vystoupení

V čestném předsednictvu konference přivítal účastníky konference v zastoupení ministra Ing. Jan Kříž, náměstek ministra životního prostředí – ředitel sekce fondů EU, který následně souhrnně zhodnotil přínosy Operačního programu Životní prostředí (dále jen „OPŽP“) a přípravu nového programového období. Především hodnotil uplynulý rok 2014 jako velmi úspěšný, protože díky akceleraci procesů administrace projektů na Státním fondu životního prostředí (dále jen „SFŽP ČR“) nakonec žádné finanční prostředky nepropadly do rozpočtu EU, přestože na začátku roku 2014 se odhadovala ztráta finančních prostředků ve výši 13 mld. Kč. Ke konci roku 2014 bylo dokončeno 11 223 projektů v objemu 60,4 mld. Kč.

Přednášející při hodnocení přínosů OPŽP např. uvedl oblast „zlepšení stavu povrchových a podzemních vod a zlepšení kvality dodávek jakostní pitné vody a snížení rizika povodní“, kde přínosy dokončených projektů od roku 2007 znamenaly:

- vybudování více než 54 % všech nově vybudovaných kanalizačních sítí v ČR,
- realizaci více než 46 % všech nových ČOV v ČR,
- snížení vypouštěného znečištění v ČR o cca 75 % v parametru BSK₅.

V roce 2015 končí dvouletý přesah (N+2) financování OPŽP 2007–2013. Stěžejním úkolem SFŽP ČR i příjemců podpory zůstává dokončit a profinancovat projekty z tohoto programu. Pro příjemce podpory to znamená i nadále co nejrychleji realizovat projekty a nechat si je profinancovat do konce letošního roku. Do konce roku 2015 to znamená vyčerpat ještě 37 mld. Kč, což je nejvíc od začátku programu. Lze očekávat, že počet dokončených projektů se bude blížit za celý program 20 000. Ke zvládnutí související administrativní zátěže byl počátkem roku 2014 na SFŽP ČR upraven systém administrace projektů a kontroly jejich přípravy a realizace. Naprostá většina projektů je nyní již ve fázi realizace nebo rozhodnutí o poskytnutí dotace, případně těsně před jeho vydáním, takže lze očekávat, že všechny finanční prostředky budou vyčerpány.

Dále se náměstek ministra Kříž zmínil o schvalování programového dokumentu OPŽP. MŽP zaslalo Evropské komisi tzv. 7. verzi programového dokumentu a konstatovalo, že všechny klíčové sporné části jsou dořešeny. Probíhají jen „fine tuning“ s Evropskou komisí a lze očekávat, že v červnu t. r. bude programový dokument schválen. Na stránkách www.opzp.cz je k dispozici aktuální verze programového dokumentu OPŽP, ve kterém je mj. uvedeno i detailní věcné zaměření prioritních os. Z hlediska plánované alokace finančních prostředků na jednotlivé prioritní osy (PO) uvedl údaje shrnuté v **tabulce 1**.

Poznámka autora: Vezmeme-li v úvahu, že součástí PO 3 jsou i projekty podporující termické zpracování kalů z ČOV včetně jejich energetického využití, a dále, že součástí PO 4 jsou mj. projekty ke zlepšení vodního režimu v krajině včetně revitalizace vodních toků, projekty rybích přechodů a též i projekty ke zlepšení hospodaření se srážkovými vodami, pak lze konstatovat, že **příští OPŽP věnuje problematice vody více než jednu třetinu alokovaných prostředků**.

Náměstek ministra Kříž představil další novinku – snahu o propojení OPŽP s takzvanými **integroványými územními investicemi** (ITI: Integrated Territorial Investment), což je nový nástroj kohezní politiky Evropské unie pro programové období 2014–2020. Jedná se o „investiční plán“, který vychází z rozvojové strategie území. Pro dosažení cílů tohoto plánu umožňuje ITI sdružovat finanční prostředky napříč několika prioritními osami jednoho operačního programu, a dokonce využít k financování i více operačních programů najednou. Mělo by to přispět ke komplexnějšímu řešení problémů v území a k ucelenějším investicím do oblastí s růstovým potenciálem. Kombinovat lze např. „tvrdé investice“ do infrastruktury s „měkkými projekty“. MŽP chce v tomto případě postupovat spíše obezřetně, neboť resortní prioritou stále zůstává péče o životní prostředí. Proto v nové podobě OPŽP bylo vyčleněno pro ITI jen půl miliardy korun. Integrované územní investice by měly být realizovány v největších metropolitních oblastech celostátního významu, a to na základě jejich vymezení ve Strategii regionálního rozvoje ČR 2014–2020. Jádry metropolitních oblastí jsou území s koncentrací nad 300 000 obyvatel. Podle programového dokumentu se jedná o aglomerace Praha, Brno, Ostrava a Plzeň, včetně jejich funkčního zázemí. Z hlediska koncentrace obyvatelstva jsou k těmto centrům přiřazeny Ústecko-Chomutovská, Olomoucká a Hradecko-Pardubická aglomerace. Integrované územní investice budou v OPŽP 2014–2020 využity v rámci prioritních os 1, 2 a 3 financovaných z Fondu soudržnosti.

V **úvodním bloku dále vystoupil zástupce Evropské komise Christos Gogos**. Vyslovil absolutorium současnému vedení MŽP i SFŽP za řízení OPŽP a úspěchy v čerpání finančních prostředků v roce 2014. Uvedl, že ztráta finančních prostředků z programu dosáhla v roce 2013 až 7,5 miliardy Kč a očekávaná ztráta pro rok 2014 byla téměř dvojnásobná. Stovky projektů čekaly na rozhodnutí o poskytnutí dotace a prakticky se nehýbaly z místa.

Vyzdvihl i ekologické přínosy projektů podporovaných z tohoto programu ve prospěch životního prostředí v České republice. Připomněl však, že k úspěšnému financování projektů z OPŽP 2014–2020 bude muset Česká republika ještě aplikovat nejen nový služební zákon, ale i další zákony, které implementují související směrnice EK, např. i zákon o veřejných zakázkách.

Odborný program konference

V **dalším bloku vystoupili odborní zástupci řídicího orgánu MŽP a zprostředkovatelského subjektu SFŽP ČR. Ke zhodnocení dopadů**

Tabulka 1. Plánované alokace finančních prostředků

Celková alokace	2,636 mld. eur
PO 1 – Zlepšování kvality vody a snižování rizika povodní	768,7 mil.
PO 2 – Zlepšování kvality ovzduší v lidských sídlech	453,8 mil.
PO 3 – Odpady a materiálové toky, ekologické zátěže a rizika	458,8 mil.
PO 4 – Ochrana a péče o přírodu a krajinu	351,7 mil.
PO 5 – Energetické úspory	529,6 mil.
PO 6 – Technická pomoc	73,8 mil.

akceleračních opatření v praxi vystoupil ředitel SFŽP ČR Ing. Petr Valdman. Uvedl několik konkrétních čísel, která dokumentovala zlom v administraci projektů mezi roky 2013 a 2014 – viz **tabulka 2**. Dokladoval i hlavní opatření pro akceleraci administrace v rámci „krizového řízení“ (**tab. 3**). Ředitel Valdman informoval i o přijatých organizačních, metodických a dalších interních opatřeních na SFŽP ČR.

Ředitel odboru fondů EU Ing. Jaroslav Michna v následujícím vystoupení informoval o problému „variability alokace OPŽP“, resp. proč se v průběhu roku 2014 zásadně měnily předpoklady ztráty dostupných prostředků ze zdrojů EU a dále informoval o strategii dočerpání zdrojů do konce roku 2015. Velký vliv na variabilitu alokace má např. dopad kurzových změn; uvedl příklad dubna roku 2012 a ledna 2014, kdy rozdíl kurzu CZK/EURu činil téměř 3 Kč, což způsobilo rozdíl v aktuální alokaci až 14 mld. Kč. Problematiku komplikuje i pravidlo EU, podle kterého nevyčerpané alokované prostředky v konkrétním roce se vrací (oproti národním zdrojům, které přecházejí do roku následujícího). Zásadou přitom je, že vystavené faktury v konkrétním roce musí být ještě v témže roce „certifikovány“ Ministerstvem financí. Zatímco v minulosti tato certifikace trvala i několik týdnů, někdy i měsíců, tak zásluhou resortní dohody a především nasazení příslušných pracovníků SFŽP ČR a Ministerstva financí ČR vysoko nad běžnou pracovní dobu podařilo se fakturaci včetně certifikace zvládnout tak, že prostředky se nevracely. Proto např. v uplynulém roce 2014 byl maximální termín pro předložení faktur dodavatelů „až“ 5. prosinec, aby byl předpoklad, že se vše do konce roku časově zvládne. K tomu však uvedl příklad, že zatímco do konce listopadu 2014 bylo v tomto běžném roce vyčerpano cca 17 mld. Kč, tak na konci prosince to bylo přes 31 mld. Kč!

Ke strategii MŽP a SFŽP ČR k dočerpání finančních prostředků v roce 2015 uvedl, že současné závazky, vycházející z akceptovaných projektů, převyšují roční alokaci prostředků. Je to s ohledem na předpokladané snížení fakturace po dokončení zadávacích řízení na zhotovitele a dále na reálná rizika odstupování od projektů a nedočerpání alokovaných prostředků (rezervy apod.). SFŽP ČR však bude pokračovat v tlaku na příjemce k dočerpání prostředků, vyhlásí další rychloobrátkové výzvy a bude pokračovat v akceleračních opatřeních.

K připravovaným výzvám na rok 2015 z OPŽP 2007–2013 vystoupila Ing. Lucie Pudivítová, Ph.D., vedoucí oddělení projektů OPŽP. Je vypsána LXIV. výzva s příjmem žádostí do 19. 3. 2015 s alokací 1,75 mld. Kč s požadavkem na dokončení projektu do 31. 12. 2015. Podporované aktivity se týkají Prioritní osy 3 a 4 a též Prioritní osy 6, mj. též na oblast podpory 6.4 – Optimalizace vodního režimu krajiny s alokací 200 mil. Kč. V dalších podrobnostech odkazují na webově stránky OPŽP.

Předběžný harmonogram výzev v OPŽP 2014–2020 na rok 2015 je rovněž uveden na webových stránkách OPŽP a týká se i vodo hospodářských projektů; celkem budou vyhlášeny výzvy za 24,149 mld. Kč. V tomto harmonogramu výzev na rok 2015 se předpokládá, že

- pro projekty specifického cíle (SC) 1.1 a 1.2 budou výzvy vyhlášeny v červenci až září; pro SC 1.1 ve výši 2,3 mld. Kč a pro SC 1.2 ve výši 0,82 mld. Kč,
- pro projekty SC 1.3 a 1.4 budou výzvy vyhlášeny v říjnu až prosinci; pro SC 1.3 ve výši 0,6 mld. Kč a pro SC 1.4 ve výši 0,2 mld. Kč.

Zásadou do budoucna je informovat veřejnost o harmonogramu výzev s alespoň ročním předstihem, po schválení Monitorovacího výborem v rámci tzv. Strategického realizačního plánu. Členem Monitorovacího výboru za Svaz vodního hospodářství ČR se stal předseda představenstva RNDr. Petr Kubala. Výzvy budou nastaveny tak, aby bylo zajištěno plynulé čerpání alokovaných finančních prostředků s ověřením splnění milníku, kterým je rok 2018.

Ing. Barbara Holková z oddělení přípravy nového programového období dále informovala ve větších podrobnostech o okruzích a specifických cílech jednotlivých prioritních os připravovaného OPŽP 2014–2020.

Pro prioritní osu 1 (PO 1) – Zlepšování kvality vody a snižování rizika povodní bylo celkem alokováno 21,3 mld. Kč (29,16 % celého programu) a vymezeny následující specifické cíle:

- 1.1 Snižit množství vypouštěného znečištěného do povrchových i podzemních vod z komunálních zdrojů a vnos znečišťujících látek do povrchových a podzemních vod (alokace 9,6 mld. Kč; 45 % PO1);
- 1.2 Zajistit dodávky pitné vody v odpovídající jakosti a množství (alokace 3,2 mld. Kč; 15 % PO);
- 1.3 Zajistit povodňovou ochranu intravilánu (alokace 6,4 mld. Kč; 30 % PO1);

Tabulka 2. Porovnání administrace projektů v letech 2013/14

	2013	2014
Dotace EU (vydaná rozhodnutí o poskytnutí dotace – RoPD)	21 mld. Kč	41 mld. Kč
Počet vydaných RoPD	3 525	6 447
Proplacené prostředky	15,1 mld. Kč	31,4 mld. Kč

Tabulka 3. Opatření pro akceleraci projektů

Problém	Řešení
Nedostatek rychle realizovatelných projektů k podpoře čerpání v roce 2014	Vyhlášení „rychloobrátkových“ výzev v první polovině roku 2014
Neplnění finančních predikcí ze strany příjemců	Intenzivní komunikace s příjemci a realizátory projektů
Projekty v zásobníku bez aktivity žadatelů	Oživení zásobníkových projektů
„Spící“ projekty s pomalou realizací	Intenzivní komunikace s příjemci realizátory

1.4 Podpořit preventivní protipovodňová opatření (alokace 2,1 mld. Kč; 10 % PO1).

- Podporovanými aktivitami v rámci PO 1, specifického cíle 1.1 bude:
- výstavba kanalizace za předpokladu existence vyhovující ČOV v aglomeraci, výstavba kanalizace za předpokladu související výstavby, modernizace a intenzifikace ČOV včetně decentralizovaných řešení likvidace odpadních vod (alokace cca 6,4 mld. Kč);
 - výstavba, modernizace a intenzifikace ČOV (alokace cca 2,1 mld. Kč);
 - odstraňování příčin nadměrného zatížení povrchových vod živinami (eutrofizace vod) – podporovaná pouze u vodárenských nádrží, nádrží koupacích vod a na přítocích do těchto nádrží (alokace cca 1,1 mld. Kč).

- Podporovanými aktivitami v rámci PO 1, specifického cíle 1.2 bude:
- výstavba a modernizace úpraven vody a zvyšování kvality zdrojů pitné vody, výstavba a dostavba přivaděčů a rozvodných sítí pitné vody včetně souvisejících objektů sloužících veřejné potřebě.
- Podporovanými aktivitami v rámci PO 1, specifického cíle 1.3 bude:
- zprůtočnění nebo zvýšení retenčního potenciálu koryt vodních toků a přílehlých niv, zlepšení přirozených rozvlivů;
 - hospodaření se srážkovými vodami v intravilánu a jejich další využití namísto jejich urychleného odvádění kanalizací do toků;
 - obnovení, výstavba a rekonstrukce, případně modernizace vodních děl sloužících povodňové ochraně,
 - stabilizování a sanace svahových nestabilit ohrožujících zdraví, majetek a bezpečnost vyplývajících z „Registru svahových nestabilit“.

Podporovanými aktivitami v rámci PO 1, specifického cíle 1.4 bude:

- analýza odtokových poměrů včetně návrhů možných protipovodňových opatření;
- budování, rozšíření a zkvalitnění varovných, hlásných, předpovědních a výstražných systémů na lokální i celostátní úrovni, digitální povodňové plány.

Obdobně jako v programovém období 2007–2014 mohou být příjemci podpory z PO 1 kraje, obce, dobrovolné svazky obcí, státní podniky, městské části hl. města Prahy, příspěvkové organizace a obchodní společnosti (v případě oboru vodovodů a kanalizací pro veřejnou potřebu společnosti, vlastněné z více než 50 % majetku obcemi a městy nebo jinými veřejnoprávními subjekty).

Podmínky pro provozování vodo hospodářské infrastruktury vodovodů a kanalizací budou v souladu s Přílohou č. 6 programového dokumentu OPŽP 2014–2020, který v zásadě „kopíruje“ podmínky „Podmínek přijatelnosti“ uvedené v Příloze č. 7 programového dokumentu OPŽP 2007–2013.

Problematiky „vody“ se dále týká prioritní osa 4 – Ochrana a péče o přírodu a krajinu, ve které byly vymezeny tyto specifické cíle:

- 4.1 Zajistit příznivý stav předmětu ochrany národně významných chráněných území;
- 4.2 Posílit biodiverzitu;
- 4.3 Posílit přirozené funkce krajiny;
- 4.4 Zlepšit kvalitu prostředí v sídlech.

Tento blok prezentací uzavřel Ing. Vojtěch Beneš, vedoucí metodického odboru SFŽP ČR. Především se zaměřil na přípravu administrace

žádostí v OPŽP 2014–2020 a plánované otevření programu žadatelům. Stručně seznámil přítomné s přípravou nového informačního systému, který zajišťuje Ministerstvo pro místní rozvoj. Popsal proces administrace žádostí, při které se SFŽP ČR zaměří v jednotlivých krocích postupně na kontrolu:

- formálních náležitostí žádosti,
- přijatelnosti projektu,
- věcného hodnocení a
- výběru projektů.

Dále informoval o přípravě dalších zásad budoucí administrace projektů, které budou zveřejněny na webových stránkách OPŽP pravděpodobně do konce března 2015 v tzv. „Pravidlech pro žadatele a příjemce“. Tento dokument nahradí stávající Implementační dokument, Závazné pokyny pro žadatele a příjemce a Směrnice. Žadatelé tam naleznou zejména pravidla pro stanovení výše podpory, podmínky pro uznatelnost nákladů (způsobilé výdaje), systém administrace

projektů a náležitosti žádosti. Přílohou Pravidel mají být i postupy pro zadávání veřejných zakázek pro projekty podporované z OPŽP.

Závěrem informoval, že na rozdíl od předchozího programového období bude uplatněno pravidlo N+3, to znamená, že financování projektů bude moci být uzavřeno až 3 roky po skončení programu, tj. až v roce 2023.

Odpolední blok programu konference byl výlučně orientován na prezentaci dokončených projektů podporovaných z OPŽP. Postupně své projekty představily města Vlašim, Turnov a obec Hošťálková.

Ing. Jan Plechatý
Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s.
 Nábřeží 4
 150 56 Praha 5 – Smíchov
 plechaty@vrv.cz

Obnova vodního díla Jordán v Táboře

1. Úvod, historie

Vodní dílo Jordán bylo podle dostupných pramenů uvedeno do provozu v roce 1492. Hlavním důvodem pro jeho výstavbu byla potřeba akumulace vody pro pitné i hospodářské účely rychle se rozvíjejícího města Tábor v době pohusitské. Téměř 20 m vysoká hráz byla ještě koncem 19. století jednou z nejvyšších sypaných hrází v Evropě. Významná je i retenční funkce vodního díla, které částečně chrání území pod hrází před povodněmi. Dalšími účely jsou rekreace a sportovní rybolov. Nádrž rybníka Jordán je stále záložním zdrojem jihočeské vodárenské soustavy, a jsou zde proto vymezena pásma hygienické ochrany. Od roku 1996 je rybník Jordán zapsán do seznamu Ústředního rejstříku kulturních památek ČR (č. 11059).

Rybník Jordán není pouze významným vodním dílem, ale koruna hráze slouží již dlouhou dobu jako velmi frekventovaná a prakticky nenahraditelná dopravní tepna spojující dvě části města Tábor. Dopravní nároky vyvolaly několik rekonstrukcí koruny hráze. Při rekonstrukci v roce 1817 došlo ke zvýšení koruny hráze a přes odpad od přelivu byl vybudován kamenný most. V roce 1829 bylo rozhodnuto o opravě hráze, která byla ve špatném technickém stavu. V roce 1830 byla proto nádrž naposled vypuštěna, byl proveden poslední výlov a nastalo období postupného zániku funkce původních dřevěných spodních výpustí. Kromě důležité dopravní teploty je ve vzdušné části koruny hráze veden nový kolektor, který slouží k propojení dvou městských částí různými médii (teplovod, plynovod, vodovod, elektrorozvody, telekomunikace a další). V návodní části koruny je vysazen na konzolové betonové konstrukci chodník.

Z hlediska bezpečnosti je rybník Jordán významným vodním dílem III. kategorie (ve smyslu § 61 vodního zákona).

V minulosti došlo k různým změnám zejména v horní části tělesa hráze, které vedly především k rozšíření koruny, aniž se situačně změnila poloha vzdušné paty. Důsledkem je stále strmější sklon vzdušného a dříve i návodního svahu, způsobující dlouhodobě snižování jeho stability, což podporuje i stále se zvyšující dynamické zatížení od projíždějících vozidel neomezené tonáže. Před realizovanou opravou měl vzdušný svah velmi odvázný sklon 1 : 1,3 až 1,4.

Od roku 1830, kdy byla nádrž rybníka Jordán podle dostupných pramenů naposledy vypuštěna, nemělo vodní dílo funkční spodní výpust, a nádrž tedy byla nevyhnutelná. Tato skutečnost byla v zásadním rozporu s vyhláškou č. 590/2002 Sb., o technických požadavcích pro vodní díla, v platném znění, kde se v § 6, odst. (7) uvádí, že „každá přehrada musí mít dvě samostatně použitelné, funkčně na sobě nezávislé spodní výpusti“ a že „hráz může být vybavena jednou spodní výpustí pouze ve výjimečném případě, je-li ovladatelný objem vody v nádrži do 1 mil. m³ a hloubka vody při maximální hladině vody a nehrazeném přelivu je max. 9 m nad úrovní dna vtoku do spodní výpusti“.

U rybníka Jordán byl jak objem nádrže, tak i maximální hloubka nádrže (v návaznosti na výšku hráze) vyšší a funkční spodní výpust již více než 180 let zcela chyběla. Jednalo se tedy o stav, kdy je vodoprávní úřad ve smyslu § 8 až 15 vodního zákona povinen uvažovat o zániku nakládání s vodou. Jinými slovy (podle dřívější terminologie) je na vodoprávním úřadu, aby v daném případě rozhodl o uvedení do neškodného stavu, protože bez spodních výpustí není zajištěna potřebná provozní bezpečnost významného vodního díla.

Z uvedených důvodů objednalo Město Tábor vypracování projektové dokumentace na výstavbu nové spodní výpusti a odbahnění nádrže u firmy VH Tres z Českých Budějovic. Projekt byl vypracován již v roce 2004, ale teprve v roce 2011 se podařilo zajistit na stavbu „Obnova rybníka Jordán“ potřebné finanční prostředky u Státního fondu životního prostředí. Stavba byla zahájena koncem roku 2011 a dokončena na konci července 2014.

2. Vybrané technické údaje o vodním díle

Rybník Jordán leží v intravilánu města Tábora. Vzdouvací konstrukcí je zonální zemní sypaná hráz postavená na Tismenickém potoce (těleso hráze je z jílovitopísčitých zemin, u původního návodního svahu jsou uloženy zeminy s vyšším podílem jílovitých částic).

Hlavní technické údaje (výškové kóty jsou uvedeny v systému Balt p. v.):

Mín. kóta koruny hráze	427,76 m n. m.
Kóta přelivné hrany (vrch stavidel)	424,15 m n. m.
Max. výška hráze ze vzdušné strany (ve střední části hráze)	19,5 m
Šířka hráze v koruně	10–11 m
Délka hráze v koruně	265,0 m
Kóta stálého nadržení	422,91 m n. m.
Objem stálého nadržení	2 250 000 m ³
Zatopená plocha při hladině stálého nadržení	44 ha
Kóta normální hladiny (vrch stavidel)	424,15 m n. m.
Objem při normální hladině	3 000 000 m ³
Zatopená plocha při normální hladině	50 ha
Původní sklon návodního svahu:	1:1,8–1,6 místy i strmější
Opevnění návodního svahu:	
– nad normální hladinou svíslá kamenná zídka a vodorovná lavice široká 2–3 m (pod konzolovým chodníkem)	
– pod normální hladinou šikmý zemní svah bez opevnění	
Sklon vzdušního svahu:	1 : 1,3–1:2
Opevnění vzdušního svahu:	vegetační pokryv; u koruny a v dolní části zčásti opeřné zdi

Spodní výpust

Spodní výpust byla od posledního vypuštění nádrže v roce 1830 mimo provoz. I přesto, že o přesnějším umístění spodní výpusti není zachována žádná dokumentace, se předpokládalo, že soustava někdejších výpustných potrubí v nejvyšší části hráze nepochybně existuje, ale je zanesena vrstvou sedimentů. Před výstavbou nové spodní výpusti na vodním díle Jordán byla nádrž nevyhnutelná.

Bezpečnostní přeliv

V roce 1971 proběhla výstavba nového bezpečnostního přelivu s předsazenou česlovou stěnou. Hrazený stavidlový bezpečnostní přeliv o třech polích je situován v pravém konci hráze. Stavidla jsou osazena v ocelové konstrukci. Zvedání všech tří stavidel je umožněno pomocí ovládacího mechanismu a cévové tyče. Úplný zdvih stavidel je 1,8 m, ovládání z lávky se zábradlím.

Délka přelivné hrany	5,7 m
Kóta přelivné hrany	424,15 m n. m.
Kóta pevného prahu pod stavidly	422,91 m n. m.
Výška stavidel	1,24 m
Šířka stavidla (všech stavidel)	1,9 m (5,7 m)
Maximální zdvih stavidel	1,8 m



Obr. 1, 2, 3. Zleva doprava: betonáž beztlakové štolý, proražení ze dna nádrže do tlakové štolý, pohled shora do šachty uzávěrů během stavby

Boční zdi za přelivem jsou z kamenného kvádrového zdiva spojovaného na maltu.

V dostatečné vzdálenosti před přelivem je umístěna půdorysně zalomená ocelová česlová stěna délky 15,5 m. Čištění česlí je umožněno z lávky se zábradlím.

Odpadní koryto od přelivu (za stavidly) prochází tělesem hráze přemostěným velmi kapacitním otvorem, na který navazuje přirozený skalní vodopád.

Odběrné zařízení pro sádky

Je umístěno cca v levé třetině délky hráze. Jedná se o ocelové potrubí DN 400 v hloubce asi 2 m pod normální hladinou, opatřené na vtoku košem a za ním uzavírané šoupátkem. Další uzávěry potrubí jsou umístěny na vzdušné straně. Vedle dodávky vody pro sádky bylo možné tímto objektem zčásti regulovat polohu hladiny v nádrži.

3. Popis stavby

Rozsáhlá stavební akce „Obnova rybníka Jordán v Táboře“ byla realizována v období 09. 2011 až 07. 2014, a to ve třech na sebe navazujících a zčásti se časově překrývajících etapách:

I. etapa měla podle projektu zahrnout vypuštění dolní části rybníka, slovení rybí osádky a chráněných živočichů a jejich přemístění do horní části nádrže, a hlavně výstavbu nové spodní výpusti včetně souvisejících objektů (beztlakovou štolu bylo možné razit odspodu, většinou bez ohledu na stav hladiny v nádrži).

II. etapa řešila odbahnění dolní části nádrže v předpokládaném objemu cca 138 000 m³.

III. etapa zahrnovala přepuštění vody z horní části do odbahněné dolní části a odbahnění horní části rybníka, a to v předpokládaném objemu cca 121 000 m³. Před úplným vypuštěním horní části nádrže měla být opět slovena rybí osádka a přemístěna do dolní části nádrže.

Stavba probíhala při postupném vypouštění nádrže a byla významně komplikována faktem, že vodní dílo nemělo žádnou funkční spodní výpust k vyprázdnění nádrže. Stavební akce byla významným zásahem do konstrukce hráze a měla přímé vazby na zvýšený rozsah technickobezpečnostního dohledu (TBD). Při provádění stavby se vyskytlo několik skutečností, které vedly ke změnám některých předpokládaných postupů stavby. Změny souvisely především s převáděním povodňových průtoků a existencí dočasné dělicí hráčky.



Parametry spodní výpusti

Nová spodní výpust je liniová převážně podzemní stavba, která umožňuje úplné vypuštění nádrže z jejího nejhlubšího místa. Je vedená obchvatem ve skalním masivu (většinou kvalitní syenit, místy s menšími tektonickými poruchami) mimo těleso hráze za jejím pravobřežním závazáním s konečným vyústěním vpravo od „vodopádu“ do Tismenického potoka.

Komplex dílčích objektů spodní výpusti postupně po toku zahrnuje:

- otevřené koryto ve dně nádrže,
- vtokový objekt tlakové štolý,
- tlakovou přívodní štolu světlého průřezu 2,54 m² a délky 40,3 m,
- objekt uzávěrů se vstupním nadzemním objektem a technologickým vybavením, s dvěma potrubími spodní výpusti o limitním průměru 2 x DN 500,
- beztlakovou odpadní štolu světlého průřezu 2,69 m² a délky 149,0 m,
- přirozený skalní vývar s předsazenými rozražeči pro tlumení kinetické energie vytékající vody.

Přehrazení nádrže po dobu výstavby (provizorní dělicí hráčka)

Výstavbu tohoto objektu si vyžádal požadavek orgánů ochrany přírody a životního prostředí, jehož záměrem bylo ponechat v jednotlivých etapách stavby vodní plochu pro přemísťování chráněných mlžů a rybí osádky z právě odbahňované prázdné části nádrže.

Uvedený požadavek byl vyřešen výstavbou zemní hráčky ve střední části nádrže pod úpravou vody Rytíř. Tato hráčka byla sypána při hladině snížené oproti normálu o 0,5 m, čelně od pravého břehu, bez možnosti řádného hutnění a do geologicky neznámého prostředí dna nádrže, nepochybně však do rozvolněného sedimentu. Hráz byla na návodní hraně těsněná štětovou stěnou, beraněnou souběžně se sypáním, a měla charakter stavební jímky v prostoru nádrže Jordán. Materiál hráčky byl hlinito-kamenitý, s kameny velikosti do 150 mm. V nejvyšší části byla napříč hráčkou uložena trubní výpust DN 500 mm. Tato výpust byla vytvořena pod ochranou příčných štětových stěn. Poblíž levého břehu byl zřízen v koruně hráčky průleh (nouzový přeliv), opevněný těžkým kamenným záhozem a dimenzovaný k převedení zvýšených průtoků Q_2 v průběhu stavby.



Obr. 4, 5. Postupné sypání dělicí hráčky (vlevo); dokončená dělicí hráčka plně zatížená vodou – srpen 2012 (vpravo)

4. Systém sledování stavby

Pro dobu akce „Obnova rybníka Jordán v Táboře“ předal vlastník (Město Tábor) vodní dílo rybník Jordán zhotoviteli i s povinností zajistit nad dílem zvýšený TBD. Zhotovitel stavby (Sdružení Jordán – DAICH s.r.o., Metrostav a.s., ZVÁNOVEC a.s.) zajistilo provádění TBD u pověřené organizace VODNÍ DÍLA – TBD a.s., která byla i autorem projektu kontrolních měření. Stavební práce (zejména výstavba štolý spodních výpustí) si vyžádaly rozsáhlý a organizovaný systém průzkumu, sledování účinků trhacích prací, ražby a v neposlední řadě i kontroly provedených prací. Pro zajištění některých specializovaných činností měl dodavatel stavby zajištěnu součinnost dalších odborných organizací (např. stavební laboratoře atp.). Měření a sledování různých veličin včetně kontroly kvality prací, které úzce souvisely s bezpečností vodního díla, byly zařazeny do systému TBD.

Na stavbě byl prováděn i geotechnický monitoring (GTM). Výkon TBD i GTM při této stavbě spolu úzce souvisely, a proto byl GTM rovněž začleněn do systému TBD. Potřeba provádět geotechnický monitoring (GTM) je dána především skutečností, že k provádění podzemních děl byla využita metoda NRTM (nová rakouská tunelovací metoda).

Zhotovitel stavby objektu spodní výpusti Metrostav a.s. zajišťoval provádění GTM po dobu stavby vedle organizace VODNÍ DÍLA – TBD a.s. prostřednictvím dalších specializovaných organizací, a to ARCADIS Geotechnika a.s. (geotechnický konzultant) a Bartoš – Engineering s.r.o. (specialista v oboru trhací práce a sledování jejich účinků).

Základní rozsah TBD a GTM po dobu stavby byl stanoven v „Programu TBD a GTM po dobu výstavby“ a obsahoval kromě vizuálních prohlídek a kontrol zejména:

- sledování provozních a povětrnostních poměrů na vodním díle,
- sledování průsakového režimu hráze VD Jordán,
- sledování úrovně hladiny vody v pozorovacích vrtech na hrázi VD Jordán (doplňených až v rámci stavby),
- měření svislých posunů kontrolních bodů na hrázi VD Jordán,
- měření svislých posunů kontrolních bodů v terénu nad štolou (poklesová kotlina),
- sledování spolupůsobení horninového masivu při ražbě (konvergenční měření),
- měření svislých posunů kontrolních bodů v záklenku provizorní obezdívky štoly,
- sledování deformací svahu nad šachtou,
- geologický sled zastiženého prostředí při ražbě,
- měření účinků trhacích prací,
- pasportizace objektů nad štolou (zejména obytné budovy) před a po stavbě,
- sledování kvality prací a zabudovaných materiálů,
- sledování průsakového režimu dočasné dělicí hrádky,
- měření vodorovných posunů kontrolních bodů na dělicí hráze.

5. Provozní poměry na vodním díle po dobu stavby

Jak již bylo zmíněno, stavba probíhala při postupném vypouštění nádrže a byla významně komplikována faktem, že vodní dílo nemělo žádnou funkční spodní výpust k vyprázdnění nádrže. V jednotlivých fázích stavby bylo k převádění vody přes profil hlavní hráze a k vypouštění nádrže využíváno několika zařízení:

- bezpečnostní přeliv (s dočasně vybouranou polohou přelivné hrany s cílem snížení hladiny asi o 0,5 m),
- původní odběrný objekt na sádky,
- speciálně zřízená provizorní násoska v profilu vodopádu z potrubí DN 300 mm,
- provizorní trubní odběr na sádky z horní oddělené nádrže,
- nová štola spodních výpustí v několika fázích rozpracovanosti (provizorní vstrojení, definitivní obezdívka, vrt do stropu štoly, převádění potrubím přes uzavěry),
- čerpání přes přeliv soustavou čerpadel.

Vzájemná bilance přítoku do nádrže a odtoku z nádrže byla zásadní zejména ve fázích, kdy ještě nebyla dokončena ražba šachty uzavěří a tlakové štoly. Záznamy o poloze hladiny vody v nádrži a v horní části nádrže před dělicí hrázi měly v těchto fázích stavby zásadní



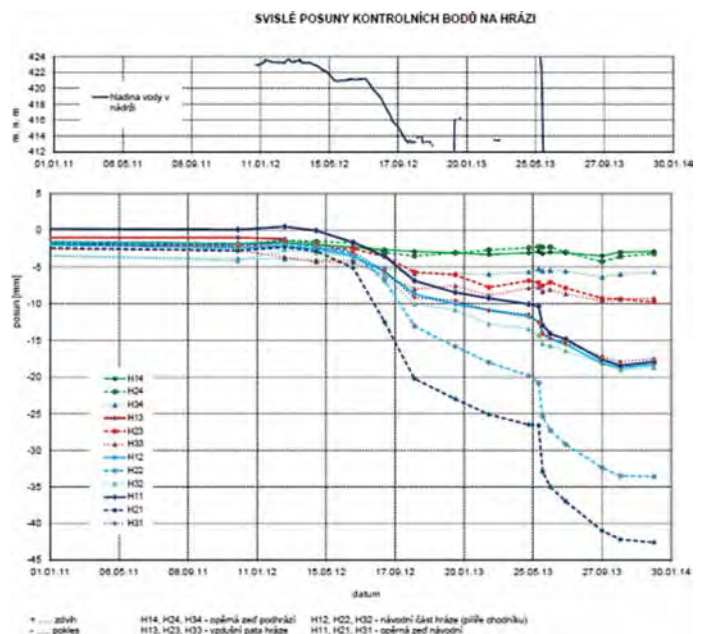
Obr. 6, 7, 8. Druhé a konečné protržení dělicí hráze při povodni v červnu 2013

význam. Provozní a povětrnostní poměry zásadně ovlivňovaly postup a termíny stavby. Ke dni 22. 11. 2012 byla nádrž téměř vypuštěna (zbýval jen mrtvý prostor).

Zásadní byly i skutečnosti převádění povodňových průtoků během stavby. Zde se negativně projevila existence vynucené dělicí hráze (požadavky ochrany přírody). Převádění povodňových průtoků přes profil dočasné konstrukce dělicí hráze bylo velice rizikové a bohužel došlo během stavby dvakrát k jejímu protržení (koncem prosince 2012 a začátkem června 2013). První protržení odnesla rybí obsádka, která prošla z horní do dolní nádrže a odtud vyraženou, ale dosud nedokončenou a tím neovladatelnou štolou do podhrází, a tím došlo k úhynu většiny ryb. Po druhém protržení již nebyla hráz znovu obnovována. Chránění živočichové (mlži) byly přesunuty na jinou lokalitu. Převádění povodňových průtoků přes vodní dílo během stavby bylo komplikováno i faktem, že v některých fázích stavby nebyly ještě dokončeny objekty umožňující regulaci odtoku z vodního díla (uzávěry spodních výpustí atp.). Při povodni na začátku června 2013 tak došlo k naplnění nádrže a následně jejímu neregulovanému vypouštění. Rychlé a neregulované vypouštění se negativně projevilo na stabilitě návodního svahu hráze. Tomuto zatížení nebyla hráz vodního díla nikdy v historii vystavena (viz dále).

6. Výsledky TBD po dobu stavby

Ražba podzemních objektů, tj. beztlakové štoly, šachty objektu uzavěří a tlakové štoly, probíhala bez výraznějších komplikací. Jedinou zásadní komplikací byla již popsaná závislost na provozních poměrech a převádění zvýšených průtoků přes staveniště. To mělo za následek neustálé úpravy harmonogramu stavby.



Obr. 9. Svislé posuny kontrolních bodů na hrázi

Při ražbě bylo zastiženo horninové prostředí zhruba tak, jak předpokládal projekt a geologický průzkum. Výsledky konvergenčních měření zavedených pro sledování spolupůsobení horninového masivu při ražbě byly příznivé a nebylo nutné zavádět žádná doplňující opatření ani výrazně upravovat navržené třídy vystrojení výrubu. V beztlakové štolě byly naměřeny konvergence do cca 1 mm, v tlakové štolě do 3 mm a v uzavěrové šachtě do 6 mm. Naměřené hodnoty odpovídaly profilu výrubu, zastižené geologii i hlavnímu zatížení a byly hodnoceny jako velice příznivé. Nikde nedošlo k překročení stanovených mezních hodnot. Z hlediska varovných stavů šlo o stav dostatečné bezpečnosti.

Příznivé byly i výsledky měření svislých posunů na kontrolních bodech na objektech v poklesové kotlině. Naměřené posuny se pohybovaly v hodnotách poklesu do 5 mm u bodů nejbližší trase štoly. Při ražbě tlakové i beztlakové štoly a při hloubení objektu uzavěrů se používalo trhacích prací, jejichž účinky bylo nutné monitorovat a minimalizovat. Při návrhu a provádění trhacích prací byla zohledněna ochrana horninového masivu před nadměrným porušením, ochrana zemní sypané hráze a ochrana kontaktu hráze s horninami v celém jejím podloží.

Ve smyslu ČSN 730040 – Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva bylo nutné při provádění trhacích prací uvažovat stupeň poškození 0 – bez poškození. Nevznikala žádná viditelná poškození. Funkce objektů, jako např. vodotěsnost nádrže, byly plně zachovány.

Systém kontroly provádění trhacích prací a dodržování stanovených parametrů byl zajišťován:

- úředními měřeními v určených staničních díla,



Obr. 14, 15. Odkrývání vtokové šachty starých spodních výpustí u návodní paty v pravé nejvyšší části hráze; na obrázku vpravo jsou ve dně šachty směrem doprava viditelné začátky dvou potrubí z jedlového dřeva, každá trouba byla geodeticky zaměřena do délky 82 m (TV kamera dostoupila u levé výpusti do 44 m, u pravé trouby do 27 m); průtočný průřez obou potrubí: $v = 60 \text{ cm}$, $\bar{s} = 40 \text{ cm}$; dřevo shledáno v dobrém technickém stavu (zkoušky DNA potvrdily, že dřevo pochází z konce 15. století); dole vlevo sanace šachty jílem a vpravo vodárenský objekt v horní části návodního svahu



Obr. 10, 11, 12, 13. Unikátní historická dřevěná konstrukce (s opěrným účinkem) hlavního středověkého vodárenského odběru s třemi vrtanými dřevěnými odběrnými potrubími kruhového průřezu. Umístěna je v návodním svahu v levé části hráze; vpravo a vlevo dole důvtipné detaily velmi zachovalé středověké dřevěné vodárenské konstrukce umožňující uzavírání a otevírání vtoků do potrubí; z potrubí se voda rozváděla do městských kašen a do vodárenské věže pomocí trčáků.

- monitorováním celého průběhu trhacích prací,
 - měřením akustických účinků v chráněném prostoru obytné zástavby.
- Trhací práce byly upravovány podle výsledku seismických měření zkušebních i dalších odstřelů, dosažené přesnosti a kvality výrubu. Po celou dobu stavby nepřekročily účinky trhacích prací (rychlosti kmitání) stanovené limitní hodnoty. Skutečnost, že trhací práce ani vlastní ražba neměly žádný nepříznivý vliv, potvrdila i provedená pasportizace objektů v terénu nad štolou po stavbě.

Relativně příznivé byly i výsledky měření svislých posunů kontrolních bodů osazených v několika příčných profilech na hrázi rybníka Jordán. Výsledky měření na většině bodů na tělese hráze byly v očekávaných mezích. Mírně vyšší než očekávané bylo sedání kontrolních bodů na návodní straně hráze. Po vypuštění nádrže docházelo k postupnému odvodnění tělesa hráze a k jeho konsolidaci. Postupné sedání hráze bylo způsobené změnou zatížení a nesouviselo ani s ražbou podzemních objektů ani s naměřenými deformacemi v poklesové kotlině.

Provizorní orientační měření svislých posunů bylo v červenci 2012 zavedeno i na koruně dělicí hrázky, a to v době, kdy začala klesat hladina v dolní části nádrže oproti horní části, čímž se zvyšovalo zatížení tělesa vodou nasycené a nezhutněné hrázky. Výsledky měření byly v mezích očekávaných hodnot a nesignalizovaly nebezpečí protržení hrázky, ke kterému později dvakrát došlo.

7. Původní spodní výpusti a vodárenské odběry a jejich sanace

Po úplném vypuštění nádrže a faktickém dokončení odbahnění byly v druhé polovině roku 2013 postupně odkryty tři technicky mimořádně zajímavé a zachovalé dřevěné objekty sloužící v minulosti (před rokem 1830) k vypuštění nádrže či odběru vody:

- 1) Hlavní vodárenský objekt v dolní části návodního svahu v levé části hráze, složený z unikátní zachovalé dřevěné konstrukce s důmyslným ovládacím zařízením v téměř celé délce svahu pro uzavírání a otevírání tří vrtaných dřevěných potrubí čapy.
- 2) Objekt spodních výpustí u návodní paty v pravé části hráze složený z vydržené vtokové šachty a ovládacího systému pro uzavírání a otevírání dvou složených dřevěných jedlových vypouštěcích potrubí pomocí čapů.
- 3) Vedlejší vodárenský objekt v horní části návodního svahu v levé části hráze s jedním vrtaným dřevěným potrubím uzavíraným čapem.

Při pečlivé archeologické dokumentaci byly spodní výpusti a historické vodárenské odběry polohově i výškově zaměřeny, potrubí byla vyčištěna tlakovou vodou a zcela zainjektována jílocementovou směsí. Dřevěné konstrukce vtoků a nepotřebné pohybovací mechanismy byly částečně odstraněny a částečně zabudovány přes ochrannou jílovou nepropustnou vrstvu (plombu) do šterko-kamenitého stabilizačního přísypu návodního svahu hráze.

8. Přesřetení a posílení stability návodního svahu hráze po povodni z června 2013

V červnu 2013 zasáhla rybník Jordán povodňová vlna, která způsobila náhlé napuštění nádrže a neřízené vypuštění nádrže přes nově vyraženou štolu spodních výpustí. Pokles hladiny nebylo možné regulovat, protože výpustný objekt ještě nebyl vybaven uzávěrovým zařízením. Tomuto zatížení nebyla hráz nikdy v historii vystavena.

Rychlé a neregulovatelné napuštění a vypuštění nádrže se negativně projevilo na stabilitě povrchových vrstev návodního svahu hráze. Vznikla nutnost zabývat se problematikou posílení stability návodního svahu hráze, která nebyla zahrnuta do projektu a rozpočtu stavby.

Byly provedeny dva průzkumné vrty z horní lavičky návodního svahu do hloubky až pod základovou spáru a zjištěny geotechnické vlastnosti zemin. Ve společnosti VODNÍ DÍLA – TBD a.s. byly provedeny příslušné výpočty a posudek stability pro různé zatěžovací stavy. Stabilita návodního svahu ani při jednom z normových zatížení nevyhověla kritériu minimálního stupně bezpečnosti dle ČSN 75 2310.

Výsledky výpočtů vedly k rozhodnutí stabilizovat návodní svah dvouúrovňovým kamenitým přísypem. Potřebné finanční prostředky zajistilo Město Tábor. Stavební práce se zrealizovaly ve dvou etapách ještě v rámci stavby „Obnova rybníka Jordán“. Spodní část násypu, ukončená lavičkou na průměrné kótě 417,30 m n. m., byla dokončena v prosinci 2013. Horní část, zakončená lavičkou na kótě 422,70 m n. m., byla realizována v první polovině roku 2014.

9. Závěry

1. Výstavbou objektu spodní výpusti došlo k vyřešení více než 180 let trvající nevypustitelnosti nádrže významného vodního díla III. kategorie, které nyní konečně splňuje požadavky platných vodoprávních předpisů.

2. Nová spodní výpust umožňuje manipulaci s hladinou v nádrži podle potřeb provozovatele a operativní předpřípravu potřebného



Obr. 16, 17. Podélné trhliny a sesuvy v návodním svahu po náhlém poklesu hladiny v červnu 2013



Obr. 18, 19. Postup práce na stabilizaci dolní části návodního svahu hráze koncem roku 2013



Obr. 20, 21. Postup práce na kamenitým stabilizačním přísypu v horní části návodního svahu hráze na jaře roku 2014



Obr. 22, 23. Vyústění štolu spodních výpustí s rozrazeči při provozní zkoušce v březnu 2014 a plně napuštěná nádrž s manipulačním domkem objektu uzávěrů v září 2014

prostoru v nádrži při prognóze mimořádných povodňových průtoků v Tismenickém potoce.

3. Ze dna nádrže byly odstraněny letité bahnitě sedimenty v celkovém objemu 260 000 m³ a tím definitivně vyřešeny i nejasnosti o obsahu válečné munice v nádrži. Nebezpečné pyrotechnické nálezy, jichž bylo oproti předpokladům projektu výrazně méně, byly vždy operativně zneškodněny.

4. Došlo k mnohým archeologickým objevům ukrytým pod sedimentem ve dně. Tyto objevy pomohou doplnit či poopravit dosa- vadní pohledy na historii města. V rámci těchto prací byly detailně zdokumentovány i unikátní historické dřevěné konstrukce pro odběr a vypouštění vody z nádrže, které byly donedávna ukryty pozornosti veřejnosti vzhledem k nevyhnutelné nádrži.

5. K dobrému výsledku a ukončení stavby ve stanoveném termínu přispěla souhra a dostatek pochopení všech účastníků stavby. Investor stavby (Město Tábor) vybral pro její řízení ve funkci správce stavby společnost VRV, a.s. Na každodenních technických nebo kontrolních dnech řešil kolektiv specialistů správce stavby se zástupci investora, dodavatelů, projektanta, TBD i přizvaných specialistů (archeologové, pyrotechnici, ochrana přírody atd.) aktuální problémy a stavební postupy.

6. Pravidelná činnost TBD (tj. zejména měření deformací všech objektů a jejich průběžné vyhodnocování) v celém průběhu stavby přispěla k operativním úpravám dílčích postupů a tím k prevenci možného výskytu poruch a anomálií na objektu spodní výpusti, na hlavní hrázi i na nejbližším okolí.

7. Celý projekt byl velice náročný a technicky složitý. Oprava historického vodního díla byla ztížena i tím, že se nedochovala úplná původní dokumentace díla, a proto byly při vlastní stavbě zdokumentovány i skutečné parametry a technický stav vodního díla.

8. V průběhu stavby nedošlo žádnou stavební činností k nevhodným zásahům, které by měly nebo mohly mít negativní následky pro stabilitu hráze, celkovou bezpečnost a provozní spolehlivost vodního díla.

9. Náhlé neovladatelné vypuštění nádrže po jejím úplném naplnění začátkem června 2013 potvrdilo obavy z nedostatečné stability návodního svahu hráze. Provedené výpočty a posudek stability vedly k operativnímu rozhodnutí Města Tábor o uvolnění dodatečných finančních prostředků na zmírnění sklonu návodního svahu dvou- stupňovým kamenitým přísypem. Na základě tohoto rozhodnutí bylo možné potřebný přísyp, který zajistí dostatečnou bezpečnost hráze do budoucna, realizovat ještě v rámci rozpracované stavby. Posílení stability návodního svahu má pro bezpečnost vodního díla jako celku značný význam, protože strmý vzdušný svah zůstal po stavbě

zachován beze změny.

10. Na závěr stavby došlo i na rekonstrukci objektu hrazeného bezpečnostního přelivu včetně přílehlých dlažeb a sanace průsaků ze stěn koryta injektáží.

11. Stavba „Obnova rybníka Jordán“ byla provedena ve velmi dobré kvalitě podle projektové dokumentace a schváleného rozpočtu s celkovými náklady 440 mil. Kč (bez dodatečně realizované stabilizační lavice na návodním svahu hráze, financované z prostředků Města Tábor).

12. Realizací stavby, zejména výstavbou spodní výpusti, se podařilo historické vodní dílo Jordán uvést do technického stavu, který zajistí spolehlivý a bezpečný provoz pro další generace. V současné době probíhá roční ověřovací provoz podle manipulačního řádu. Zatím jsou výsledky a všechny funkční zkoušky uspokojivé. Drobné nedostatky jsou operativně řešeny tak, aby bylo možné uvést rybník Jordán v předpokládaném termínu, tj. v polovině roku 2015, do trvalého užívání.

Literatura

- [1] Votruba L. a kol.: *Vodárenská nádrž Jordán*. Propagační brožura. Tábor 1986.
- [2] Vaclík D.: *Obnova retenční nádrže Jordán – 1. etapa spodní výpusti*, Projekt pro výběr zhotovitele stavby, České Budějovice 2005.
- [3] Richtr D.: *VD Jordán – zprávy o TBD během stavby*, Praha 2012–2014.
- [4] *Zápisy z technických a kontrolních dnů stavby*, Tábor 2012–2014.
- [5] *Referáty pracovníků společnosti VODNÍ DÍLA-TBD a.s.* Ing. Davida Richtra a Ing. Petra Smrže o obnově rybníka Jordán, Přehradní dny, Horní Smokovec 2014.
- [6] *Prezentace autora ze semináře ČVTVHS k tématu*, Praha 12. 2014.
- [7] *Vlastní fotodokumentace z různých fází stavby*, Tábor 2012–2014.

Ing. Jiří Poláček
VODNÍ DÍLA – TBD a.s.
Hyberská 40
110 00 Praha 1
polacek@vdtbd.cz
777 769 354

Návrhy plánů pro zvládnutí povodňových rizik byly zveřejněny – splní svůj účel?

Plánování v oblasti vod podle evropských směrnic finišuje. Na webových stránkách Ministerstva zemědělství a Ministerstva životního prostředí jsou od 22. 12. 2014 zveřejněny plánovací dokumenty, které byly sestaveny v souladu s principy plánování dle vodního zákona (§ 23 až 25) a v rámci implementace dvou zásadních směrnic Evropského společenství v oblasti vod (2000/60/ES – tzv. Rámcová směrnice a 2007/60/ES – tzv. Povodňová směrnice). **Veřejnost má do 22. 6. 2015 možnost se k nim vyjádřit**, vznést dotazy a písemně uplatnit své připomínky. Pro ulehčení orientace ve struktuře plánů a také jako doprovodný komentář k návrhům plánů pro zvládnutí povodňového rizika by mohl veřejnosti posloužit i tento článek. Nejprve pro přehlednost zrekapitulujeme, o jaké dokumenty se na třech hierarchických úrovních plánování jedná:

Úroveň mezinárodních oblastí povodí Labe, Odry a Dunaje
aktualizace *Mezinárodního plánu oblastí povodí Labe* (12/2014);
návrh *Mezinárodního plánu pro zvládnutí povodňových rizik v oblasti povodí Labe* (12/2014).

Tyto plány byly pořízeny pod koordinací Mezinárodní komise pro ochranu Labe (MKOL) a jsou zveřejněny na jejích webových stránkách. Na stránkách mezinárodních komisí pro ochranu Odry a Dunaje jsou zatím pouze plány mezinárodních oblastí povodí zpracované podle Rámcové směrnice v prvním plánovacím cyklu (2009), plány pro zvládnutí povodňových rizik podle Povodňové směrnice ještě zveřejněny nejsou.

Úroveň národních částí mezinárodních oblastí povodí (národní plány)

návrh *Národního plánu povodí Labe*;
návrh *Národního plánu povodí Odry*;
návrh *Národního plánu povodí Dunaje*.

Tyto plány ve druhém plánovacím cyklu podle Rámcové směrnice

pořídilo MZe a MŽP ve spolupráci se správci povodí a krajskými úřady.

návrh *Plánu pro zvládnutí povodňových rizik v povodí Labe*;
návrh *Plánu pro zvládnutí povodňových rizik v povodí Odry*;
návrh *Plánu pro zvládnutí povodňových rizik v povodí Dunaje*.

Tyto plány v prvním plánovacím cyklu podle Povodňové směrnice pořídilo MŽP a MZe ve spolupráci se správci povodí a krajskými úřady.

Úroveň dílčích povodí (10 dílčích povodí určených § 24 vodního zákona)

návrh *Plánu dílčího povodí Horního a středního Labe*;
návrh *Plánu dílčího povodí Horní Vltavy*;
návrh *Plánu dílčího povodí Berounky*;
návrh *Plánu dílčího povodí Dolní Vltavy*;
návrh *Plánu dílčího povodí Ohře, dolního Labe a ostatních přítoků Labe*;
návrh *Plánu dílčího povodí Horní Odry*;
návrh *Plánu dílčího povodí Lužické Nisy a ostatních přítoků Odry*;
návrh *Plánu dílčího povodí Moravy a přítoků Váhu*;
návrh *Plánu dílčího povodí Dyje*;
návrh *Plánu dílčího povodí ostatních přítoků Dunaje*.

Tyto plány byly pořízeny ve druhém plánovacím cyklu podle Rámcové směrnice správci povodí ve spolupráci s místně příslušnými krajskými úřady a ústředními vodoprávními úřady.

V ČR je obsah jednotlivých plánů a postup jejich zpracování upraven Vyhláškou MZe a MŽP č. 24/2011 Sb., o plánech povodí a plánech pro zvládnutí povodňových rizik. Z výše uvedeného souboru plánů je zřejmé, že v hierarchii plánování podle Povodňové směrnice chybí spodní článek – úroveň dílčích povodí. Tuto funkci plní tzv. dokumentace oblastí s významným povodňovým rizikem (DOsvPR), které na úrovni dílčích povodí obsahují potřebné podklady pro sestavení tří plánů pro zvládnutí povodňových rizik (PpZPR) na národní úrovni. Nutno dodat, že pojem dokumentace oblastí s významným povodňovým rizikem, které jsou zásadním stupněm plánování ke zvládnutí povodňových rizik, není uveden ani ve vodním zákoně,

ani v prováděcí vyhlášce č. 24/2011 Sb. a objevuje se až v příloze této vyhlášky, kupodivu nikoli jako součást plánu pro zvládání povodňových rizik, ale jako součást plánu dílčích povodí. Zpracované DOsVPR, kterých je v ČR celkem 187, jsou zveřejněny spolu s návrhy plánů dílčích povodí na webových stránkách správců povodí.

Plány pro zvládání povodňových rizik

Sestavení plánů pro zvládání povodňových rizik je třetí fází implementace směrnice 2007/60/ES o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik. V první fázi bylo provedeno předběžné vyhodnocení povodňových rizik (s termínem 22. 12. 2011), ve druhé fázi zpracování map povodňového nebezpečí a povodňových rizik (s termínem 22. 12. 2013). Zpracování plánů pro zvládání povodňových rizik má termín 22. 12. 2015, avšak návrhy plánů musí být zveřejněny k připomínkám a konzultaci s veřejností rok předem.

K tomu je třeba dodat, že z hlediska Povodňové směrnice se jedná o první cyklus její implementace, který se bude po šesti letech opakovat „přezkoumáním“ všech jejích fází, tedy předběžného vyhodnocení povodňových rizik, mapování povodňového nebezpečí a povodňových rizik, a zejména plánů pro zvládání povodňových rizik. Implementace Povodňové směrnice je věcně i časově koordinována s procesem plánování podle Rámcové směrnice, kde byl stanoven první termín pro zpracování plánů povodí na konec roku 2009 a jejich přezkoumání a aktualizace každých 6 let. Termíny zpracování obou druhů plánů jsou tedy vzájemně sladěny, ovšem v plánovacím procesu podle Rámcové směrnice se jedná již o druhý cyklus.

Plánování pro zvládání povodňových rizik je v souladu s Povodňovou směrnicí zaměřeno pouze na oblasti s významným povodňovým rizikem (VPR) – viz **tabulka 1**. V oblasti s VPR bylo na podkladě předběžného hodnocení povodňových rizik v ČR vymezeno celkem 187 a zahrnují téměř 2960 km vodních toků. Přehled počtu oblastí s VPR v jednotlivých dílčích povodích je v následující tabulce. V těchto oblastech bylo identifikováno celkem 990 obcí, které mohou být dotčeny povodní. V tabulce nelze obce v povodí Labe počítat, protože některé obce dotčené povodní na soutoku Labe a Vltavy se objevují ve více dílčích povodích (Mělník a další). V dílčích povodí ostatních přítoků Dunaje nebyla určena žádná oblast s VPR.

Metodické problémy plánů pro zvládání povodňových rizik

Metodika pro sestavení plánů pro zvládání povodňových rizik byla zpracována Výzkumným ústavem vodohospodářským TGM v.v.i., a projednána v mezioborovní pracovní skupině „Povodňová směrnice“. Metodika zohledňuje předepsaný obsah PpZPR uvedený v příloze Povodňové směrnice a rovněž v příloze vyhlášky č. 24/2011 Sb. Byly také zohledněny požadavky na reportování Evropské komisi podle v té době známých reportovacích šablon. Metodika byla ověřována zpracováním PpZPR pro pilotní povodí Jizery, které ovšem svým rozsahem odpovídá spíše větší oblasti s významným povodňovým rizikem. Zvolená podrobnost zpracování tohoto pilotního plánu není pro větší území PpZPR reálná.

S ohledem na to, že se jedná o první cyklus plánování podle Povodňové směrnice, nebyly do předložených návrhů plánů zařa-

zeny podkapitoly s hodnocením splnění cílů a realizace opatření z předchozích plánovacích dokumentů, a to ani z plánů oblastí povodí (2009). Obecně však cíle ochrany před povodněmi a správné postupy k jejich dosažení, definované v předchozích plánovacích dokumentech, zůstávají dále platné.

Plánování ve vodním hospodářství má ovšem v ČR dlouhou tradici a existovalo na dobré úrovni již před implementací evropských směrnic. Vždy bylo pojmáno komplexně, tedy včetně ochrany vod před znečištěním a ochrany před povodněmi. Proto i první plány oblastí povodí podle Rámcové směrnice (2009) byly koncipovány komplexně a obsahovaly v kapitole D problematiku ochrany před povodněmi a vodního režimu krajiny. Navazovaly na rámcové cíle ochrany před povodněmi vymezené v Plánu hlavních povodí ČR (2007) a zohledňovaly důsledky velkých povodní v roce 1997 na Moravě a 2002 v Čechách. Také nyní zveřejněné návrhy plánů dílčích povodí (2014) mají v kapitole V zařazenu problematiku ochrany před povodněmi, sucha a vodního režimu krajiny.

Vazby plánů dílčích povodí na plány pro zvládání povodňových rizik jsou tedy evidentní, avšak nikoli zcela jasné. Svůj podíl na tom má zřejmě i způsob, jak jsou principy plánování v oblasti vod zakotveny v české legislativě. Principy plánování podle Rámcové směrnice i podle Povodňové směrnice byly zapracovány do Hlavy IV novelizovaného vodního zákona a do navazující prováděcí vyhlášky o plánech povodí a plánech pro zvládání povodňových rizik. Zřejmě ve snaze co nejvíce provázat proces plánování podle obou evropských směrnic, byly příslušné legislativní pasáže seskupeny do společných paragrafů zákona a stejně tak jeho prováděcí vyhlášky. To je činí značně nepřehlednými s ohledem na to, že výsledným produktem mají být dva samostatné plány. Dokumentace oblastí s významným povodňovým rizikem jsou přílohou plánů dílčích povodí, ačkoli svým věcným obsahem náleží spíše k plánům pro zvládání povodňových rizik.

Patrně nejmarkantnějším znakem nesystémového přístupu je oddělení povodňového plánování v oblastech s významným povodňovým rizikem (DOsVPR a PpZPR) od plánování v ostatním území (kapitola V plánů dílčích povodí). Oddělení začíná již ve fázi stanovení cílů, pro něž se v § 12 prováděcí vyhlášky doslova uvádí:

(5) Cíle ke snížení nepříznivých účinků povodní stanoví zejména standardy ochrany před povodněmi pro území, která nejsou vymezena jako oblasti s významnými povodňovými riziky. Stanovené standardy ochrany území jsou podkladem pro návrh opatření do plánů povodí.

(6) Cíle pro zvládání povodňových rizik se stanoví pro jednotlivé oblasti s významným povodňovým rizikem s ohledem na zmírnění nepříznivých účinků povodní na lidské zdraví, životní prostředí, kulturní dědictví a hospodářskou činnost, a pokud se to považuje za vhodné, na nestrukturální opatření nebo snížení pravděpodobnosti zaplavení.

Nemyslím si, že bylo vhodné problematiku povodňové prevence a ochrany takto třístit. Oba druhy plánů se budou zřejmě do značné míry překrývat. Plány dílčích povodí se sice netýkají oblastí s významným povodňovým rizikem, avšak převážná část jejich kapitoly V má jistě obecnou platnost. Stanové cíle i navrhovaná opatření v jedné skupině lze jistě vztáhnout i na skupinu druhou, což ostatně některá navrhovaná konkrétní opatření v DOsVPR dokládají.

Sestavení plánů pro zvládání povodňových rizik

Pro třetí fázi implementace Povodňové směrnice se nepodařilo uvolnit mimořádné finanční prostředky z Operačního programu životní prostředí (OPŽP) tak, jak tomu bylo v případě mapování povodňového nebezpečí a rizik. V důsledku toho zabezpečovaly zpracování jednotlivých DOsVPR státní podniky Povodí ve vlastní režii, sestavení PpZPR pak zajistil Český hydrometeorologický ústav rovněž z vlastních prostředků. V rámci DOsVPR a PpZPR byly sice formulovány jednotným způsobem obecné cíle, nedošlo však ke stanovení konkrétních cílů pro jednotlivé řešené oblasti a jejich projednání s příslušnými obcemi.

Navrhovaná opatření ke zvládání povodňových rizik vychází z jednotného kata-

Tabulka 1. Přehled oblastí s významným povodňovým rizikem

	Dílčí povodí	počet úseků s VPR dle primárního hodnocení	počet dokument. oblastí s VPR	délka úseků v oblastech s VPR (km)	počet dotčených obcí
HSL	horní a střední Labe	27	33	794,0	330
HVL	horní Vltava	23	15	235,9	77
BER	Berounka	22	12	253,1	69
DVL	dolní Vltava	4	3	295,1	104
OHL	Ohře, dolní Labe a ostatní přítoky Labe	47	48	468,9	137
Labe		123	111	2047,0	705
HOD	horní Odra	16	10	182,3	42
LNO	Lužická Nisa a ostatní přítoky Odry	8	8	112,9	27
Odra		24	18	295,2	69
MOR	Morava a přítoky Váhu	67	32	396,6	135
DYJ	Dyje	58	26	220,7	81
Dunaj		125	58	617,3	216
Celkem ČR		272	187	2959,5	990

logu opatření požadovaného pro reporting Evropské komisi, ve kterém jsou opatření členěna do 5 kategorií podle aspektů zvládnání povodňových rizik – prevence, ochrana, připravenost, obnova a ostatní, z nichž každý aspekt je dále členěn podle způsobu zvládnání rizika. Již tento převzatý katalog není pro české podmínky příliš vhodný, což se projevuje např. v Mezinárodním plánu pro zvládnání povodňových rizik v oblasti povodí Labe ve srovnání počtu navrhovaných opatření v jednotlivých kategoriích v české a německé části povodí Labe.

Všechna opatření obsažená v plánech pro zvládnání povodňových rizik vychází z opatření navrhovaných v jednotlivých DOsVPR. Základní informace k nim jsou uvedeny na listech opatření, které jsou součástí dokumentace. Plány pro zvládnání povodňových rizik jsou tedy více méně pouhou sumarizací údajů obsažených v dokumentacích a nemohou přinést věcně nic nového. V zásadě jsou navrhovaná opatření členěna na opatření obecná, aplikovaná ve všech nebo většině oblastí s VPR, a opatření konkrétní pro jednotlivé (ale nikoli všechny) oblasti s VPR.

Obecná opatření ke zvládnání povodňových rizik

Ve všech DOsVPR byla jednotným způsobem stanovena stejná sada 7 obecných opatření. K opatřením je přiřazeno číslování vyjadřující aspekt a způsob zvládnání povodňového rizika podle jednotného katalogu opatření. Jde o tato opatření v rámci aspektu 1 – Prevence rizik a aspektu 3 – Připravenost:

- 1.1.1 Pořízení nebo změna územního plánu obcí (definování nezastavitelných ploch a ploch s omezeným využitím z důvodu ohrožení povodní);
- 1.1.2 Využití výstupů povodňového mapování (mapy povodňového ohrožení a povodňového rizika) jako limitu v územním plánování a územním řízení;
- 1.3.1 Zabezpečení ohrožených objektů a aktivit (zvýšení jejich odolnosti při zaplavení), snížení nepříznivých účinků povodní na budovy a komunální infrastrukturu;
- 1.3.2 Individuální protipovodňová opatření vlastníků nemovitostí (zamezení vniknutí vody, zajištění majetku, zajištění odplavitelných předmětů, odvodnění po povodni);
- 3.1.1 Zlepšení hlásné, předpovědní a výstražné povodňové služby (zřízení a modernizace srážkoměrných a vodoměrných stanic, lokální výstražné systémy);
- 3.2.1 Vytvoření nebo aktualizace povodňových plánů územních celků (digitální forma)
- 3.2.2 Vytvoření nebo aktualizace povodňových plánů nemovitostí.

Tato opatření jsou v povodí Labe navržena k uplatnění ve všech dotčených obcích, v dílčích povodích Moravy, Dyje a horní Odry ve vybraném souboru obcí. Jejich společným znakem je, že jejich nositeli jsou obce (případně kraje) a vlastníci nemovitostí, a nejsou vyčíslena nákladově. Svým způsobem jde o výzvu směřovanou k těmto subjektům, aby postupovaly dle platných předpisů a zásad povodňové prevence.

V dílčím povodí horní Odry je navíc formulováno dalších 8 opatření směřujících ke zlepšení připravenosti obcí a hasičských sborů pro případ povodní (ve všech obcích), a 2 individuální opatření k zabezpečení výstražné služby při úniku toxických látek za povodní. V dílčím povodí Ohře je navrženo 11 konkrétních opatření k vybudování hlásných profilů kategorie C v rámci lokálních výstražných systémů.

Konkrétní opatření ke zvládnání povodňových rizik

Do návrhu opatření v jednotlivých DOsVPR byla většinou převzata doposud nerealizovaná opatření z předchozích analýz, resp. programů, která jsou již částečně investorsky připravena a je předpoklad jejich realizace v průběhu příštího plánovacího období. Na listech opatření je uveden nositel opatření, kterým je většinou státní podnik Povodí nebo místně příslušná obec. U většiny opatření je uveden odhad nákladů a odkaz na doposud zpracovanou dokumentaci (pokud existuje). Ve většině případů však zatím nebyla vyhodnocena

Tabulka 2. Navržená opatření stavebního charakteru

	Dílčí povodí	2.2.1	2.2.2	2.2.4	2.3.1	2.3.2	2.3.7	celkem
HSL	horní a střední Labe	4		7	1	6		18
HVL	horní Vltava			3	2	1		6
BER	Berounka	1	3	1	1		1	7
DVL	dolní Vltava			1		4	1	6
OHL	Ohře, dolní Labe a ostatní přítoky Labe	4	1	3		2		10
Labe		9	4	15	4	13	2	47

	Dílčí povodí	1.2.2 1.4.1	2.1.2 2.1.11	2.2.1 2.2.2	2.2.4	2.3.1	2.3.2 2.3.8	celkem
HOD	horní Odry	4		6	5	2	10	27
LNO	Lužická Nisa a ostatní přítoky Odry			1				1
Odra		4	0	7	5	2	10	28

MOR	Morava a přítoky Váhu		5	5	1	5	11	27
DYJ	Dyje		3	2	1	2	10	18
Dunaj		0	8	7	2	7	21	45

jejich účinnost a ekonomická efektivnost, dopady na stav dotčených vodních útvarů, případně přeshraniční dopady. To bude třeba provést v další fázi přípravy. Priorita opatření byla stanovena odbornou úvahou zpracovatele, zpravidla podle úrovně připravenosti akce.

Konkrétní opatření stavebního charakteru jsou navržena v rámci aspektu 2 – Ochrana před ohrožením v těchto kategoriích (způsob zvládnání rizika):

- 2.2.1 Ovlivnění průtoků ve vodních tocích – výstavba suchých nádrží;
- 2.2.2 Ovlivnění průtoků ve vodních tocích – výstavba vodních nádrží;
- 2.2.4 Ovlivnění průtoků ve vodních tocích – úprava stávajících vodních děl;
- 2.3.1 Opatření v korytech vodních toků – zkapacitnění koryt vodních toků;
- 2.3.2 Opatření v korytech vodních toků – výstavba ochranných hrází podél koryt vodních toků (včetně mobilních prvků);
- 2.3.7 Opatření v korytech vodních toků – odlehčovací obtokové kanály.

V dílčích povodích Moravy, Dyje a horní Odry jsou navržena ještě konkrétní opatření v dalších kategoriích:

- 1.2.2 Prevence rizik – odstranění staveb ze záplavového území;
- 1.4.1 Prevence rizik – posouzení zranitelnosti objektů;
- 2.1.2 Management povodí a odtoku přírodě blízkými opatřeními – protierozní opatření v ploše povodí;
- 2.1.11 Management povodí a odtoku přírodě blízkými opatřeními – revitalizace vodních toků;
- 2.3.8 Opatření v korytech vodních toků – ostatní terénní úpravy.

Konkrétních opatření stavebního charakteru je v PpZPR navrženo celkem 120 (**tabulka 2**), nejvíce jsou preferována opatření s retenčním účinkem, konkrétně výstavba vodních a suchých nádrží, opatření ke zvýšení retence na stávajících vodních dílech, opatření ke zkapacitnění koryt vodních toků a ochranné hráže.

Plány pro zvládnání povodňových rizik rozhodně nejsou dotaženy na podrobnost a úroveň očekávanou v přijaté metodice. Na druhé straně, spolu s dokumentacemi oblastí s významnými povodňovými riziky, představují poměrně ucelenou sumarizaci současných představ o zvládnání povodňového rizika v řešených oblastech a mohou poskytnout návod, kam by se měly prostředky, které budou v budoucnu k dispozici, prioritně směřovat. Důležitá bude očekávaná fáze připomínkování a konzultací navrhovaných opatření s veřejností. Pokud budou zveřejněné návrhy pro tuto fázi dostatečným podkladem, pak splnily svůj účel. Jejich obsah a skladba navrhovaných opatření se bude na tomto základě dále upřesňovat.

Ing. Jan Kubát
Český hydrometeorologický ústav
Na Šabatce 2050/17
143 06 Praha 4–Komořany
kubat@chmi.cz



**vodní
hospodářství®**
**water
management®**

4/2015 ♦ ROČNÍK 65

Specializovaný vědeckotechnický časopis pro projektování, realizaci a plánování ve vodním hospodářství a souvisejících oborech životního prostředí v ČR a SR

Specialized scientific and technical journal for projection, implementation and planning in water management and related environmental fields in the Czech Republic and in the Slovak Republic

Redakční rada: prof. Ing. Jiří Wanner, DrSc. – předseda redakční rady, doc. RNDr. Jana Říhová Ambrožová, PhD., doc. Ing. Igor Bodík, PhD., Ing. Václav David, Ph.D., doc. Ing. Petr Dolejš, CSc., Ing. Pavel Hucko, CSc., Ing. Tomáš Just, prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc., Jaroslava Nietscheová, prom. práv., prof. Vladimír Novotný, PhD., P. E., DEE, RNDr. Pavel Punčochář, CSc., doc. Ing. Nina Strnadová, CSc., Ing. Jiří Švancara, RNDr. Miroslav Vykydal, Mgr. Veronika Vytečková

Šéfredaktor: Ing. Václav Stránský
stransky@vodnihospodarstvi.cz, mobil 603 431 597

Redaktor: Stanislav Dragoun
dragoun@vodnihospodarstvi.cz, mobil: 603 477 517

Objednávky časopisu, vyúčtování inzerce:
administrace@vodnihospodarstvi.cz

Adresa vydavatele a redakce (Editor's office):
Vodní hospodářství, spol. s r. o., Bohumilice 89,
384 81 Čkyně, Czech Republic
www.vodnihospodarstvi.cz

Roční předplatné 966 Kč, pro individuální nepodnikající předplatitele 690 Kč. Ceny jsou uvedeny s DPH. **Roční předplatné na Slovensko** 30 €. Cena je uvedena bez DPH.

Objednávky předplatného a inzerce přijímá redakce.

Expedice a reklamace zajišťuje DUPRESS, Podolská 110, 147 00 Praha 4, tel.: 241 433 396.

Distribuce a reklamace na Slovensku:
Mediaprint-Kapa Pressegrasso, a. s., oddelenie inej formy predaja, P. O. BOX 183, Vajnorská 137, 830 00 Bratislava 3, tel.: +421 244 458 821, +421 244 458 816, +421 244 442 773, fax: +421 244 458 819, e-mail: predplatne@abompkapa.sk

Sazba: Martin Tománek – grafické a tiskové služby, tel.: 603 531 688, e-mail: martin@tomanek.cz.

Tisk: Tiskárna Macík, s.r.o., Církvičská 290, 264 01 Sedlčany, www.tiskarnamacik.cz

6319 ISSN 1211-0760. Registrace MK ČR E 6319.
© Vodní hospodářství, spol. s r. o.

Rubrikové příspěvky nejsou lektorovány
Obsah příspěvků a názory v časopise otištěné nemusejí být v souladu se stanoviskem redakce a redakční rady.
Neoznačené fotografie – archiv redakce.

Časopis je v Seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v České republice. Časopis je sledován v Chemical abstract.

NENECHTE si ujít

Pá	So	Ne	Út	St	Čt	Pá	So	Ne	Út	St	Čt	Pá	So	Ne	Út	St	Čt	Pá	So	Ne	Út	St	Čt	Pá	So	Ne				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
		3.-5. 5. Rekreační chemie a ochrana přírody – s cílovým rukou v ruce! Brno, Konference. Info: jitka.fialova@mendelu.cz, 545 134 096				12.-14. 5. Zákon o vodách a o aktuálních změnách, ochrana vod a tvorba havarijních plánů. Seminář proběhne 12. 5. v Liberci, 13. 5. v Praze, 14. 5. v Brně. Info: jeni@inissoft.cz, 777 665 158.				19.-21. 5. VODOVODY-KANALIZACE. Veletrh. Praha. Info: www.vystava-vod-ka.cz.				29. 5. Odstanění zápachu, hygienizace kalu, odvodňování kalu. Webinář. Info: plotenym@asio.cz.				26. 6. Webinář - Průmyslové COV, Energie, OZE. Web. Info: www.asio.cz				29. 6.-3. 7. XVII. ročník konference České limnologické společnosti a Slovenskej limnologické společnosti. Zámek Mikulov. Info: www.limnospol.cz								
		1.-3. 6. XXI. Konference o separační chemii a analýze toxických látek. Lázně Bohdaneč. Info: www.2theta.cz				5.-6. 5. Radiologické metody v hydrosféře. Konference. Uherské Hradiště. Info: klara.kanska@ekomonitor.cz				20.-21. 5. Sedimenty vodních toků a nádrží. Konference. Bratislava. Info: www.zsvts.sk				18.-19. 6. Rybníky – naše dědictví i bohatství pro budoucnost. Konference. Praha. Info: vaclav.david@fsv.cvut.cz				10. 6. Podnikový ekolog. Rekrutovací kurz. Hradec Králové. Info: www.empla.cz				5. 6. Podnikový ekolog. Školení. Brno. Info: info@rovs.cz, 724 211 575.								
		9.-10. 6. Národní dialog o vodě. Fryšava pod Žákou horou. Info: pett_bouska@uvv.cz				10. 6. Podnikový ekolog. Rekrutovací kurz. Hradec Králové. Info: www.empla.cz				10. 6. Podnikový ekolog. Rekrutovací kurz. Hradec Králové. Info: www.empla.cz				10. 6. Podnikový ekolog. Rekrutovací kurz. Hradec Králové. Info: www.empla.cz				10. 6. Podnikový ekolog. Rekrutovací kurz. Hradec Králové. Info: www.empla.cz				10. 6. Podnikový ekolog. Rekrutovací kurz. Hradec Králové. Info: www.empla.cz								

Aby přehled akcí byl co nejpřehlednější, prosíme všechny organizátory různých konferencí, seminářů, školení, apod. týkajících se vodního hospodářství, aby nám o nich dali vědět na stransky@vodnihospodarstvi.cz.

KVETEN

ČERVEN



Mezinárodní výstava VODOVODY-KANALIZACE odpoví, jak na nové dotace či legislativu

Peněz bude výrazně méně a šanci na úspěch budou mít pouze ty projekty, které přinesou nejlepší efekt. Tak bude vypadat nové programové období Operačního programu Životní prostředí. To, jak se dotkne vodohospodářské infrastruktury, bude jedním z ústředních témat největší vodohospodářské akce v ČR – mezinárodní výstavy VODOVODY-KANALIZACE, která se uskuteční 19.–21. května 2015 na výstavišti v Praze-Letňanech.

O více než 21 miliard korun bude možné žádat na výstavbu a dostavbu vodovodů a kanalizací, výstavbu a intenzifikaci čistíren odpadních vod a výstavbu a modernizaci úpraven pitné vody v Operačním programu Životní prostředí v novém programovém období pro roky 2014–2020. „Pro potenciální žadatele je zajímavé, že oproti předcházejícímu programovému období bude možné podpořit opatření u všech obcí a měst, bez ohledu na jejich velikost a počet obyvatel či umístění v chráněném území,“ uvedl Petr Valdman, ředitel Státního fondu životního prostředí (SFŽP).

SFŽP odstartuje nové programové období Operačního fondu životního prostředí prvními soutěžními výzvami v druhé polovině tohoto roku. O tom, jak a na co bude možné žádat, se dozví účastníci mezinárodní výstavy VODOVODY-KANALIZACE pořádané Sdružením oborů vodovodů a kanalizací ČR (SOVAK ČR). „Pro žadatele připravujeme řadu zjednodušení zejména administrativního charakteru, ale ten

základní vzkaz pro všechny je následující – finanční prostředky jsou výrazně menší než v období 2007–2013 a šanci na úspěch budou mít pouze ty projekty, které přinesou nejlepší efekt,“ nastiňuje Petr Valdman.

Největší zájem? Výstavby kanalizací a čistíren

Na prioritní osu 1 – tedy zlepšování kvality vody a snižování rizika povodní – půjde nejvyšší alokace z celého Operačního programu Životní prostředí, více než 29 %, tedy přes 21 miliard korun. Do protipovodňové ochrany bude směřovat 8,5 miliardy korun, na oblast vodovodů a kanalizací je zaměřen tematický cíl 6: Ochrana životního prostředí a podpora účinného využívání zdrojů, s alokovanou částkou 12,8 miliard korun.

Dotace i legislativa

Mezinárodní výstava VODOVODY-KANALIZACE je největší oborovou akcí v České republice. Koná se jednou za dva roky. „Opět se i letos můžeme těšit na osvědčenou kombinaci široké přehlídky novinek, inovací, technologických zlepšení a aktuálních oborových informací, které v pořadí již 19. ročník přinese. V současné době je přihlášeno přes 150 přímých vystavovatelů z devíti zemí světa na ploše přes 5 000 m²,“ uvedl Aleš Pohl, ředitel společnosti Exponex, která výstavu organizuje. Oborové členění výstavy bude nově obohaceno o nomenklaturu Hospodaření s dešťovými vodami.

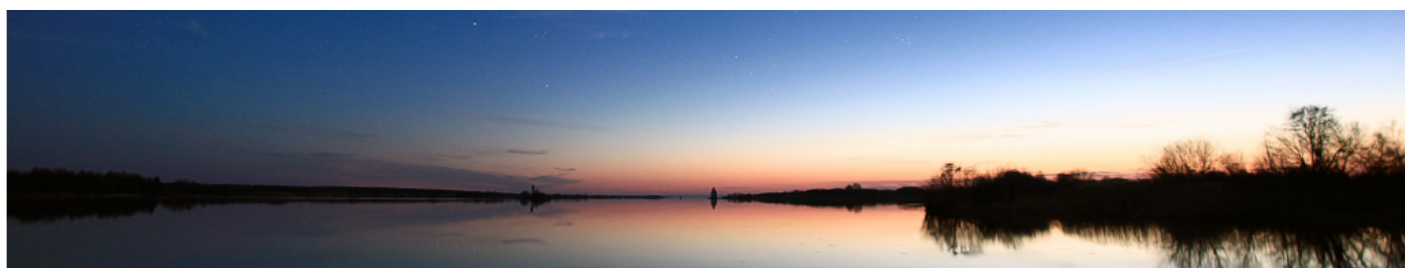
Více informací o výstavě VODOVODY-KANALIZACE naleznete na: www.vystava-vod-ka.cz

Hana Nečasová

tel.: 607 007 550

e-mail: hnecasova@ranochova.cz

ve středu **23. září**
se uskuteční **6. ročník odborné konference**
zaměřené na problematiku vodního hospodářství a krajinné ekologie



Voda a krajina 2015

Konference nabízí prostor nejen studentům doktorského a magisterského studia, ale také odborníkům z praxe na danou problematiku vodního hospodářství a krajinné ekologie. Cílem konference je interakce mezi studiem, vědou a praxí. Nabízí ideální příležitost pozvednout odbornou úroveň začínajících vědců i budoucích prakticky zaměřených vodohospodářů.

Více informací naleznete na storm.fsv.cvut.cz/voda-a-krajina



hydrotech

HYDROTECH s. r. o. nabízí:

- Čištění splaškových a průmyslových odpadních vod
- Vysokoučinné anaerobní technologie PAQUES
- Rekonstrukce a intenzifikace ČOV
- Řídicí systémy a softwarové vybavení
- Vybavení pro pravoúhlé i radiální dosazovací nádrže
- Čerpací stanice a úpravný vody
- Navrhování technologie
- Projekční práce všech stupňů
- Výrobu, dodávku a montáž technologie
- Uvedení do provozu
- Záruční a pozáruční servis
- Sledování a vyhodnocování provozu
- Poloprovozní zkoušky
- Provozování ČOV
- Návrhy financování
- Konzultační a inženýrské služby
- Stavby na klíč

vracíme vodě život...

<p>Sídlo společnosti HYDROTECH s.r.o. Tyršova 1132 664 42 MODŘICE tel.: +420 543 243 430 info@hydrotech.cz</p>	<p>Obchodní oddělení HYDROTECH s.r.o. Třebohostická 14 100 31 PRAHA 10 tel.: +420 261 305 280 rostik@hydrotech.cz</p>	<p>HYDROTECH a.s. Modranská 153 902 01 VINOŠOVSKÝ Slovensko tel.: +421 336 461 045 hydrotech@hydrotech.sk</p>
--	---	---

www.hydrotech-group.com

**Dodavatel technologických celků
čistření odpadních vod a úpraven vody**

envi-pur

Mechanické předčištění

- » Hrubé česle DEFENDER
- » Jemné česle MI, MID, SP
- » Rotační bubnová síta EMD, VERSA
- » Krokové česle
- » Česle pro malé aplikace MINISCREEN
- » Separátory písku a šterku MN
- » Separátory písku s pračkou MN-FW

Kombinované multifunkční jednotky

- » Česle a separátor písku M2, TOP2
- » Volitelná separace tuků TOP3
- » Volitelné prací systémy M2, TOP
- » Stanice příjmu fekálních vozů M

Nakládání s kalem a lisování shrabků

- » Zahušťovací a odvodňovací zařízení XMD
- » Šnekové dopravníky MND
- » Šnekové lisy MD, MD-W



Rotační bubnové síto EMD VERSA



Separátor písku s pračkou MN-FW



Kombinovaná jednotka TOP2



Zařízení pro zahušťování kalů XMD

ENVI-PUR, s.r.o. www.envi-pur.cz

Sídlo společnosti:
Na Víčkovce 13/4, 160 00 Praha 6
info@envi-pur.cz

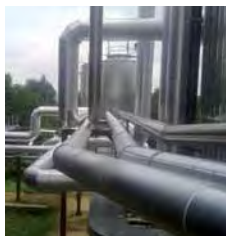
Hlavní kancelář a výroba:
Wilsonova 420, 392 01 Soběslav
tel.: 381 203 211

ČESKÁ VODA
CZECH WATER



**HLAVNÍ ČINNOSTI
SPOLEČNOSTI**

- » Komplexní dodávky technologických celků (úpravný vod, čistírny odpadních vod, technologické objekty na vodovodních a kanalizačních sítích)
- » Zajišťování činnosti údržby včetně provádění oprav
- » Technické poradenství
- » Montáže vodoměrů
- » Doprava, náhradní zásobování vodou, dovoz vody



Česká voda – Czech Water, a. s.,
Ke Kablo 971, 102 00 Praha 10
tel.: 272 172 103, fax: 272 705 015
e-mail: info@cvcw.cz, www.cvcw.cz

by **VEOLIA**

**Akumulátorové dávkovací zařízení
ADS-38-TC**



ADS-38-TC umožňuje dávkování zejména v těžko přístupných terénech bez elektrického vedení. Je určeno pro dávkování desinfekčních přípravků pro úpravu vody (např. chlornam sodný nebo Savo). Napájení je pomocí 12V akumulátoru. Zařízení obsahuje:

- dávkovací čerpadlo IWAKI HRP-54V-1
- řídicí jednotku RJDC 01
- panel a napájecí kabel

**SKLADEM
V PRAZE!**

Katko

Kancelář a sklad: K Safině 145,
149 00 Praha 4 – Hrnčiče
IČO: 27179354, DIČ: CZ27179354

e-mail: info@katko-cerpadla.cz; web: www.katko-cerpadla.cz
tel.: +420 296 826 055, +420 602 747 744

Poznamenejte si!



VODOVODY-KANALIZACE

19. mezinárodní vodohospodářská výstava

VODOVODY-KANALIZACE

19.-21. 5. 2015
Praha, Letňany

Záštita:



MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ



MINISTERSTVO
PRŮMYSLU A OBCHODU



www.vystava-vod-ka.cz

Pořadatel a odborný garant:



SDRUŽENÍ OBORU VODOVODŮ A KANALIZACÍ ČR

Organizátor:



DOPROVODNÝ PROGRAM

19. 5. 2015

Odborný garant: **Ministerstvo zemědělství ve spolupráci se Svazem vodního hospodářství**
Plánování v oblasti vod: Příprava národních plánů povodí pro období 2015
Úprava regulování oborů vodovodů a kanalizací
Opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha
Představení Programu rozvoje venkova ve vztahu k hospodaření s vodou v povodích
Ochrana vodních zdrojů – opatření k snížení používání pesticidů

20. 5. 2015

Odborný garant: **Odbor ochrany vod Ministerstva životního prostředí**
Nová legislativa v oblasti nakládání s komunálním odpadem
Opatření k zvládnutí povodní
Možnosti aplikace hospodaření se srážkovými vodami ve stávající zástavbě
Operační program Životní prostředí 2014–2020

21. 5. 2015

Odborný garant: **Asociace pro vodu ČR (Ministerstvo průmyslu a obchodu)**
Programy podpory pro inovativní technologie a výroby
Řešení obcí do 2000 EO
Využití membránových procesů při čištění odpadních vod
Energie z odpadních vod
Železo ve všech formách a nové možnosti jeho použití při čištění průmyslových vod
a vod s obtížně rozložitelnými organickými látkami
Prezentace výrobků přihlášených do soutěže o nejlepší výrobek