

VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

VTEI/2018/2

14/ Principy přístupu k řešení optimalizace ochrany vody a půdy v subpovodích řeky Svatky
38/ Preference Čechů pro adaptační opatření ke zmírnění dopadů povodní a sucha
46/ Rozhovor s ředitelem Znaleckého ústavu bezpečnosti a ochrany zdraví
RNDr. Mgr. Petrem A. Skřehotem, Ph.D.

Nebeské fotografie

Jsem nebeský fotograf. Specializuji se na leteckou fotografii, více jak deset let vytvářím archiv vlastních leteckých snímků především z České republiky. Jsem nadpozemsky zamilován do Vltavy. Je nádherná v každé své části. Na Šumavě svou hrdost sbírá, na Lipně sílí, na Čertových proudech své bouřlivé mládí předvádí. U Českých Budějovic posilněna Malší dospívá. Dlouho její divokost hlídají skály. U Mělníka se s Labem vznešeně zasnoubí. Dva prameny v šumavských kopcích má, více jak 430 km po naší zemi sem a tam utíká, přes kilometr se spouští. V mlhách s oblibou a často tančí. Nejen z nebeského pohledu je nezaměnitelná a nepřehlédnutelná. Ráda se ukazuje a má co.

Žádná jiná česká řeka není tolika hrady a zámky lemována. A jak si mosty užívá! Nejstarší i novější. Dřevěné, ocelové, kamenné i betonové, nízké i vysoké. Občas ji vítr na přehradních nádržích vysoké vlny vyčesá. Je temná, v hlubinách tajemství skrývá. Je barevná, nevychovanými přítoky po deštích přibarvená. Je silná, vždyť tolik turbín roztáčí. A přestože větší, nakonec své vody Labi pokorně přenechá. Ta Vltava. Naše divoká dáma.

Jiří Jiroušek



Obsah



3 Úvod

4 Posouzení funkčních objemů vodního díla Vír I na aktualizovaná vstupní data

Daniel Marton, Miloš Starý

8 Stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků v podmínkách ČR

Pavel Balvín, Adam Vizina



14 Principy přístupu k řešení optimalizace ochrany vody a půdy v subpovodích řeky Svatavy

Jana Konečná, Petr Karásek, Petr Fučík, Jana Podhrázká,
Roman Hanák, Stanislav Ryšavý, Lukáš Sýkora, Petr Doležal,
Michal Křiška, Michal Pochop, Josef Kučera, Svatava Křížková

24 Informace o ORAM

Jiří Šajer

30 Trendy vývoje koncentrací fosforu v nádržích Orlík a Slapy

Josef Hejzlar, Jiří Jarošík, Jiří Kopáček, Yuliya Vystavna



38 Preference Čechů pro adaptační opatření ke zmírnění dopadů povodní a sucha

Iva Zvěřinová, Milan Ščasný, Zuzana Rajchlová

45 Autoři

46 Rozhovor s ředitelem Znaleckého ústavu bezpečnosti a ochrany zdraví

RNDr. Mgr. Petrem A. Skřehotem, Ph.D.

Alžběta Petránová



49 Voda v kulturách starého Peru

Jiří Veselský

55 ČVTVHS, z. s., v roce 2017

Václav Bečvář



Vážení čtenáři,

rád bych navázal na úvodník VTEI číslo 5/2017, který byl posledním, jenž napsal ředitel VÚV TGM. Po krátké přestávce máme možnost se k této tradici opět vrátit a pro mne osobně je ctí, že mohu navazovat nejen na úvodníky svého předchůdce, ale i na celkové reprezentování našeho ústavu.

Je obvyklým pravidlem, že vize a zavedené postupy se s novým vedením mění, ale jistě budete se mnou souhlasit, že v případě VTEI změn není potřeba. Pokud Vy, čtenáři, nebudete úpravy vyžadovat, tak stávající struktura i obsah zůstanou beze změny. Pohled z okna mi však připomíná, že nic nemusí být nastálo. V době, kdy jsem byl požádán o napsání úvodníku, bylo rameno Vltavy zamrzlé a mohl bych po ledu bez problémů přejít.

Nyní, po několika dnech, když jsem se k psaní dostal, dalo by se venku chodit v tričku. Je to malé upozornění přírody, že stále drží otěže v rukou ona a naše projekty a výzkum jsou jen kapkou v moři možností, které máme ještě před sebou. Doufám, že články, které dnes držíte v rukou, budou tou klíčovou kapkou, která Vám pomůže spustit vodopád nápadů a inovací, které byste rádi ve svém profesním životě realizovali.



Ing. Tomáš Urban
ředitel VÚV TGM, v. v. i.

Posouzení funkčních objemů vodního díla Vír I na aktualizovaná vstupní data

DANIEL MARTON, MILOŠ STARÝ

Klíčová slova: funkční objem — nádrž — Vír I — zásobní funkce nádrže — ochranná funkce nádrže

SOUHRN

Cílem příspěvku je přednést výsledky studie, která měla za úkol posouzení účinnosti funkčních objemů nádrže Vír I na aktualizovaná vstupní data. Studie byla zaměřena na přepočet zásobního objemu, zabezpečení nalepšeného odtoku vody z nádrže a na posouzení ochranného objemu nádrže. Řešení zásobního objemu nádrže bylo provedeno pomocí reálných průtokových řad maximální dostupné délky měření a umělých průtokových řad. Přepočet ochranné funkce nádrže byl proveden pro teoretické povodňové vlny odvozené klasickou metodou a pomocí metody podmíněné pravděpodobnosti. Zadání vycházelo z požadavku aktualizace výpočtu uvedených veličin s ohledem na prodloužení délky měřených vstupních hydrologických podkladů, zejména pak s přihlédnutím na sucho z roku 2015 a extrémní povodně posledních let.

ÚVOD

Poslední roky ukazují, že problém sucha se výrazně týká i některých regionů České republiky. V minulosti se hojně řešila problematika povodní a protipovodňové ochrany. Opačný extrém byl v pozadí. Dnes je však sucho stejně vážným tématem stejně jako v minulosti povodně. Poslední roky patří mezi nejteplejší v celé historii meteorologických pozorování. Na mnoha místech ČR byly pozorovány výrazné poklesy hladiny vodních toků. Na významných tocích se opětovně objevily hladové kameny, jedny z nejstarších informátorů o suchých obdobích v českých zemích. Zásoby podzemních vod byly a stále jsou pod dlouhodobými normály. Některé vodní nádrže musely kvůli problémům s nedostatkem vody přistoupit k mimořádným manipulacím. Nezapomínejme však, že možnost povodňového nebezpečí je stále přítomná, a je jí třeba věnovat pozornost. Proto úlohy spojené s přehodnocením funkčních objemů nádrží z pohledu aktuálních hydrologických problémů jsou vysoce aktuální. Počítá s ním i vládní dokument Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR [1], který si problematiku posouzení funkčních objemů stávajících nádrží vytyčil jako jeden z mnoha cílů adaptačních opatření v boji proti změně klimatu.

Předmětem příspěvku je prezentace výsledků studie, která měla za úkol přepočet účinností funkčních objemů nádrže Vír I. Výpočty byly zaměřeny především na výpočet nalepšeného odtoku vody z nádrže ze stávajícího zásobního objemu nádrže při zadané zabezpečení odtoku a na posouzení ochranného účinku nádrže. Zadání vychází z požadavku podniku Povodí Moravy, s. p., na aktualizaci výpočtů uvedených veličin s ohledem na prodloužení délky měřených vstupních hydrologických podkladů. Přesněji aktualizaci řady průměrných měsíčních průtoků, tak aby zahrnovala suché epizody z devadesátých let minulého století, z roku 2014 a především z roku 2015.

Dále aktualizaci hydrogramů povodní, ve kterých jsou zahrnuty nedávné extrémní povodňové události z roku 1997 a následujících let. Hydrologické podklady poskytl ČHMÚ, pobočka Brno.

METODIKA

Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže

Výpočet zásobní funkce nádrže byl proveden pomocí programu UNCERESERVOIR [2]. Základem programu je simulační model chování nádrže, který popsal Starý, viz [3]. Algoritmus softwaru vychází z upravené základní rovnice nádrže v součtovém tvaru, která je omezena podmínkou typu nerovnosti. Výpočet zabezpečení je proveden podle klasického vztahu Čegodajeva, viz [3], a normy ČSN 75 2405 [4], kdy je stanovena zabezpečení podle trvání P_T a množství nedodané vody P_D . Simulační model nádrže do výpočtů zahrnuje i ztráty vody z nádrže. Ztráty jsou uvedeny ve formě ztráty vody výparem z vodní hladiny a průsakem tělesa hráze. Ztráty jsou řešeny iterační metodou.

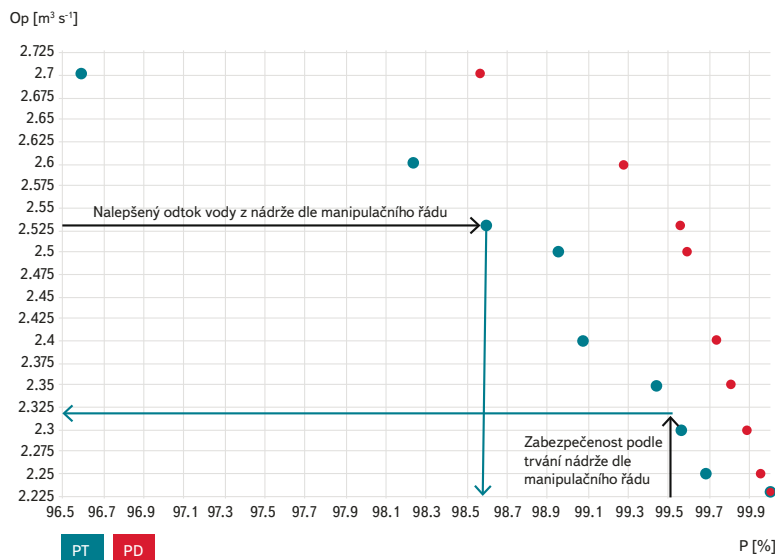
Vzhledem k významu vodního díla Vír I bylo provedeno i řešení pomocí umělých průtokových řad. K sestrojení umělých průtokových řad byl použit program LRM soft [5]. Algoritmus generátoru vychází ze standardního postupu generování umělých průtokových řad, který popsal Starý, viz [6]. Řídící rovnice generátoru včetně principu jejich použití dále popsal Kos, viz [7].

Vodohospodářské řešení ochranné funkce nádrže

Proces transformace povodňové vlny nádrží byl simulován pomocí programu HYDROG [8]. Pro transformaci povodně (řešení základní rovnice nádrže v diferenciálním tvaru) je v programu použita explicitní diferenční metoda Runge-Kutta 4. řádu. Metoda umožňuje provádět diskrétní bodovou simulaci spojitého procesu.

PRAKTICKÁ APLIKACE

Základní hydrologické údaje o povodí nad nádrží. Nádrž je vybudována v povodí řeky Svratky a řeka Svratka je také hlavním přítokem vody do nádrže. Plocha povodí nad nádrží je přibližně 410,35 km². Průměrný dlouhodobý přítok vody do nádrže je $Q_a = 3,607 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Ekologický průtok tvořící hranici sucha je Q_{355} a odpovídá průtoku $0,48 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Časová řada průměrných měsíčních průtoků byla použita z měření ve vodoměrném profilu Dalečín, který se nachází bezprostředně nad nádrží. Průměrná hodnota měřeného výparu z vodní hladiny odpovídá hodnotě $E_a = 613 \text{ mm/rok}$.



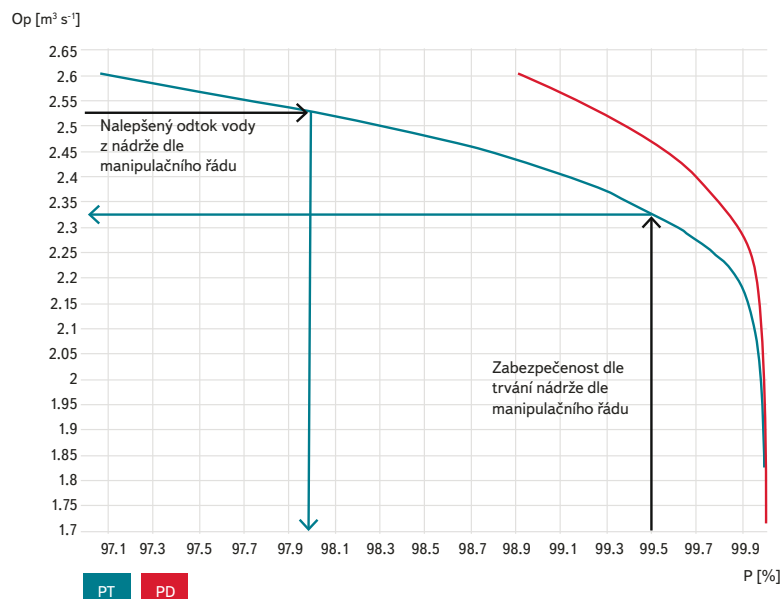
Obr. 1. Vztah mezi zabezpečeností odtoku vody z nádrže a hodnotou nalepšeného odtoku vody z nádrže – reálná průtoková řada

Fig. 1. Relation between reliability of reservoir outflow and total water outflow – historical flow series

Těleso hráze nádrže Vír I je betonové tížné složené z 26 bloků. Délka hráze v koruně hráze je 390 m. Celková výška hráze je 67,3 m. Šířka hráze v koruně je 9 m. Dno údolí u hráze je 404,24 m n. m. a kóta koruny hráze je 470,45 m n. m. Výpustná a odběrná zařízení jsou tvořena 2x spodní výpustí DN 1 800 mm a jednou asanační výpustí DN 200 mm. Bezpečnostní přeliv je konstrukce korunně nehrazené o celkové délce 60,5 m a maximální kapacitě $180,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ při hladině 468,45 m n. m. Nádrž slouží také k elektrárenským účelům. Na pravé straně hráze je vybudována vodní elektrárna s dvěma turbínami o hlnosti $2 \times 12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Minimální požadovaný odtok vody z nádrže je $MQ = 0,530 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Neškodný průtok je $Q_{NE} = 55 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Celkový objem nádrže je $V = 56,193 \text{ mil. m}^3$. Prostor stálého nadržení je $V_s = 3,800 \text{ mil. m}^3$. Zásobní objem nádrže je $V_z = 44,056 \text{ mil. m}^3$. Ochranný objem nádrže je $V_R = 8,337 \text{ mil. m}^3$. Celkový rovnoměrný odběr vody z nádrže Vír I je stanoven podle manipulačního řádu [9] na hodnoty nalepšeného odtoku $O_p = 2,53 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Nalepšený odtok je rozdělen na dílčí odběry a minimální odtok do toku MQ . Odběr z nádrže pro oblast Žďár nad Sázavou je $Q_{ZDAR} = 0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Odběr pro Vírský oblastní vodovod včetně odběru vody pro Brno a jeho okolí je $Q_{VOV} = 1,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Všechny uvedené parametry vychází z platného manipulačního řádu k vodnímu dílu [9].

Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže

Výpočet byl proveden pro vyhodnocení zabezpečení odtoku vody z nádrže P_T a P_D . Vstupní hodnoty pro výpočet zásobního objemu nádrže tvořila časová řada průměrných měsíčních průtoků měřených ve vodoměrném profilu Dalečín. Délka hydrologické řady je 65 let za období měření 1950 až 2015. Vzhledem k účelu nádrže byla ve výpočtech použita i data z generátorů umělých průtokových řad. Pro tyto účely byl vybrán a použit lineární regresní model s délkou regresní závislosti 4 a celkovou délkou generované umělé průtokové řady 10 000 let. Zásobní objem nádrže byl počítán s uvažováním ztrát vody z nádrže. Úloha byla řešena pro hodnotu zásobního objemu nádrže daného v [9]. Kdy hodnota O_p byla postupně zvyšována a pro volené O_p byly vždy dopočítávány hodnoty zabezpečení P_T a P_D . Výsledky byly porovnány ze dvou pohledů. První byla změna P_T při uvažování $O_p = 2,53 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ daného v [9]. Druhý pohled byl ve změně O_p při uvažování zabezpečení $P_T = 99,5 \%$ dané v [4] a [9].



Obr. 2. Vztah mezi zabezpečeností odtoku vody z nádrže a hodnotou nalepšeného odtoku vody z nádrže – umělá průtoková řada

Fig. 2. Relation between reliability of reservoir outflow and total water outflow – artificial flow series

Vodohospodářské řešení ochranné funkce nádrže

Cílem řešení bylo posoudit, zda a jakým způsobem nádrž převede aktualizované povodňové vlny PV_{100} , návrhovou PV_{1000} a kontrolní PV_{10000} . Přitom povodňové vlny byly aktualizované ČHMÚ v roce 2008 [10]. Podklady, ze kterých byly povodňové vlny zkonstruované, zahrnovaly i extrémní historické povodně z posledních let z konce minulého století a ze začátku současného století.

Povodně byly odvozeny jednak klasickým způsobem a jednak pomocí podmíněných pravděpodobností s 30% podmíněnou pravděpodobností překročení objemu povodňové vlny, v tabulkách uvedeno pod zkratkou PP. Za simulovaného průchodu povodně byl sledován transformační účinek nádrže a byl odečten vždy kulminační odtok vody z nádrže O_{max} , který byl porovnán s hodnotou neškodného odtoku vody z nádrže $O_{NE} = 55 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Dále byla odečtena kóta maximální hladiny v nádrži H_{max} , která byla následně porovnána s mezní bezpečnou hladinou MBH stanovenou pro nádrž Vír I na kótě 470,45 m n. m. Při výpočtech byly testovány dva vybrané způsoby řízení odtoku vody z nádrže. První způsob neumožňuje provést před nástupem povodně povypřázdňení zásobního objemu nádrže, doporučení podle [11]. Uvedená varianta je v dalším textu a obrázcích označena jako varianta bez předpouštění. Druhý způsob se liší od prvního způsobu řízení tím, že umožňuje operativně povypřázdňit zásobní objem nádrže před nástupem povodně, tzv. varianta s předpouštěním. Pro jednoduchost je z nádrže hned vypouštěn odtok roven neškodnému odtoku. Jedná se tedy o agresivní způsob řízení odtoku vody z nádrže ve vztahu ke korytu toku pod nádrží. Oba způsoby řízení jsou pro posouzení mezní a určují interval, ve kterém je možno hledat i jiné způsoby řízení odtoku vody z nádrže za průchodu návrhové povodňové vlny.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže

Obrázek 1 a 2 ukazují výsledky výpočtů zabezpečení P_T a P_D . Opakovaně byla měněna hodnota nalepšeného odtoku a stanovena zabezpečení až byly sestaveny závislosti O_p na P_T a P_D . Obrázek 1 popisuje závislost odtoku vody z nádrže a zabezpečení stanovenou v reálné průtokové řadě. Obrázek 2 pak popisuje stejnou závislost, ale vstupem do výpočtu je umělá průtoková řada. Odečty v grafech ukazují výsledky porovnání s hodnotami uvedenými v manipulačním řádu k vodnímu dílu Vír I [9].

Jak bylo uvedeno výše. Podle manipulačního řádu zásobního objemu nádrže 44 056 000 m³ odpovídá nalepšený odtok $O_p = 2,53 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ při zabezpečení podle trvání $P_T = 99,5 \%$.

Při zachování nalepšeného odtoku $O_p = 2,53 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a zásobního objemu 44 056 000 m³ je zabezpečení v reálné průtokové řadě $P_T = 98,59 \%$. Zabezpečení nevyhoví a rozdíl činí 0,91 %. V umělé řadě je zabezpečení $P_T = 97,99 \%$. Zabezpečení opět nevyhoví a rozdíl činí 1,51 %.

Při zachování zabezpečení $P_T = 99,5 \%$ a zásobního objemu 44 056 000 m³ je nalepšený odtok vody z nádrže $O_p = 2,32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v reálné průtokové řadě. Nalepšení odtoku vody z nádrže nevyhoví a rozdíl činí 0,21 m³·s⁻¹. V umělé průtokové řadě vychází nalepšení odtoku vody z nádrže $O_p = 2,32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a rozdíl opět činí 0,21 m³·s⁻¹.

Vodohospodářské řešení ochranné funkce nádrže

Souhrnné zhodnocení dosažených efektů pro oba mezní způsoby řízení odtoku vody z nádrže za průchodu povodní PV_{100} , PV_{1000} a PV_{10000} jsou uvedeny v tabulce 1 a tabulce 2.

Z uvedených tabulek plyne, že ve variantě bez předpouštění vody z nádrže byl pro všechny hydrogramy povodní neškodný odtok v korytě pod nádrží vždy překročen. Pozitivní skutečností je, že maximální bezpečnostní hladina nebyla pro žádnou N-letost dosažena.

Ve variantě s předpouštěním vody z nádrže pro hydrogram PV_{100} a pro hydrogram PP PV_{100} navržený pomocí podmíněných pravděpodobností byl neškodný odtok v korytě pod nádrží kulminačním odtokem dosažen. Pro všechny ostatní hydrogramy povodní s N-letostí 1 000 a 10 000 roků byl neškodný odtok v korytě pod nádrží kulminačním odtokem vždy překročen. Pozitivní skutečností opět je, že maximální bezpečnostní hladina nebyla pro žádnou N-letost dosažena.

Tabulka 1. Dosažené efekty při transformaci – varianta bez předpouštění
Table 1. Resulting transformation effects – alternative without emptying

	O_{max} [m ³ /s]	Menší nebo rovno O_{NE} ?	H_{max} [m n. m.]	Menší než MBH?
PV ₁₀₀	81,7	Ne	468,38	Ano
PP PV ₁₀₀	125,0	Ne	468,05	Ano
PV ₁₀₀₀	235,4	Ne	468,52	Ano
PP PV ₁₀₀₀	272,5	Ne	468,66	Ano
PV ₁₀₀₀₀	369,0	Ne	469,03	Ano
PP PV ₁₀₀₀₀	409,0	Ne	469,16	Ano

ZÁVĚR

Podle provedených výpočtů je zřejmé, že nádrž Vír I, která je zařazena do třídy významnosti A ($P_T \geq 99,5 \%$), má vzhledem k aktualizovaným datům téměř o 1 % menší hodnoty zabezpečení podle trvání. Nižší je i nalepšený odtok vody z nádrže. Z výpočtů je zřejmý pokles nalepšeného odtoku o přibližně 0.21 m³·s⁻¹. Toto snížení pokrývá například odběr vody pro Žďársko. Je tedy zřejmé, že kapacita zdroje vody pro zásobené oblasti Žďárska, Bystřicka, Brna a okolí je v současnosti negativně nadhodnocena. Vzhledem k probíhajícím změnám klimatu je však možné očekávat další budoucí pokles přítoku vody do nádrže. Toto tvrzení je však nutné prokázat důkladnou analýzou vlivu změny klimatu na zásobní objem nádrže. Přitom upřednostnění odběrů vody z nádrže před odtokem vody do toku může mít při dlouhodobém držení průtoků vody v řece Svratce pod nádrží Vír I na nízkých hodnotách fatální důsledky. Mohou nastat problémy spojené s jakostí vody a biologickou rovnováhou v toku. Je tedy zřejmé, že při výpadku zásobení Brna vodou z prameniště Březová, nemá Brno ekvivalentní náhradní zdroj.

Jak ukazují průběžné výsledky provedené analýzy, řešením je navýšení zásobního objemu v nádrži Vír. Protože to však není možné, logicky se nabízí hledat příslušný zásobní objem výše po toku, kde se nabízí vybudování nádrže v dlouhodobě hájeném profilu Borovnice.

Ochranná funkce nádrže byla přepočítána z pohledu průchodu aktualizovaných povodňových vln. Dosažené výsledky uvedené v tabulkách ukazují, že i v této oblasti je její transformační schopnost nadhodnocena. Nádrž není schopna bez předpouštění udržet kulminační odtoky pod hodnotou neškodného odtoku. Předpouštění je však u nádrže Vír I možné, protože má trvalou obsluhu a je navázána na vodohospodářský dispečink. Ten získává operativní předpovědi přítoků z ČHMÚ, který je poskytuje. Navíc má i dostatečné technické vybavení. Spodní výpusti disponují dostatečnou kapacitou pro uvede-nou činnost.

Uvedený způsob předpouštění je hodně agresivní a v některých případech testovaných kontrolních povodní vede při dlouhých náběžích vzestupných větví povodní ke značnému vyprázdnění zásobního objemu nádrže. Zpracovatelé jej považují pouze jako mezní řešení. Způsoby řízení odtoku je třeba podrobně analyzovat a zjištěné skutečnosti promítnout do manipulačního řádu, který je třeba s ohledem na zjištěné skutečnosti neprodleně aktualizovat.

Tým zpracovatelů studie přistupoval k přehodnocení ochranné funkce nádrže s nadějí, že bude v dané oblasti její kapacita mírně předimenzovaná, že bude možno snížit retenční objem nádrže ve prospěch zásobní funkce a posílit její možnosti v oblasti zásobení vodou. Dosažené výsledky však ukázaly,

Tabulka 2. Dosažené efekty při transformaci – varianta s předpouštěním
Table 2. Resulting transformation effects – alternative with emptying

	O_{max} [m ³ /s]	Menší nebo rovno O_{NE} ?	H_{max} [m n. m.]	Menší než MBH?
PV ₁₀₀	55,0	Ano	467,50	Ano
PP PV ₁₀₀	55,0	Ano	456,40	Ano
PV ₁₀₀₀	195,0	Ne	468,30	Ano
PP PV ₁₀₀₀	166,7	Ne	468,23	Ano
PV ₁₀₀₀₀	369,0	Ne	469,10	Ano
PP PV ₁₀₀₀₀	410,0	Ne	469,16	Ano

že tato cesta není možná. Jako možné řešení se opět nabízí hledat další ochranný prostor výše po toku, využít hájený profil Svratka/Borovnice pro výstavbu nové nádrže. Důvod je velmi závažný. Nádrž Vír I je z pohledu zásobní i ochranné funkce vzhledem k aktuálním hydrologickým podkladům poddimenzovaná.

Poděkování

Tento příspěvek je výsledkem specifického výzkumu FAST-J-17-4214 Nové pojetí ekonomického návrhu nádrže v podmínkách hlubokých nejistot s použitím multikriteriální optimalizace.

Příspěvek byl publikován ve sborníku konference Vodní nádrže 2017, ISBN 978-80-905368-5-2.

Literatura

- [1] *Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR*. Ministerstvo životního prostředí [online]. 2015 [cit. 2017-06-18]. Dostupné z: <http://www.mzp.cz>
- [2] MARTON, D., STARÝ, M. a MENŠÍK, P. *UNCERESERVOIR – Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže*. Dostupné z: <http://uvhk.fce.vutbr.cz/software.php>
- [3] STARÝ, M. *Nádrže a vodohospodářské soustavy (MODUL 01)*. Brno: VUT v Brně – Fakulta stavební, 2006.
- [4] Česká technická norma ČSN 75 2405 *Vodohospodářské řešení vodních nádrží*, ICS 93.160; 13.060.10, Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [5] MARTON, D. a STARÝ, M. *LRMsoft – generátor umělých měsíčních průtoků*. Dostupné z: <http://uvhk.fce.vutbr.cz/software.php>
- [6] STARÝ, M. *Hydrologie (MODUL 01)*. Brno: VUT v Brně – Fakulta stavební, 2005.
- [7] KOS, Z. *Lineární regresní model a jeho aplikace v hydrologii*. Vodní toky v Praze. Praha, 1969.
- [8] STARÝ, M. *HYDROG – Software pro simulaci a operativní řízení odtoku vody z povodí*, 1991–2017, Brno.
- [9] *Manipulační řád pro vodní dílo Vír I na řece Svratce*. Brno: Povodí Moravy, s. p., 2011.
- [10] JURÁNEK, L. *Hydrologická studie pro VD VÍR I, Odvození teoretických povodňových vln různými statistickými metodami*. Brno: ČHMÚ, 2008.
- [11] Česká technická norma ČSN 75 2935 *Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních*, ICS 13.200; 93.160. Praha: Český normalizační institut, 2014.

Autoři

Ing. Daniel Marton, Ph.D.

✉ marton.d@fce.vutbr.cz

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.

✉ stary.m@fce.vutbr.cz

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební,
Ústav vodního hospodářství krajiny

Příspěvek prošel lektorským řízením.

STORAGE CAPACITY ASSESSMENT OF WATER RESERVOIR ON CURRENT HYDROLOGIC DATA

MARTON, D.; STARY, M.

Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering,
Institute of Landscape Water Management

Keywords: reservoir volume – reservoir – Vír I –
storage capacity – flood capacity

The aim of this paper is to present results of study, which was aimed to evaluate the efficiency of reservoir capacities for updated input data. The study has focused on review of storage capacity, reliability of total reservoir outflow and analysis of flood protection capacity. Storage capacity was made using historical flow time series of maximum length of historical measurements as well as using artificial flow time series. The review of the flood protection capacity was made for the theoretical flood hydrographs derived by the classical method as well as the Method of Conditional Probability. The given objectives is based on the requirement to update the calculations of above mentioned quantities with point of view to extending of length of measured input hydrological data, especially taking into account the 2015 drought and the extreme flood in recent years.

Stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků v podmínkách ČR

PAVEL BALVÍN, ADAM VIZINA

Klíčová slova: minimální zůstatkový průtok — regionální rozdělení — sezonní rozdělení MZP — nařízení vlády — ekologické průtoky

SOUHRN

Nový metodický přístup stanovení minimálních zůstatkových průtoků (dále jen MZP) slouží jako podklad pro nařízení vlády ČR a samozřejmě vyvolává širokou diskusi nad jeho dopadem, a to jak z hlediska ochrany přírody, tak rovněž, a to především, z hlediska jeho dopadu na nakládání s vodami a hospodaření na nádržích. Už v počátcích řešení a hledání nového přístupu bylo jasné, že nebude možné najít ideální rovnováhu a uspokojit všechny zúčastněné. Problematika MZP totiž vyvolává přirozený rozkol mezi nakládáním s vodami a ochranou přírody a jen u minima případů lze nalézt ideální kompromis. Dosud platný metodický pokyn z roku 1998 je úměrný své době, ale nevyhovuje požadavkům na tzv. ekologické průtoky, rovněž výpočet směrných hodnot ve skokovém režimu nelze považovat za spravedlivý. Nový přístup je založen na regionálním rozdělení respektující hranice povodí a odlišné hydrologicko-geologické charakteristiky. Do výpočtu MZP zavádí více hydrologických charakteristik a vytváří podmínky pro sezonní rozdělení MZP během roku.

Článek předkládá souhrn poslední verze způsobu stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků, dokumentuje zvolený přístup a porovnává změny hodnot MZP s původním metodickým pokynem z roku 1998.

ÚVOD

Novela zákona č. 254/2001 Sb. z roku 2010 byla zásadním impulsem pro přehodnocení dosavadního přístupu k problematice minimálních zůstatkových průtoků. Novela § 36 stanovila, že způsob a kritéria stanovení minimálního zůstatkového průtoky podle druhého odstavce stanoví vláda nařízením. MŽP ČR následně pověřilo VÚV TGM, v. v. i., přehodnocením dosavadního přístupu používaném v metodickém pokynu MŽP ČR z roku 1998. VÚV TGM, v. v. i., byl zároveň pověřen, aby do způsobu stanovení MZP implementoval nové postupy a kritéria, která by více zohledňovala hydrologickou variabilitu jednotlivých regionů ČR, sezonně rozdělila velikost MZP během roku a posoudila velikost MZP z hlediska tzv. ekologických průtoků.

Minimálním zůstatkovým průtokem se podle § 36 vodního zákona rozumí průtok povrchových vod, který ještě umožňuje obecné nakládání s vodami a ekologické funkce vodního toku. Vodní zákon v platném znění ukládá vodoprávním úřadům stanovit hodnotu minimálního zůstatkového průtoky s přihlédnutím k podmínkám vodního toku, charakteru nakládání s vodami a k opatřením k dosažení cílů ochrany vod přijatých v plánu povodí. Tyto požadavky dané zákonem bylo třeba zohlednit v návrhu nového metodického přístupu, který bude sloužit jako podklad pro zpracování nařízení vlády. Nově navržený koncept vychází z doposud platného metodického pokynu Odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí k zásadám stanovení hodnot minimálních

zůstatkových průtoků ve vodních tocích z roku 1998 [1]. S cílem lepšího zohlednění požadavků vodních ekosystémů, ekosystémů vázaných na vodní prostředí, environmentálních standardů používaných v jiných zemích EU a požadavků MŽP ČR, byl oproti původnímu pokynu uplatněn regionální přístup ke stanovení hodnoty MZP. Hodnota MZP je proměnná v roce a při jejím stanovení se přihlíží i k cíli ochrany vod pro dotčený vodní útvar.

Velikost minimálního zůstatkového průtoky má značný vliv na ekologický i na chemický stav vodního útvaru dotčeného nakládáním s vodami, neboť zajišťuje přežití vodních a na vodu vázaných ekosystémů v období sucha a zajišťuje dostatečné ředění vypouštěných vod. V tomto kontextu je možné se v literatuře setkat s termínem ekologický (environmentální) průtok. Velikost ekologického průtoky je zpravidla stanovována na základě znalosti specifík dané lokality, ke kterým patří např. struktura ekosystému (převažující, chráněné druhy organismů a rostlin), hydromorfologie dotčeného úseku toku, výskyt habitatů atd. Pro stanovení velikosti ekologického průtoky existuje řada expertních metod, které však v každém případě vyžadují odborné posouzení konkrétní lokality a jsou často časově i finančně náročné. Není tedy možné je doporučit pro rutinní stanovení hodnoty MZP vodoprávním úřadem pro všechna povolovaná nakládání s vodami. Při odvození nové metodiky stanovení MZP byla snaha přiblížit se co nejvíce konceptu ekologického průtoky [2], ale zároveň vypracovat metodu uplatnitelnou v praxi.

DATA

Pro návrh nového způsobu stanovení MZP byly k dispozici statistické charakteristiky průtoků pro 276 vodoměrných stanic z celé ČR za období 1981–2010, které byly pořízeny od Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Sledované charakteristiky zahrnovaly velikost dlouhodobého ročního průměrného průtoky, p-procentní a M-denní průtoky, koeficient variace a asymetrie řady denních průtoků, hodnoty průměrného průtoky v jednotlivých měsících v roce a hodnoty pravděpodobnostního pole průměrných měsíčních průtoků. Střední hodnota velikosti plochy povodí vybraných vodoměrných stanic činí 222 km².

ČHMÚ stanovuje M-denní průtoky na základě pozorovaných hodnot, které odpovídají přirozenému nebo více či méně ovlivněnému hydrologickému režimu. I když je pro výpočet MZP doporučeno vycházet právě z odvodněných hodnot hydrologických charakteristik, bylo nutno přistoupit k pragmatickému řešení a ve výsledném nařízení vlády budou použity pouze hydrologické charakteristiky odvozené z pozorovaných, tedy mnohdy ovlivněných, průtoků. Tento pragmatický přístup byl v počátcích považován za jediný možný, ale postupem času byl silně kritizován, a to především v souvislosti se stanovením MZP na vodních dílech sloužících k akumulaci vod.

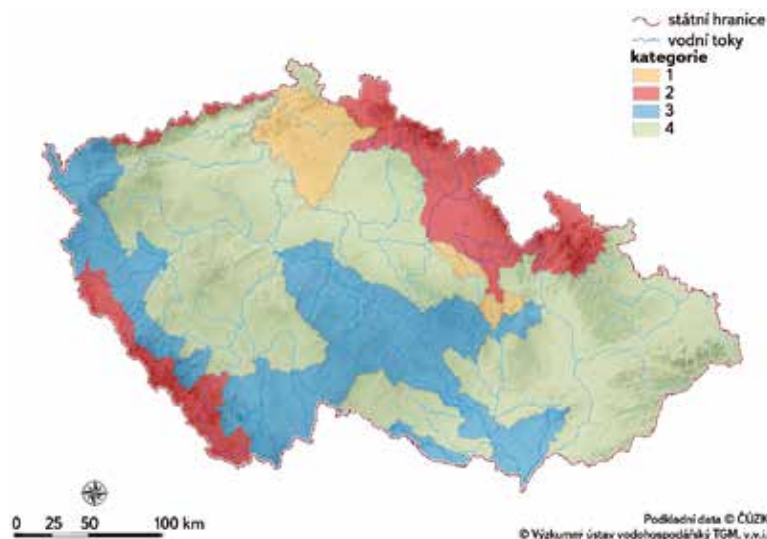
NÁVRH REGIONÁLNÍHO ROZDĚLENÍ ČR

Zohlednění přírodních podmínek toku při návrhu regionalizace ČR bylo založeno především na uvážení klíčových procesů podílejících se na tvorbě celkového odtoku z povodí. Bylo třeba vymezit oblasti, kde si celkový odtok po většinu roku zachovává vyrovnaný charakter, a tedy nedochází k výraznému poklesu vodnosti toku v létě a na začátku podzimu. Jedná se především o oblasti, kde je celkový odtok po většinu roku dotován ze zásob podzemních vod. Na druhou stranu bylo třeba vymezit oblasti, které mohou být potenciálně zranitelné vůči suchu, kde je celkový odtok během roku výrazně nevyrovnaný. Pro návrh regionalizace byl vybrán parametr K99, který udává poměr mezi průměrným denním průtokem s pravděpodobností překročení 99 % během referenčního období a hodnotou průměrného dlouhodobého průtoku Q_a za stejné období. Čím vyšší je hodnota parametru, tím vyrovnanější chod průtoků během roku můžeme předpokládat.

Hodnoty parametru K99 v testovaných vodoměrných stanicích byly vykresleny do mapy hydrogeologických rajonů. Na základě souvislosti hodnot parametru K99, hydrogeologických poměrů a nadmořské výšky bylo navrženo rozdělit území ČR do čtyř kategorií. Samostatnou třídu tvoří křídových sedimentů, které představují drenážní báze a kde základní odtok, tj. odtok ze zásob podzemních vod, tvoří podstatnou část celkového odtoku. Patří sem některé přítoky Labe, horní Metuje, Loučná, pramenné oblasti Svitavy a Třebůvky a tok Řička. Hodnota parametru K99 je v těchto oblastech zpravidla větší než 0,18. Druhou třídu tvoří horská území, která jsou rovněž relativně vodná. Vyrovnaný charakter odtoku je zde dán především vysokými srážkami. Hodnota parametru K99 je v těchto územích zpravidla větší než 0,15. Do této třídy byly zařazeny především Krkonoše a Jizerské hory, Šumava, Jeseníky, vrcholky Krušných hor a dále i část povodí Tiché Orlice, která má obdobně vyrovnaný charakter. Třetí kategorii představují oblasti tvořené převážně krystalinickými strukturami, které se nacházejí v podhůří pohraničních pohoří a v oblasti Českomoravské vrchoviny. Jedná se o území s velmi podobným průběhem čáry překročení jako u třídy 2. Vzhledem k nižší nadmořské výšce, než která je dosahována v oblastech kategorie 2, zde dochází k dřívějšímu nástupu období jarního tání. Také srážky jsou zde nižší než u kategorie 2. Hodnota parametru K99 se v těchto oblastech zpravidla pohybuje od 0,1 do 0,15. Do čtvrté kategorie byly klasifikovány oblasti, které se vyznačují výrazně nevyrovnaným režimem průtoků během roku, kde hodnota parametru K99 je menší než 0,1. Mapa rozdělení ČR do jednotlivých kategorií je na obr. 1.

NÁVRH ZPŮSOBU STANOVENÍ MZP PODLE NOVÝCH KRITÉRIÍ

Navržený způsob stanovení MZP má dostatečně respektovat potřeby vodních ekosystémů a ekosystémů na vodu vázaných. V první řadě byl proveden rozbor existujících studií zaměřených na stanovení hodnoty MZP s využitím expertní metody „Instream Flow Incremental Methodology“ (dále jen IFIM) [3]



Obr. 1. Rozdělení ČR do čtyř kategorií podle K99

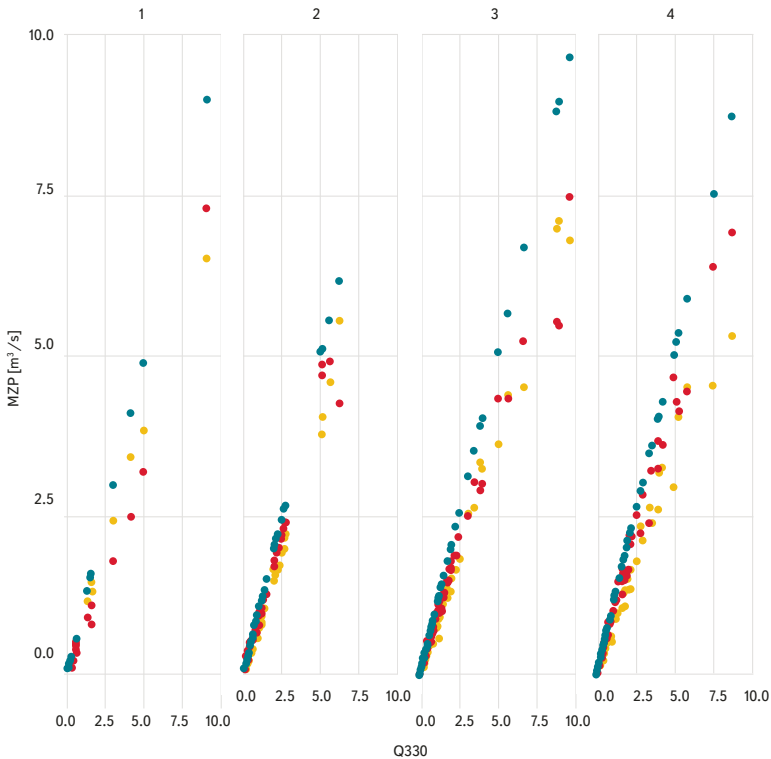
Fig. 1. Division of the Czech Republic into 4 categories according to K99

v podmínkách ČR. Jedná se o metodu, která využívá pro stanovení hodnoty MZP výsledky rekognoskace zájmového úseku toku z hlediska jeho hydraulických parametrů, charakteru habitatu a vyskytujících se živočišných a rostlinných druhů. Metoda zahrnuje simulaci vážené využitelné plochy habitatu při různých velikých průtocích. Výsledky simulačního modelování pomocí modelu Phabsim (modelový nástroj metodiky IFIM) jsou dále uplatněny při diskusi nad volbou kompromisní úrovně MZP, která umožní zachování stávajících ekosystémů a zároveň umožní rozumnou míru nakládání s vodami [4]. Odvození hodnoty MZP pomocí metody IFIM trvá zpravidla 1,5 až 2 roky a vyžaduje opakovaný sběr biologických a hydraulicko-hydrologických dat z úseku toku, který bude dotčený navrhovaným nakládáním. Rešerše zahrnovala 15 lokalit v ČR a vedla k závěru, že výsledná ideální hodnota MZP se ve většině případů pohybovala na úrovni průtoku s pravděpodobností překročení 330 dní v roce.

Studie provedené na základě metody IFIM byly většinou zpracovány pro lokality v oblastech kategorií 2 a 3, tedy horských a podhorských oblastech. Pro tyto kategorie platí, že hodnota Q_{330d} činí přibližně 26–31 % Q_a (viz tabulku 1). Z tabulky je rovněž patrné, že pro kategorii 1 odpovídá průtok o velikosti 30 % Q_a , průtok s dobou překročení 364 dní v roce, zatímco pro stanice v zařazené do kategorie 4 by se jednalo o průtok s dobou překročení přibližně 300 až 270 dní v roce. Pro návrh metody stanovení MZP byl dále uvažován orientační požadavek, aby MZP činilo přibližně 20–30 % Q_a . Tento požadavek je v souladu se závěry dokumentu „Environmental Flows as a tool to achieve the WFD Objectives – discussion paper“ [5]. V prvních pracovních verzích tohoto dokumentu bylo doporučeno pro dosažení dobrého ekologického stavu zajistit ekologický průtok v rozsahu 25–50 % Q_a , navržená

Tabulka 1. Podíl hodnoty M-denního průtoku s danou dobou překročení a průměrného dlouhodobého průtoku – průměr pro pilotní vodoměrné stanice zatříděné do jednotlivých kategorií
Table 1. Share of M-day flow rate with given overflow time and average long-term flow – average for pilot water meters sorted into individual categories

Kategorie	Qmd/Q _a [–]						
	Q _{210d}	Q _{240d}	Q _{270d}	Q _{300d}	Q _{330d}	Q _{355d}	Q _{364d}
1	0,72	0,65	0,59	0,53	0,46	0,38	0,29
2	0,57	0,5	0,43	0,37	0,31	0,24	0,17
3	0,54	0,46	0,39	0,33	0,26	0,18	0,11
4	0,44	0,35	0,28	0,22	0,15	0,08	0,04

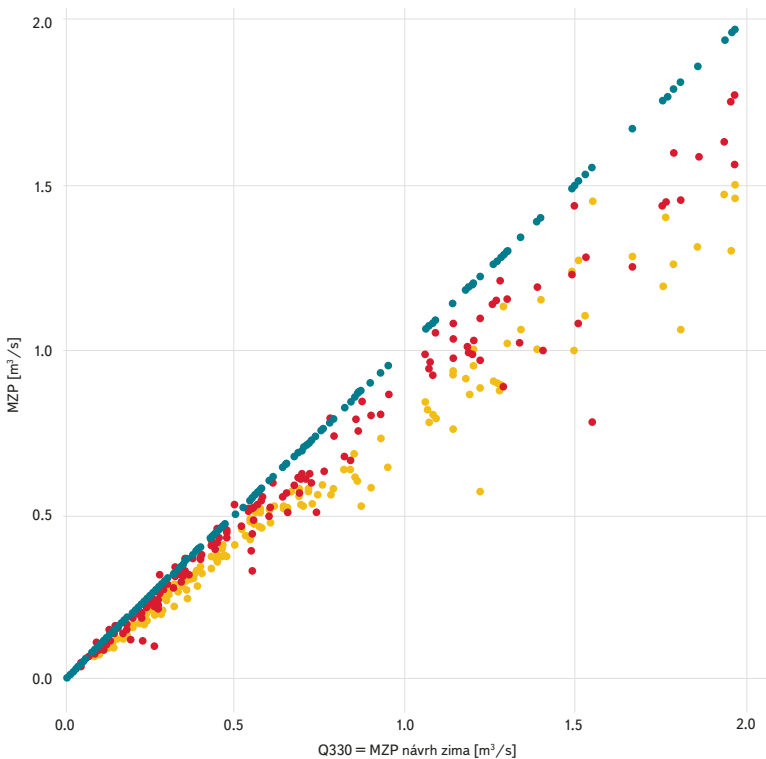


Obr. 2. Porovnání hodnot MZP podle platného metodického pokynu MŽP (oranžová barva) a navrhovaných hodnot podle nové metodiky pro hlavní (červeně) a jarní (modře) sezonu pro jednotlivé kategorie
Fig. 2. Comparison of the values of the MZP according to the valid methodological instruction of the Ministry of the Environment (orange color) and the proposed values according to the new methodology for the main (red) and spring (blue) season for individual categories

úroveň 20–30 % tedy představuje dolní hranici z daného rozpětí. Nicméně, zde je nutno podotknout, že v současné době již nejsou tyto hodnoty v dokumentu uváděny. Vzhledem k výše uvedeným faktům bylo rozhodnuto, že výpočet MZP bude odvozován od hodnoty průtoku s pravděpodobností překročení 330 dní v roce. Původní metodický pokyn pro stanovení MZP z roku 1998 pracuje se skutečností, že s velikostí vodního toku se průtokový režim stává vyrovnanější, a pro stanovení MZP u vodnějších toků je doporučeno uplatnit hodnoty průtoku s vyšší pravděpodobností překročení. Podobný přístup je rovněž uplatněn např. ve švýcarském vodním zákoně [6], kde velikost minimálního zůstatkového průtoku (residual water flow) roste v závislosti na hodnotě průtoku s pravděpodobností překročení 347 dní v roce s mocninou menší než 1. Aby byl popsán princip zachován i v nově navrhované metodice stanovení MZP, bylo nejprve provedeno vyhodnocení závislosti podílu průtoku s dobou překročení 330 dní v roce a dlouhodobého průměrného průtoku Q_a na velikosti průtoku Q_{330d} .

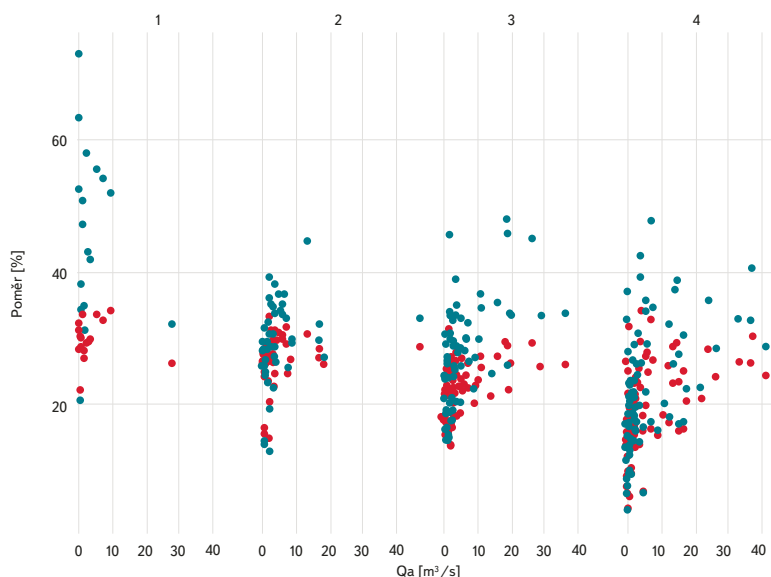
Tabulka 2. Návrh výpočetního postupu pro stanovení MZP v jednotlivých kategoriích pro dvě sezony v roce
Table 2. Draft calculation procedure for determining the MZP in individual categories for two seasons of the year

Kategorie	Hlavní sezona		Jarní sezona	
1	květen–leden	$(1 - Q_{355d}/Q_a)Q_{330d}$ 1,1	únor–duben	Q_{330d}
2	květen–leden	$(1 - Q_{355d}/Q_a)Q_{330d}$ 1,2	únor–duben	Q_{330d}
3	květen–leden	$(1 - Q_{355d}/Q_a)Q_{330d}$ 1,05	únor–duben	Q_{330d}
4	květen–leden	$(1 - Q_{355d}/Q_a)Q_{330d}$ 1,07	únor–duben	Q_{330d}



Obr. 3. Porovnání hodnot MZP podle platného metodického pokynu MŽP (oranžová barva) a navrhovaných hodnot podle nové metodiky pro hlavní (červeně) a jarní (modře) sezonu pro jednotlivé kategorie
Fig. 3. Comparison of the values of the MZP according to the valid methodological instruction of the Ministry of the Environment (orange color) and the proposed values according to the new methodology for the main (red) and spring (blue) season for individual categories

Pro odvození vztahu vhodného pro stanovení MZP pro jednotlivé kategorie byla vykreslena funkce podílu návrhové hodnoty MZP/Q_{330d} na velikosti Q_{330d} pro jednotlivé kategorie zvlášť. Nicméně bylo rozhodnuto, že míra redukce velikosti MZP v závislosti na velikosti řídicího průtoku Q_{330d} bude pro celé území ČR stejná a rozdílný bude parametr násobku v rovnici. Výsledné rovnice pro stanovení MZP pro jednotlivé kategorie byly odvozeny opět z požadavku dosažení poměru MZP/Q_a přibližně na úrovni 25 %. Výsledné rovnice jsou uvedeny v tabulce 2. Součástí zadání ze strany Ministerstva životního prostředí bylo rovněž rozdělení hodnoty MZP do minimálně dvou období, která by tak více popisovala rozdělení průtoku během roku. Tím by bylo zajištěno, že oproti původnímu metodickému pokynu by MZP nebyl konstantní během celého roku, ale v jarním období by docházelo k navýšení MZP. Výsledným rozdělením MZP během roku bylo stanovení tzv. hlavní sezony v období květen až leden a jarní sezony v období únor–duben.



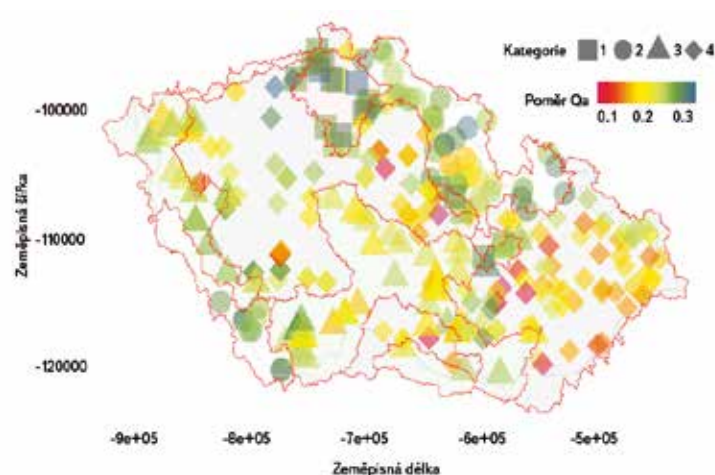
Obr. 4. Poměr hodnoty MZP k průtoku Q_a – červeně hlavní sezona, modře jarní sezona
Fig. 4. The ratio of the value of the MZP to the Q_a flow – the red main season, the blue spring season

VYHODNOCENÍ NAVRŽENÉHO PŘÍSTUPU STANOVENÍ MZP

V následující kapitole jsou zobrazeny výsledky a je provedeno porovnání návrhových hodnot minimálního zůstatkového průtoku s hodnotami stávajícími. Analýza byla provedena na 276 povodích v České republice. Většina profilů má však průměrný průtok do $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Po návrhu byla na daných povodích provedena citlivostní analýza, která měla za cíl posoudit, zda v jednotlivých měsících jsou navrhované hodnoty MZP reálné a zda je možné v méně vodných měsících těchto hodnot dosáhnout s určitou pravděpodobností. Pro posouzení byly také napočítány nedostatkové objemy s konstantní a variabilní limitní hodnotou. Tyto nedostatkové objemy byly porovnány s hodnotami nedostatkových objemů, kde vstupem byla konstantní limitní hodnota platného MZP. Podmínkou pro hodnocení bylo, aby jednotlivá událost měla délku minimálně 5 dní a mezi jednotlivými událostmi byly alespoň dva dny [7].

Na obr. 2 jsou zobrazeny navrhované hodnoty MZP pro letní (červeně), zimní (modře) sezonu a současné (oranžově) hodnoty MZP rozdělené do jednotlivých kategorií. Na ose x jsou zobrazeny hodnoty Q_{330d} a na ose y jsou vyneseny hodnoty MZP. V tomto případě jsou zobrazena všechna hodnocená povodí. Na obr. 3 jsou potom pouze povodí, jejichž hodnota Q_{330d} je menší nebo rovna $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, z důvodu lepší prezentace výsledků. Na tomto grafu je provedena sumarizace pro všechny kategorie. Lze pozorovat, že všechny navrhované hodnoty jsou pod hodnotou Q_{330d} a v případě malých průtoků jsou rozdíly minimální a dá se uvažovat, zda jsou tyto rozdíly vůbec měřitelné. Tento problém se však vyskytuje u všech toků, kde se vyskytují nízké průtoky (desítky l/s).

Na obr. 4 jsou zobrazeny poměry navrhovaných hodnot MZP pro hlavní (červeně) a jarní (modře) sezonu k hodnotám Q_a . Z grafu je možné pozorovat, že se tyto poměry pohybují kolem 22 % pro hlavní sezonu (29,4 % pro kategorii 1, 26,8 % pro kategorii 2, 22,7 % pro kategorii 3 a 18,6 % pro kategorii 4) a 26 % pro sezonu jarní (44,3 % pro kategorii 1, 29,6 % pro kategorii 2, 27,4 % pro kategorii 3 a 21 % pro kategorii 4). Na obr. 5 jsou poté tyto poměry pro hlavní sezonu zobrazeny na ploše České republiky. Vyšší hodnoty u jarní sezony nejsou na škodu, jelikož v tomto období je vody dostatek a neměl by být problém tyto hodnoty splňovat.



Obr. 5. Plošné rozmístění poměru hodnoty MZP k průtoku Q_a (hlavní sezona)
Fig. 5. Area distribution of the ratio of the MZP to the Q_a flow (main season)

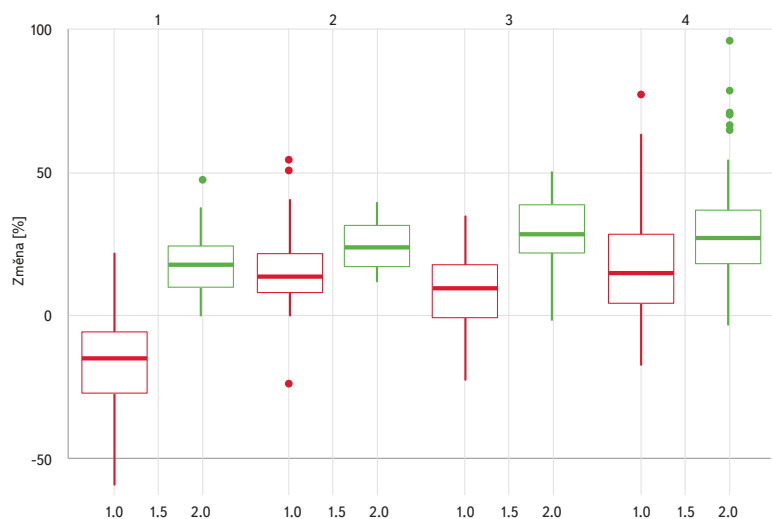
Na obr. 6 jsou změny navrhovaného MZP pro obě sezony k hodnotě stávající reprezentovány grafem typu boxplot, u kterého obdélník udává kvantily 25% a 75%, čára uprostřed boxu medián a jednotlivé čáry vycházející z boxu 6% a 95% kvantily. Hodnoty jsou rozděleny do jednotlivých kategorií (na ose x). Na ose y je potom procentuální změna od současné hodnoty pro všechna povodí řešená v dané kategorii. Na obr. 7 jsou potom tyto změny pro hlavní sezonu rozloženy do plochy České republiky. Lze pozorovat, že změny pro hlavní sezonu (červeně) se průměrně pohybují od 25 % pro kategorii 1 do cca 20 % u kategorii 2. U sezony vedlejší jsou tyto změny cca o 20 % vyšší.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Nový přístup stanovení minimálních zůstatkových průtoků, který slouží jako podklad pro nařízení vlády ČR, přináší zcela jistě oproti původnímu, ale stále ještě platnému metodickému pokynu z roku 1998 zásadní změny. Zvolený přístup ve většině případů vede ke zvýšení požadavků na MZP oproti směrným hodnotám, které odpovídají požadavkům původního metodického pokynu z roku 1998. Zpřísnění podmínek se týká především toků v kategorii 4 s rozkolísaným průtokovým režimem, která podle navržené regionalizace na území ČR plošně převažuje.

Metodický pokyn z roku 1998 stanovuje hodnotu MZP především na základě tabulky směrnych hodnot, kdy je základním kritériem hodnota Q_{355d} . Už samotný pojem směrnych hodnot umožňuje na jedné straně jistou flexibilitu při stanovení MZP, ale na straně druhé je jasné, že se jedná o hrubý odhad, to metodický pokyn sám přiznává. Stanovení MZP je rovněž skokové, což není spravedlivé a z hydrologického hlediska příliš logické. Nicméně, je to věc zvoleného přístupu odpovídající své době. Další argument mluvící v neprospěch stávajícího přístupu je založen na tvrzení, že zmiňovaná tabulka nebyla původně vůbec odvozena pro stanovení hodnot MZP, ale pro potřeby ředění odpadních vod pod ČOV. Ze strany orgánů ochrany přírody jsou všeobecně hodnoty MZP vyplývající z metodického pokynu chápány jako nízké a přístup je příliš flexibilní.

Nově zvolený přístup je komplexnější, ale to s sebou samozřejmě přináší širší pohled na věc a s tím i logické komplikace. Na základě zadání a požadavku ze strany MŽP měl nový přístup zohlednit hydrologickou variabilitu v podobě regionálního rozdělení ČR respektující hranice povodí. V případě nového přístupu se jedná o hranice povodí 4. řádu. Autoři nového přístupu si jsou zcela vědomi, že jakýkoli pokus o regionální rozdělení plochy ČR z hlediska hydrologické variability pro potřeby stanovení MZP musí být zatížen jistým zjednodušením



Obr. 6. Změna hodnoty MZP (návrh/současná hodnota) – červeně hlavní sezona, zeleně jarní sezona

Fig. 6. Change in the value of the MZP (proposal/current value) – red main season, green spring season

a nelze postihnout všechny charakteristické typy povodí. Nicméně, rozdělení podle koeficientu K99 ($Q_{99\%}/Q_a$) je z našeho pohledu považováno za dostatečně reprezentativní, aby popsal vyrovnanost odtokového režimu.

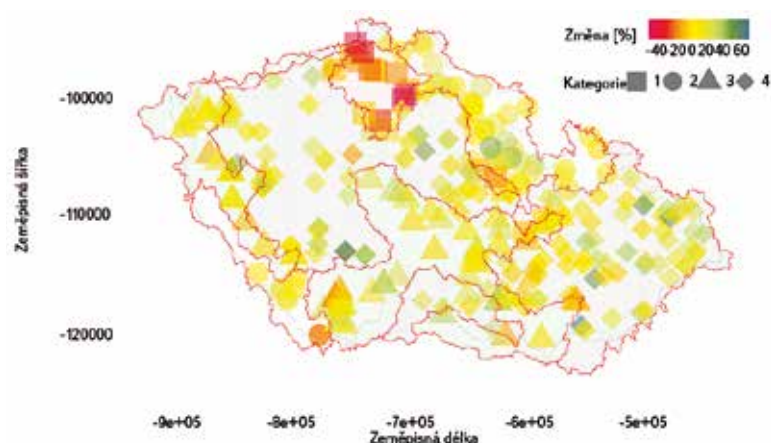
Vzorce, které jsou pak následně použity pro výpočet hodnoty MZP, zavádí do výpočtu více hydrologických charakteristik (Q_a , Q_{355d} , Q_{330d}) než stávající metodický pokyn. Navrhovaný postup tak přispívá k objektivnějšímu stanovení MZP.

Hodnoty MZP jsou odvozeny tak, aby byl poměr MZP/ Q_a cca 25 %. Tento požadavek vyplynul z požadavku na tzv. ekologický průtok, který byl uváděn v původních textech dokumentů EU [7]. Zde je nutno poznamenat, že tento požadavek (doporučení) již není v dokumentech EU uváděn, ale v požadavcích na nový metodický přístup byl ponechán.

Z hlediska sezonního rozdělení MZP lze konstatovat, že rozdělení MZP během roku je zcela logické a v sousedních (západních) státech zcela běžné. Je nutno poznamenat, že již původní metodický pokyn doporučoval rozdělit zůstatkový průtok sezonně během roku a kladl značný důraz na vazbu s biologií, především na ryby a zoobentos.

Sezonní dělení MZP však s sebou nese určité provozní komplikace, které jsou spojeny především s vlastním měřením obou sezonních hodnot. Obě hodnoty se liší maximálně 10–20 %, a to je z hlediska měření a souvisejících nejistot málo. Může se pak stát, že vyšší hodnota v jarní sezoně bude těžko kontrolovatelná oproti hodnotě v hlavní sezoně, jelikož si budou např. na vodočetné lati velice blízké.

Samostatnou kapitolu tvoří nádrže, kde se hodnota MZP nestanovuje na základě metodického pokynu, ale podle účelu vodního díla a tedy na základě vodohospodářského řešení nádrže. Z hlediska stanovení hodnot MZP je nemožné odvodit univerzální vzorec pro výpočet MZP, který by byl aplikovatelný na multifunkční vodní díla, nebo tato vodní díla kategorizovat podle určitých parametrů a následně pro ně odvodit příslušný algoritmus výpočtu MZP. Jaké řešení a přístup zvolit? Přestože nové nařízení nebude mít zpětnou platnost, je zde v případě nádrží riziko, že v rámci přehodnocení manipulačního řádu může dojít i k přehodnocení MZP. To s sebou nese riziko, že nově nastavený MZP způsobí problémy z hlediska zabezpečení jednotlivých funkcí nádrže a nádrž nebude schopna plnit svoji funkci např. zásobování pitnou vodou. Aby k těmto situacím nedocházelo, mělo by nařízení vlády umožnit výjimku, která by umožnila stanovit MZP odpovídající účelům vodního díla. Z hlediska nádrží je nutné se domnívat, že tuto výjimku bude nutno uplatnit na všechny významnější nádrže v ČR.



Obr. 7. Plošná distribuce změny hodnoty MZP (návrh/současná hodnota) – (hlavní sezona)

Fig. 7. Area distribution of change in the value of the MZP (proposal/current value) – (main season)

ZÁVĚR

Závěrem lze konstatovat, že problematiku nového způsobu stanovení MZP čeká jistě zajímavá diskuse. Diskuse bude o to zajímavější, že v současnosti probíhá meziresortní připomínkové řízení. Z důvodu zpracování nařízení vlády v paragrafovém znění jsou totiž možnosti nastavení specifických kritérií, např. formou doporučení, velice omezené.

Poděkování

Autoři by rádi poděkovali všem, kteří spolupracovali nejen na přípravě nového přístupu, ale i těm, kteří se svou konstruktivní kritikou zasloužili o vývoj přístupu až do současné podoby.

Literatura

- [1] MZP. Metodický pokyn odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích č. j. ZP16/98, 1998. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/\\$file/metod.html](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/$file/metod.html)
- [2] Ecological flows in the implementation of the Water Frame Directive, Guidance document No. 31.
- [3] BOVEE, K.D., LAMB, B.L., BARTHOLOW, J.M., STALNAKER, C.B., TAYLOR, J., and HENRIKSEN, J. Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology: U.S. Geological Survey Information and Technology Report 1998-0004. 1998, 130 p. Dostupné z: <http://www.fort.usgs.gov/Products/Publications/3910/preface.html>
- [4] BALVÍN, P. a MRKVIČKOVÁ, M. Stanovení minimálních zůstatkových průtoků. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace (VTEI), 2011, roč. 53, č. 4, s. 1–3, příloha Vodního hospodářství č. 2011.
- [5] EK. Environmental Flows as a Tool to Achieve the WFD Objectives – discussion paper, 2012. Dostupné z: <https://circabc.europa.eu/sd/d/0898cf3d-657a-4018-b53d-b34ac3460997/55171-Eflows-Discpap-Ed2-20120613.pdf>
- [6] FASC. Federal Law on the Protection of Water 814.20. The Federal Assembly of the Swiss Confederation, 1991.
- [7] VIZINA, A., VLNAN, R., KAŠPÁREK, L., HANEL, M. a HRABÁNKOVÁ, A. Hydrologické sucho v České republice. SOVAK, 2015, 7–8/2015, s. 38–43.

Autoři

Ing. Pavel Balvín¹

✉ pavel.balvin@vuv.cz

Ing. Adam Vizina, Ph.D.^{1,2}

✉ adam.vizina@vuv.cz

¹Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.

²Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita v Praze

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DETERMINATION OF MINIMUM RESIDUAL FLOW VALUES IN THE CZECH REPUBLIC

BALVIN, P.¹; VIZINA, A.^{1,2}

¹TGM Water Research Institute, p. r. i.

²Faculty of the Environment, Czech University of Life Sciences in Prague

Keywords: minimum residual flow — government regulation — environmental flow

Based on the amendment to Act no. 254/2001 Coll. pursuant to the wording of Act no. 150/2010 Coll., the Ministry of Environment has been charged with the task of drafting a Government regulation on the method and criteria for determining the minimum residual discharge values. During the course of 2011 and 2012, the TGM Water Management Research Institute received a subsidy in this connection toward elaborating the methodology for determining the minimum residual discharge (MRD) and the methodology of measuring its values. The paper outlines the proposed MRD measuring methodology which serves as a basis for the Ministry of Environment drawing up the Government regulation proper.



Principy přístupu k řešení optimalizace ochrany vody a půdy v subpovodích řeky Svatky

JANA KONEČNÁ, PETR KARÁSEK, PETR FUČÍK, JANA PODHRÁZSKÁ, ROMAN HANÁK, STANISLAV RYŠAVÝ, LUKÁŠ SÝKORA, PETR DOLEŽAL, MICHAL KRIŠKA, MICHAL POCHOP, JOSEF KUČERA, SVATAVA KRÍŽKOVÁ

Klíčová slova: povodí Svatky — bodové a plošné zdroje znečištění — dusík — fosfor — nerozpuštěné látky — opatření pro udržení nebo zlepšení kvality vody

SOUHRN

V současné době je v kontextu rozvíjející se populace a probíhající klimatické změny stále více akcentována potřeba trvalého udržení množství a jakosti vody. Výzkumný projekt NAZV QJ1620040 byl zahájen v roce 2016 s cílem komplexně řešit možnosti snížení kontaminace povrchových vod jak z plošných, tak bodových zdrojů nerozpuštěnými látkami, dusíkem a fosforem v povodích vodních zdrojů. Na základě konzultací s podnikem Povodí Moravy, s. p., byla vybrána dvě modelová území v povodí Svatky: povodí Bílého potoka (u Poličky) a Kuřimky. V modelových povodích probíhá monitoring půd, sedimentů, kvality vody a hydrologických charakteristik a systematická terénní šetření. Výsledky za rok 2016 ukazují na rozdílnost obou modelových povodí jak v přírodních a zemědělských podmínkách, tak ohroženosti vodní erozí, rozsahem oblastí půd s nízkou retencí vody a živin. Rozdílná je také intenzita zatížení bodovými zdroji. Výstupy projektu budou dokončeny v roce 2018 a to ve formě jakostního modelu, metodiky Optimalizace ochrany vody a půdy v povodí vodních zdrojů a užitého vzoru zařízení pro eliminaci vstupu vybraných rizikových látek z malých vodních nádrží do vodních toků.

ÚVOD

Udržení jakosti a množství vody v zemědělské krajině a omezení dopadů extrémních srážko-odtokových situací patří mezi významné problémy, které jsou v současnosti stále více akcelarovány v důsledku probíhající klimatické změny a rozvoje potřeb lidské společnosti. Ochrana vody je v ČR věnována adekvátní legislativní opora i odborná pozornost. Přesto realizace účinných opatření, zejména na omezení plošného zemědělského znečištění, často naráží na překážky. Nové možnosti a přístupy může otevřít aplikace posledních poznatků vědy, multidisciplinární přístup a využití moderních technologií.

Hlavním cílem projektu QJ1620040 do konce období řešení (31. 12. 2018) je navrhnout komplexní postup pro snížení kontaminace povrchových vod jak z plošných (zejména zemědělských), tak bodových zdrojů nerozpuštěnými látkami, dusíkem a fosforem v povodích vodních zdrojů. Pro rok 2016 byl stanoven dílčí cíl Zpracovat charakteristiky zájmového území, jeho přírodních a antropických podmínek, shromáždit vstupní data a mapové podklady, připravit podklady pro analýzu retence vody v území, založit doplňující měření (hydrologická, lyzimetrická, pedologická).

Negativní dopady klimatické změny se na území České republiky začínají projevovat dvěma způsoby. Na jedné straně se zvyšuje výskyt a intenzita extrémních srážek a v jejich důsledku je půda poškozována vodní erozí. Produkty eroze následně zanášejí vodní toky a nádrže, snižují jejich jímací kapacitu a negativně ovlivňují i kvalitu vody. Z výsledků údajů sledovaných ČHMÚ a modelových výpočtů vyplývá, že na území České republiky lze rovněž v důsledku klimatických změn předpokládat častější výskyt sucha, a to nejen v důsledku nedostatku srážek, ale také kvůli postupnému nárůstu teploty vzduchu a zvyšování výparu [1]. Těmito jevy nebude dotčeno pouze množství vody, ale také její kvalita. Pokud nedojde k omezení produkce z bodových a plošných zdrojů znečištění, budou stoupat koncentrace živin a rizikových látek ve vodách. Omezení tohoto rizika je v současné době vnímáno mj. jako jeden z klíčových úkolů politiky ČR [2].

Vodní nádrže jsou systémy citlivé na nadbytek živin. Eutrofizace je v současnosti výrazný problém většiny větších nádrží, které mají povodí s antropogenním zatížením. Pro vodárenské nádrže je pak toto riziko ještě významnější. Je tedy třeba zabránit eutrofizaci těchto vodních nádrží, případně zmírnit její dopady, aby nebyl ohrožen odběr pitné vody. Bylo prokázáno, že rozvoj eutrofizace ovlivňuje především zatížení fosforem z bodových zdrojů (např. [3 a 4]). Redukce obsahu fosforu v biologických čistírnách odpadních vod prostřednictvím odstraňování fosforu do nově syntetizované biomasy obvykle nedostahuje k tomu, aby bylo dosaženo požadovaného snížení zbytkového znečištění v parametru P_{celk} . Je proto třeba zavést čistící operaci zaměřenou speciálně na fosfor. Ten může být z vody odstraněn biologicky nebo chemicky.

Mezi plošné zdroje potenciálního zemědělského znečištění povrchových vod řadíme plochy zemědělské půdy ležící bezprostředně při březích povrchových vodních toků a ploch, erozně ohrožené svahy orné půdy, lokality s výskytem půd s rizikem zrychlené infiltrace a vyplavování živin, včetně ploch orné půdy navazujících na vybudované odvodňovací systémy. Kritické zdrojové plochy jsou obecně enklávy, kde se protínají zvýšené obsahy živin (N nebo P) v půdě s vysokým potenciálem tvorby či cesty rychlého povrchového či podpovrchového odtoku vody a jsou považovány za dominantní původce plošných zdrojů znečištění vod. V zahraničí jsou tyto lokality vymezovány řadou způsobů a přístupů, dnes převážně v GIS, založených na hodnocení odtokových linií či zón v kombinaci s plochami saturace [5, 6]. Kromě ploch s výskytem povrchového odtoku to mohou být dále půdy mělké, promyšlené a/nebo odvodněné. Lokality s rizikem vyplavování živin z půdního profilu je možné vymezit překryvem půdních a geomorfologických charakteristik



Obr. 1. Lokalizace zájmových povodí – Bílý potok

Fig. 1. Localization of studied catchments – Bílý potok

(analýza podle kódu BPEJ = bonitovaných půdně ekologických jednotek) s vrstvou staveb zemědělského odvodnění [7, 8]. Dusík a dusičnany jsou hlavními produkty plošného znečištění vod ze zemědělství v důsledku zrychleného vyplavování. Fučík a kol. [9] prokázali, že vyplavování dusíku ze zemědělských půd lze omezit cíleným zatravněním v oblastech s rizikem zrychlené infiltrace.

Ideálním nástrojem pro správu povodí z hlediska snížení živinového zatížení představují bilanční modely jakosti vod. Tyto nástroje mají potenciál upozornit na slabá místa v povodí, na které je třeba zaměřit pozornost a také najít skupinu neefektivnějších opatření. V dnešní době pro účely modelování znečištění povrchových vod existuje řada nástrojů. Drtivá většina však pochází ze zahraničí a pro uplatnění v podmínkách České republiky naráží na problémy jako odlišnosti struktury vstupních dat či velikost zpracovávaného území (povodí). Státní podniky Povodí využívají Informační systém pro komplexní podporu procesu plánování v oblasti vod [10]. Cílem tohoto informačního systému bylo vyhodnotit možný efekt schváleného programu opatření navrženého v rámci plánů oblasti povodí. Ve výzkumu procesů v povodích se v poslední době často využívá model MIKE BASIN [11]. Jedná se o extenzi GIS systému ArcMap sloužící pro dynamické modelování bilance vody a koncentrace látek v systémech vodních toků. Tento kvazi-ustálený model proudění umožňuje schematizovat postup vlny v korytě. Schematizace kvality vody předpokládá advektivní transport, přičemž lze také modelovat rozpad během transportu kinetikou prvního řádu. Z novějších tuzemských poznatků v oblasti aplikace matematických modelů pro optimalizaci návrhů opatření ke snížení eutrofizace vodních nádrží lze uvést například metodiku Hejzlara a kol. [12] či aplikaci simulačního modelu jakosti povrchových vod SIJAK [3].

S ohledem na dlouhodobý cíl projektu a v souladu s jeho metodickými principy byla vybrána dvě modelová území. Nejprve se počítalo se zaměřením výzkumu na povodí Bílého potoka, který je nejsevernějším přítokem Svatky a ovlivňuje mimo jiné i kvalitu vody ve vodní nádrži Vír. Podle Průvodního listu povrchových vod [13] je celkový stav tohoto vodního útvaru nevyhovující (ekologický stav = nevyhovující, chemický stav = potenciálně nevyhovující). Na základě předběžného průzkumu území a zvážení nutnosti zobecnění výsledků projektu v závěru řešení bylo rozhodnuto, že dalším modelovým územím bude povodí řeky Kuřimky. Kuřimka reprezentuje významně odlišné přírodní podmínky ve srovnání s Bílým potokem. Je přímým přítokem Brněnské vodní nádrže [14] a rovněž se jedná o vodní útvar s celkově nevyhovujícím stavem (ekologický stav = nevyhovující, chemický stav = vyhovující). Výběr modelových území byl konzultován se zástupci Povodí Moravy, s. p., kteří tuto volbu podpořili.



Obr. 2. Lokalizace zájmových povodí – Kuřimka

Fig. 2. Localization of studied catchments – Kuřimka

MATERIÁL A METODY

Předmětem výzkumu je identifikace a analýza bodových a plošných zdrojů znečištění v modelových dílčích povodích řeky Svatky a následně optimalizace návrhů opatření pro udržení či potenciální zlepšení kvality povrchové vody. Pro splnění cíle v roce 2016, kterým bylo charakterizovat zájmová povodí Bílého potoka a Kuřimky (obr. 1 a 2), byly využity následující podklady:

- topografické mapy a ortofotomapy, DMT;
- vodohospodářské mapy;
- relevantní data ČHMÚ a Povodí Moravy, s. p.;
- LPIS a mapy BPEJ;
- databáze staveb odvodnění;
- dokumentace stávajících pozemkových úprav, ÚSES a ÚP.

Vedle shromáždění a analýzy vstupních podkladů s využitím metod GIS proběhly v obou zájmových povodích cílené terénní průzkumy. Pro účely projektu byly jako hlavní parametry kvality vody vybrány obsahy celkového fosforu (P_{celk}), celkového dusíku (N_{celk}) a nerozpuštěných látek (NL). Vedle nich budou účelově sledovány další parametry s ohledem na specifika médií (např. přístupné formy živin či obsahy uhlíku v půdách) či specifika dílčího problémového okruhu (např. v rámci výzkumu účinnosti plovoucích ostrovů).

Projekt předpokládá využití hydrometeorologických měření Povodí Moravy, s. p., a výsledků jejich monitoringu jakosti vody. Tato data budou účelově doplněna daty ČHMÚ.

Dotazníkovým šetřením je zjišťováno:

- způsoby využívání území, struktura plodin, způsoby zemědělského hospodaření, aplikace hnojiv;
- intenzita produkce ryb v rybnících, s tím spojené doplňování živin;
- účinnost stávajících ČOV a možnosti vybudování nových;
- parametry ostatních bodových zdrojů znečištění (obce, průmysl, živočišná výroba).



Obr. 3. Odběr smíšených půdních vzorků v lokalitě transektu K1 v povodí Kuřimky
Fig. 3. Taking of mixed soil samples in transect K1 in the Kuřimka catchment

- Dále je prováděn cílený monitoring a průzkumy za účelem zpřesnění dostupných dat:
- několikrát ročně odběry vzorků vody nad a pod potenciálními zdroji znečištění (ČOV, obce, rybníky aj.), stanovení obsahu P a N (v celkové a přístupné formě);
 - účelové měření hydrologických charakteristik;
 - odběry vzorků půdy (obr. 3) a sedimentů v erozně ohrožených lokalitách (v transektu od vrcholu svahu po úpatí a tok), stanovení obsahu P a N v celkové a přístupné formě;
 - odběry půdy a sedimentů přímo po erozní události, geometrické měření objemu ztráty půdy v důsledku erozní události (objemy rýh a sedimentačních kuželů).

Výsledky měření ztráty půdy vodní erozí a rozborů půdy, plavenin a sedimentů jsou porovnávány s výsledky matematických modelů dlouhodobé průměrné ztráty půdy vodní erozí (USLE – s vědomím rozdílnosti časového aspektu) a transportu látek (SDR, WaTEM/SEDEM).

Analýzou v prostředí GIS byly identifikovány oblasti s rizikem přímé kontaminace vodních útvarů (zorněné příbřežní zóny). Riziko vyplavování živin je dominantní pro infiltračně zranitelné oblasti, které byly identifikovány pomocí Syntetické mapy zranitelnosti povrchových vod a dokumentací odvodnění (stavbe odvodnění). Výsledky GIS analýz se ověřují terénním šetřením a pedologickým průzkumem.

Na základě dostupných hydrologických dat, vlastních měření a charakteristik území byl analyzován současný stav potenciální retence vody v krajině a byly modelovány odtokové charakteristiky v dílčích subpovodích a celém zájmovém povodí. Modelování probíhá s využitím prostředí GIS a vhodných softwarových

nástrojů (např. DesQ, HEC-HMS). Modelově bude následně posouzen vliv navržených opatření pro omezení plošného zemědělského znečištění na parametry extrémních odtoků a retenci vody v krajině. V případě potřeby budou rámcově navržena doplňující technická a přírodě blízká vodohospodářská opatření.

Jedním z dílčích cílů projektu je nalezení vhodného technického řešení pro snížení znečištění, odtékajícího z malých vodních nádrží. Jednat se bude o jednoduché zařízení, které lze osadit do vypouštěcích objektů – tzv. plovoucí ostrov. Zařízení je v současnosti testováno v laboratořích VUT v Brně (obr. 4) a byl založen poloprovozní pokus na rybníku v Oldřiši (povodí Bílého potoka).

Předmětem zkoumání v rámci řešeného projektu budou veškeré zdroje mající vliv na množství řešených látek ve vodních tocích. Výsledky průzkumů a výzkumu budou zpracovány v prostředí GIS a vloženy do bilančního modelu P a N v toku. Jako modelovací nástroj bude využit MIKE BASIN® DHI. Pomocí modelu bude vyhodnocen současný stav kontaminace povodí a podíl jednotlivých zdrojů a bude také simulována synergická účinnost opatření jak na bodových, tak na plošných zdrojích znečištění. Model pracuje mj. i s vlivem samočisticí schopnosti vodních toků.

Návrh opatření na plošných zemědělských zdrojích (s ohledem na všechny cesty transportu kontaminantů) v prostředí GIS bude zahrnovat různé způsoby hospodaření, organizační, agrotechnická i technická opatření. Při tom budou zohledněny podmínky a limity zemědělské výroby, charakter krajiny, její ekologická stabilita a estetika. Opatření biotechnického charakteru budou navrhována v návaznosti na územní systémy ekologické stability a s využitím metod krajinného plánování.

Dosažené poznatky za celý projekt budou zobecněny a syntetizovány ve formě výstupů, kterými budou odborné články, metodika, soubor map a užitečný vzor.

VÝSLEDKY

Charakteristika zájmových povodí

Bílý potok pramení východně od obce Pomezí, která se nachází v těsném sousedství města Poličky. V Poličce se do něj vlévají od jihu Modřecký a Janský potok. Nejdelším přítokem Bílého potoka je Černý potok, který pramení v k. ú. Borová a soutok se nachází v obci Kamenec u Poličky. Z Kamence pokračuje Bílý potok jihozápadním směrem a sbírá vodu z dalších přítoků z obou stran. Z významných to jsou postupně Žlebský potok, Šibeniční potok a Korouhevský potok. Bílý potok ústí do řeky Svratky v obci Lačnov a plocha povodí k tomuto uzávěru činí 100,5 ha. V povodí Bílého potoka se nachází mnoho vodních nádrží různého účelu – rybníky, koupaliště, záchytné a sedimentační nádrže.

Kuřimka pramení v lesích pod vrcholem Babí lom. Jejím prvním významnějším pravostranným přítokem je potok Lipůvka. V Kuřimi se do ní vlévá Podlesní a Luční potok a další menší lokální vodoteče. Na okraji Kuřimi na

Tabulka 1. Charakteristika klimatických regionů
Table 1. Characteristic of climatic regions

Povodí	Kód klim. regionu	Plošný podíl (%)	Charakteristika	Prům. roční teplota (°C)	Prům. roční úhrn srážek (mm)
Kuřimka	3	98,4	teplý, mírně vlhký	7,5–9	550–650
	5	1,6	mírně teplý, mírně vlhký	7–8	550–700
Bílý potok	7	38,1	mírně teplý, vlhký	6–7	650–750
	8	61,9	mírně chladný, vlhký	5–6	700–800



Obr. 4. Laboratorní pokusy pro stanovení účinnosti kořenového systému rostlin na zlepšení jakosti vody

Fig. 4. Laboratorial experiments for evaluation of efficiency of plants root system in water quality improvement

Lučným potoce se nachází malá vodní nádrž, která slouží pro rekreaci, jako koupaliště. V k. ú. Moravské Knínice přitéká z levé strany Batelovský potok, na kterém se nachází čtyři menší rybníky. Dále po toku následují dva pravostranné přítoky z polí a jeden z obce Chudčice. Kuřimka se vlévá do Svatky v k. ú. města Brna, a to přímo do horní části Brněnské nádrže. Nad ústím byla vybudovaná malá sedimentační nádrž, která tvoří uzávěrový profil zájmového povodí (plocha je 49 ha).

V povodí Bílého potoka se setkávají dva klimatické regiony – 7 a 8. Jedná se tedy o chladnější a vlhčí území než povodí Kuřimky, které se rozkládá převážně v klimatickém regionu 3 a částečně 5. Základní charakteristiky klimatických regionů podle Novotného, Vopravila a kol. [15] uvádí *tabulka 1*.

Z geomorfologického hlediska patří povodí Bílého potoka do provincie Česká vysočina a zasahuje do dvou rozdílných subprovincií. Severovýchodní část spadá do subprovincie České tabule, konkrétněji do Svitavské pahorkatiny. Jihozápadní část povodí se rozkládá na Hornosvratecké vrchovině, která patří již do Česko-moravské subprovincie. Pro reliéf Svitavské pahorkatiny jsou charakteristické ploché nebo jemně modelované pozvolné svahy a široká údolí vodních toků. Reliéf povodí v Hornosvratecké vrchovině se vyznačuje vyšší svažitostí a ostřejšími zářezy údolnic a vodotečí. Vrcholové a silně svažité partie

povodí jsou zalesněny. Nejnižším bodem povodí je uzávěrový profil s nadmořskou výškou 511 m, nejvyšším pak vrch Žižkov 753 m n. m. Průměrná nadmořská výška činí 632 m.

Povodí Kuřimky se řadí do provincie Česká vysočina, Česko-moravské subprovincie a převážně se rozkládá v Brněnské vrchovině. Konkrétněji zasahuje do čtyř nižších geomorfologických jednotek, a sice Křižanovské vrchoviny, Boskovické brázdy, Bobravské vrchoviny a Drahanské vrchoviny. Reliéf povodí tvoří dlouhé svahy, rozčleněné lokálními údolnicemi a údolími vodních toků. Výrazněji svažité části povodí jsou pokryty lesy. Katastrální území Moravské Knínice protíná v přibližně severo-j jižním směru nesouvislé lavicovité těleso staré dálnice, která nebyla nikdy dokončena, a v současnosti je buď využívána jako zemědělská půda, nebo je porostlá přirozeným náletem bylin a dřevin. Průměrná nadmořská výška povodí je 398 m a pohybuje se od 233 m (uzávěrový profil) po 562 m (Babí lom).

Povodí Bílého potoka zasahuje do dvou rozdílných geologických formací. Pro Českou křídovou pánev jsou jako podloží charakteristické opuky, tzn., že se zde střídají slínovce a vápnito-jílovité pískovce a na nich se vyvinuly kambizemě modální. V oblasti krystalinika se jako podloží střídají převážně pararuly, diority a granodiority. Také zde převažují kambizemě modální, ale ve vyšších

Tabulka 2. Druhy pozemků v zájmových povodích
Table 2. Land use in studied catchments

Druhy pozemků	Bílý potok		Kuřimka	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Orná půda	3 639,31	36,21	1 600,30	32,66
TTP	1 955,13	19,45	68,35	1,39
Lesy	2 720,05	27,07	2 082,80	42,50
Ostatní	1 735,01	17,26	1 148,70	23,44

polohách přecházejí v dystrickou varietu. Podél Bílého potoka se vyvinuly fluvizemě modální až glejové na smíšených nivních sedimentech. Glejové půdy se vyskytují v údolích menších toků. V lokálních depresích na svahových sedimentech vznikly pseudogleje modální a kambizemě oglejené. Zrnatostní složení půd je převážně střední (hlinité) až lehčí střední (písčito-hlinité).

Povodí Kuřimky je tvořeno brněnským masímem, pro který je charakteristický pestrý výskyt hornin: granity, granodiority, lokálně vápence, slepence, brekie a droby. Ve svahových polohách na uvedených horninách se nacházejí především kambizemě modální, doprovázené pararendzinami a pseudoglejemi. V údolních polohách a na plošinách jsou podložní horniny překryty vrstvou spraší a sprašových hlín. Ty představují matečný substrát pro převládající půdní typy v území, kterými jsou hnědozemě modální a luvizemě modální (včetně oglejených variet). Lokálně se na spraších vyvinuly i černozemě, které jsou zde však degradované. Údolí vodních toků jsou vyplněna smíšenými sedimenty a na ně navazuje výskyt různých hydromorfních půd jako fluvizemě, gleje a černice. Zrnatostně se jedná převážně o kvalitní hlinité středně těžké půdy.

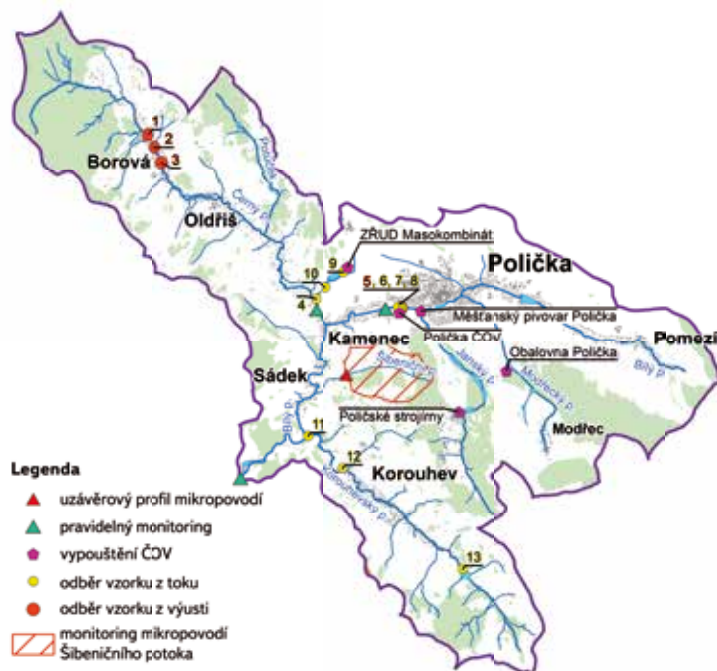
Rozdíly v druzích pozemků v zájmových povodích dokumentuje *tabulka 2*. V povodí Bílého potoka je vyšší podíl orné půdy než v povodí Kuřimky, což je dáno vysokým zorněním severovýchodní části povodí v oblasti České tabule.

Bodové zdroje znečištění

Bodové zdroje představují zásadní kategorii pro velikost zatížení toků P_{celk} . Pod tuto kategorii řadíme veškeré komunální zdroje (bez ohledu na způsob vypouštění, tzn. i ze septiků s trativody apod.) a průmyslové zdroje. Analýzu bodových zdrojů znečištění a tvorbu jakostního modelu pro účely výzkumného projektu garantuje firma AQUATIS, a. s.

Byl proveden podrobný průzkum toků v obcích, které se nachází v obou zájmových územích. Došlo k detailnímu zmapování všech výústí, které vedou do vodního toku. Dále byly zjišťovány údaje od místních obyvatel, což posloužilo k upřesnění některých popisů výústí. Z vybraných výústí byly odebrány vzorky, které Vodohospodářská laboratoř Povodí Moravy, s. p., analyzovala na následující parametry: BSK_5 ; $CHSK_{Cr}$; NL_5 ; $N-NH_4$; $P-PO_4$; P_{celk} a N_{celk} . Byly také odebrány vzorky z toku, které pomohly lépe lokalizovat a kvantifikovat zdroje znečištění. Monitorovací lokality v povodí Bílého potoka prezentuje *obr. 5*.

Zástavba v povodí Bílého potoka je většinou roztržštěná, sestávající z jednotlivých volně stojících domů. V neodkanalizovaných obcích není vybudována ani dešťová kanalizace (až na poměrně krátké úseky v některých obcích). V těchto obcích je pak převládající způsob likvidace odpadních vod řešen formou septiků s trativody (*obr. 6*). Město Polička má vybudovanou částečně splaškovou a částečně jednotnou kanalizaci. Odpadní vody z těchto dvou sídelních útvarů jsou likvidovány na ČOV Polička. Na tuto čistírnu je napojeno 95 % obyvatel města Poličky a téměř celé Pomezí. Odlehčování vody z této ČOV má zásadní podíl na znečištění Bílého potoka.



Obr. 5. Situace bodových zdrojů a monitorovacích lokalit v povodí Bílého potoka

Fig. 5. Situation of point sources and monitored localities in the Bílý potok catchment

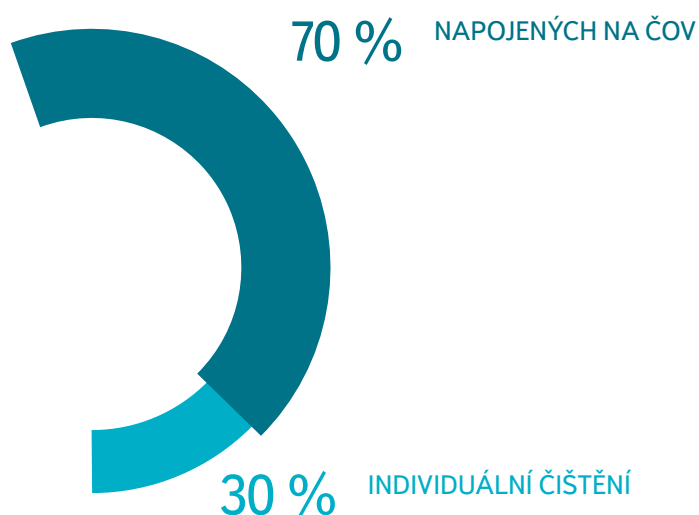
Dalším výrazným zdrojem znečištění Bílého potoka jsou vody přitékající z dočišťovacích rybníků od firmy ZRUD Masokombinát, a. s., které se vlévají do Černého potoka v obci Sadek. Tento jev byl v době pochůzky (20. 9. 2016) patrný pouhým okem, kdy do čiré vody Černého potoka natékala šedo-bíle kalná voda z přítoku od rybníků. Vysoké zatížení rybníků je dáno také praxí ČOV masokombinátu vypouštět do těchto nádrží čistírenský kal produkovaný čistírnou. Na tuto nezákonnou činnost byl upozorněn správce povodí, který předal věc k řešení ČIŽP.

Obce v povodí Kuřimky jsou (až na obec Svinošice) odkanalizovány do jiného povodí, na ČOV Modřice a Veverská Bítýška. Nejvýznamnějším producentem odpadních vod je v tomto zájmovém území město Kuřim. Přehled způsobů likvidace odpadních vod uvádí *obr. 7*.

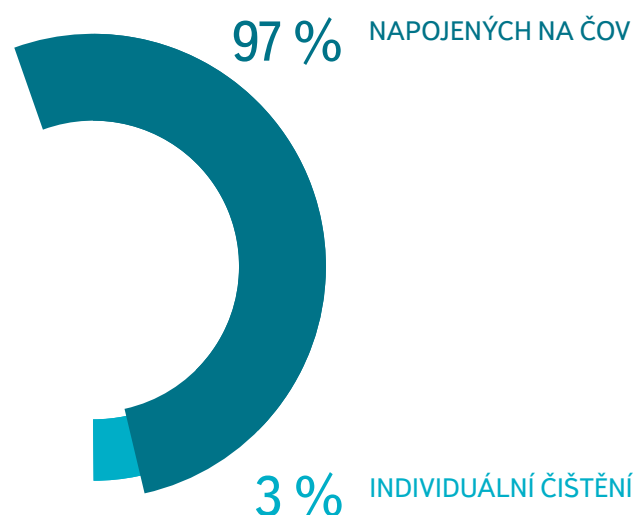
Plošné zdroje znečištění

Na základě analýzy erozní ohroženosti zájmových území bylo zjištěno, že průměrná dlouhodobá ztráta půdy vodní erozí je v povodí Kuřimky ($G = 11,15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) výrazně vyšší než v povodí Bílého potoka ($G = 4,05 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$). Důvodem je synergické působení více příčinných faktorů. V povodí Kuřimky jsou jako orná půda intenzivně využívány dlouhé svahy s průměrným sklonem nad 7° . Navíc se zde vyskytují půdy s vyšším rizikem erodovatelnosti (vyšším faktorem K). V povodí Bílého potoka je průměrná svažítost celkově nižší a strmé svahy jsou v současné době většinou zatravněny.

Koncem července 2016 proběhly v povodí Bílého potoka výrazné bouřky. Jejich účinek, při kterém došlo k vytvoření erozních rýh a transportu půdních částic (*obr. 8*), byl zaznamenán pouze na půdním bloku v k. ú. Oldřich, kde byly pěstovány brambory a řádky vedly po spádnici. Výsledky analýzy vzorků půdy a sedimentů ukazují na určitou tendenci ochuzování půdy ve vrcholových partiích o živiny a jejich akumulaci v úpatí. Tento závěr je třeba ještě potvrdit na základě opakování odběrů a analýz.



Obr. 6. Způsob likvidace odpadních vod v povodí Bílého potoka
Fig. 6. Way of sewage water disposal in the Bílý potok catchment



Obr. 7. Způsob likvidace odpadních vod v povodí Kuřimky
Fig. 7. Way of sewage water disposal in the Kuřimka catchment

Byla vyčíslena plocha zemědělské půdy v příbřežních pásmech podél vodních toků a ploch (tabulka 3), a to ve čtyřech kategoriích: ve vzdálenosti do 5, 25, 50 a 100 m od břehové čáry. Z uvedených tabulek vyplývá, že v povodí Kuřimky sahají bloky orné půdy častěji blízko k vodním útvarům. Z celkové výměry orné půdy v povodí Kuřimky (1 600 ha) se 0,2 % vyskytuje ve vzdálenosti menší než 5 m od břehů a 3,4 % ve vzdálenosti do 25 m. V povodí Bílého potoka je jako orná půda využíváno pouze 0,03 % půdy v pásmu do 5 m a 0,6 % půdy ve vzdálenosti do 25 m.

V povodí Bílého potoka zabírají půdy zařazené do rizikových kategorií infiltrační zranitelnosti (1 = velmi vysoká, 2 = vysoká) 4 370,5 ha, což je 43,5 % z plochy povodí (tabulka 4). V povodí Kuřimky je to potom 284 ha, což je pouze 5,8 % z plochy povodí. Riziko vyplavování živin je tedy plošně potenciálně rozsáhlejší v povodí Bílého potoka, které se také vyznačuje větším zastoupením drenážních systémů. Stavby odvodnění zaujímají v povodí Bílého potoka plochu 1 642 ha (16,34 % z plochy povodí), v povodí Kuřimky potom 352,6 ha (7,2 % z plochy povodí).

Tabulka 3. Podíl zemědělské půdy v příbřežních pásmech vodních útvarů
Table 3. Rate of agricultural land in riparian zones of water bodies

Povodí	Způsob užívání	Výměra (ha) v příbřežním pásmu				Podíl (%)			
		do 5 m	do 25 m	do 50 m	do 100 m	do 5 m	do 25 m	do 50 m	do 100 m
Bílý potok	Orná	1,1	20,8	65,4	220,6	0	0,6	1,8	6,1
	TTP	8,3	100,9	241,8	509,7	0,4	5,2	12,4	26,1
Kuřimka	Orná	2,7	53,7	130,5	291,4	0,2	3,4	8,2	18,2
	TTP	0,8	5,6	10,5	15,5	1,3	9,4	17,5	25,7

TTP = trvalý travní porost

Tabulka 4. Zařazení půd do kategorií infiltrační zranitelnosti
Table 4. Soil classification according to categories of infiltration vulnerability

Kategorie	Bílý potok		Kuřimka	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)
1	317,01	3,15	9,58	0,20
2	4053,51	40,34	274,34	5,60

Retence vody v krajině

Ze základní analýzy retence vody v krajině, uskutečněné firmou Agroprojekt PSO, s. r. o., lze vybrat následující závěry:

- Současná retence je v povodí Bílého potoka ovlivněna pouze nádržemi v Poličce a do určité míry i soustavami nádrží v k. ú. Polička a Jedlová u Poličky. Ostatní nádrže nemají významný vliv, a to buď z důvodu jejich malé velikosti, nebo z důvodu jiného účelu, než je retence (rybochovné nádrže s malým retenčním prostorem).
- V povodí Kuřimky je pouze jedna nádrž s významnějším retenčním účinkem a to nad Kuřimí.
- V povodí Bílého potoka je v územních plánech (ÚP) navržena celá řada retenčních opatření, některá jsou již ve výstavbě (např. v k. ú. Korouhev – obr. 9).
- V povodí Kuřimky jsou v ÚP navrženy dva poldry v bezprostřední blízkosti města. Jejich parametry jsou orientačně dány generelem.
- Návrh retenčních nádrží v pozemkových úpravách není, a to ani v již realizovaných.

V rámci projektu bude v další fázi rovněž prověřena retenční účinnost navržených protierozních opatření. Určité vymezení opět poskytují ÚP, kde jsou definovány lokality s ohrožením vodní erozí. Návrh optimalizovaných opatření ochrany půdy a vody a posouzení jejich účinnosti bude řešen v další fázi projektu.

Opatření ochrany půdy a vody

POZEMKOVÉ ÚPRAVY

Analýza stavu pozemkových úprav byla provedena pro katastrální území (k. ú.) vymezená povodími jednotlivých toků. V povodí Kuřimky se nachází pět katastrálních území s ukončenou komplexní pozemkovou úpravou (KoPÚ) a jedno se zahájenou. V povodí Bílého potoka KoPÚ v podstatě neprobíhají.

Z pohledu návrhu určitých opatření, která by potenciálně mohla mít vliv na zlepšení kvality vody (protierozní a vodohospodářská opatření), je možné uvést, že v rámci plánů společných zařízení (PSZ) bylo v povodí Kuřimky navrženo velmi málo a navíc realizace PSZ silně vázne. V k. ú. Moravské Knínice je v PSZ navrženo pět protierozních mezí s travnatým pásem šířky 4 m o celkové výměře cca 0,73 ha. Dále je v tomto k. ú. navržena jedna zatravněná údolnice. V k. ú. Chudčice je navrženo zvýšení podílu trvalých travních porostů (TTP) a zalesnění o celkové výměře cca 21,2 ha. Jedná se o zatravněnou údolnici v lokalitě U Dubu, dále o zatravnění v jihozápadní části území bezprostředně nad obcí. Součástí návrhu jsou dvě sedimentační jímky, které určitým způsobem omezují přísun splavenin do povrchových toků. V k. ú. Kníníčky byla navržena liniová zeď podle polních cest, dále plošná výsadba na povrchu rekultivované skládky a mokřad. Z protierozních opatření je možné zmínit převedení části pozemků do TTP.



Obr. 8. Následky erozní události v povodí Bílého potoka
Fig. 8. Effect of erosion event in the Bílý potok catchment



Obr. 9. Retenční nádrž v k. ú. Korouhev
Fig. 9. Retention reservoir in Korouhev

Pro potřeby řešení projektu je skutečnost, že KoPÚ neproběhly v převážné části povodí přínosná, neboť je tak možné jako jeden z výsledků doporučit vhodná opatření, která mohou pozitivně působit na zvýšení kvality povrchové vody a retence vody v řešeném území. Rovněž je v rámci řešení projektu otevřen prostor připravit návrh opatření k omezení degradace zemědělských půd a transportu živin a splavenin do vodních toků.

OPATŘENÍ NA VODNÍCH NÁDRŽÍCH

Vliv plovoucích ostrovů osazených rostlinami na jakost vody je zkoumán ve speciálních korytech (lyzimetrech) v laboratoři VUT v Brně. První výsledky (tabulka 5) ukazují na výrazně lepší účinnosti, zejména u znečištění N-NH₄⁺. Přestože prostor pod plovoucím ostrovem by měl vykazovat anaerobní prostředí, doprovázené nižší účinností odstranění amoniakálního dusíku, naše výstupy ukazují na naopak silnou nitrifikační schopnost ve srovnání s vodou, která je vystavena volné vodní hladině (doprovázeno vlivem slunečního záření, přestupem kyslíku hladinou apod.). Testovací lyzimetr, který je vystavený stojící vodě,

Tabulka 5. Účinnost odstranění znečištění u vybraných parametrů (%)
Table 5. Efficiency of pollution removal in chosen parameters (%)

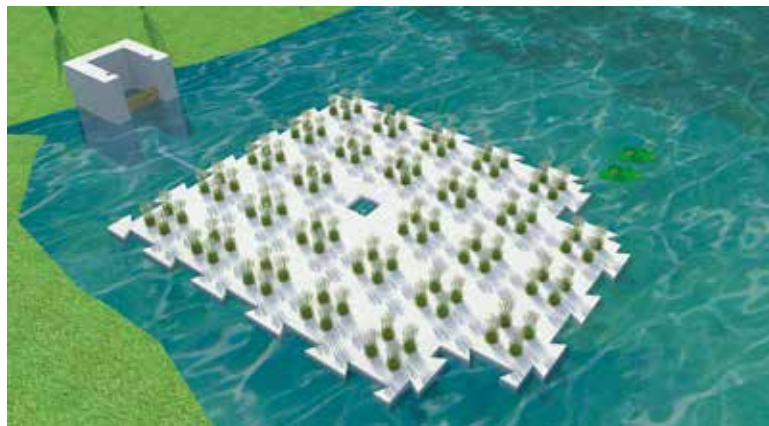
Parametr	Varianta	Den			
		7	13	21	27
N-NH₄⁺	Ostrov	86	100	100	100
	Hladina	-10	17	34	51
	Zima	-19	-7	-9	-2
CHSK	Ostrov	46	55	73	71
	Hladina	66	69	74	70
	Zima	60	58	61	63
P_{celk}	Ostrov	6	18	39	50
	Hladina	-1	-2	4	2
	Zima	0	-3	-4	-2

vykazuje již po sedmidenní expozici účinnost 86 %. Hodnotu je nutno brát jako specifickou pro dané počáteční a okrajové podmínky, zejména s ohledem na absenci průtočného prostředí.

U parametru CHSK nevykazují výsledky zásadních rozdílů, nicméně lze očekávat, že právě v případě uplatnění proudění (až bude osazeno před vypouštěcím objektem) bude docházet k účinné filtraci kořenovým systémem, což s největší pravděpodobností bude mít vliv na zachycení nerozpuštěných látek, které z větší části vytváří znečištění CHSK.

Vitáným výsledkem je vysoká účinnost v odstranění celkového fosforu (P_{celk}). V případě lyzimetru s umístěným plovoucím ostrovem se dosahuje po měsíční expozici až 50 % odstranění. Tento výsledek opět bude v reálném provozu ovlivněn řadou vnějších vlivů a vstupujících faktorů.

V současné době probíhá na výzkumném pozemku testování celkem 14 ks plovoucích ostrovů (přibližná velikost 0,6 × 0,6 m). Pro toto nové zařízení je rozpracována přihláška užitého vzoru, založená na uspořádání plovoucího ostrova v kombinaci s vypouštěcím (požerákovým) objektem, viz obr. 10. Instalace tohoto technického řešení byla zahájena na malé vodní nádrži v povodí Bílého potoka a započne testování v poloprovozních podmínkách.



Obr. 10. Vizualizace budoucího užitého vzoru
Fig. 10. Visualization of future utility model

ZÁVĚR

Byla shromážděna vstupní data a mapové podklady k vybraným modelovým povodím. Na jejich základě a výsledků rekognoskační terénu byla vypracována charakteristika území. V povodích byly zahájeny monitorovací kampaně zaměřené na obsahy sledovaných živin v půdách, sedimentech a vodách. Byla zjištěna a zdokumentována rozdílnost přírodních podmínek a charakteristik bodových a plošných zdrojů znečištění v obou zájmových povodích a tím potvrzena vhodnost vybraných území pro následné zobecnění dosažených poznatků.

Originalita výzkumného projektu spočívá v komplexním pojetí ochrany půdy a vody jako vzájemně se ovlivňujících médií, v šíři ukazatelů (N, P, nerozp. látky) a dále v kvantifikaci časoprostorové dynamiky všech jejich relevantních vstupů. Výstupy projektu poskytnou uživatelům podrobné informace o stavu a proměnlivosti plošného a bodového znečištění v zájmových subpovodích řeky Svratky. Dosažené poznatky budou zobecněny pro podmínky ČR a na základě optimalizačního matematického modelu bude vypracován variantní návrh opatření tak, aby jeho zásady mohly být účinně prosazovány v plánech povodí, pozemkových úpravách, plánovací dokumentaci. Výstup projektu také vytyčí směry, konkrétní nástroje a případně potřebné legislativní změny pro dosažení zlepšení kvality povrchových vod v povodích s ohledem na trvale udržitelné zemědělské hospodaření a tvorbu a ochranu krajiny.

Poděkování

Příspěvek byl vytvořen díky podpoře MZe ČR v rámci projektu NAZV QJ1620040 a MZE RO0217. Děkujeme Povodí Moravy, s. p., za poskytnutí dat o jakosti vody z pravidelného monitoringu, údajů z limnigrafů a podkladové GIS vrstvy s lokalizací evidovaných výustí.

Příspěvek byl publikován ve sborníku konference Vodní nádrže 2017, ISBN 978-80-905368-5-2.

Literatura

[1] ROŽNOVSKÝ, J., FUKALOVÁ, P. a POKLADNÍKOVÁ, H. Predikce klimatu jižní Moravy. In: *Voda v krajině*. ČHMÚ, Lednice, 31. 5.–1. 6. 2010.

[2] Usnesení vlády České republiky č. 620/2015 k přípravě realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody.

[3] ROSENDORF, P. a kol. Metodika hodnocení eutrofičního potenciálu zdrojů fosforu v povodí vodních nádrží. In: *Vodní nádrže 2013*. Sborník. Brno: Povodí Moravy, s. p., 25.–26. 9. 2013, s. 44–50.

[4] RYŠAVÝ, S. a kol. *Jakostní model povodí Jihlavy nad VD Dalešice*. Brno: Pöyry Environment, a. s., 2013, 279 s.

[5] BUCHANAN, B., et al. Incorporating variable source area hydrology into a spatially distributed direct runoff model. *JAWRA*, 2012, vol. 48, No. 1, p. 43–60.

[6] THOMAS, I.A., et al. Improving the identification of hydrologically sensitive areas using LiDAR DEMs for the delineation and mitigation of critical source areas of diffuse pollution. *Science of the Total Environment*, 2016, 556, p. 276–290.

[7] FUČÍK, P., ZAJÍČEK, A., DUFFKOVÁ, R., and KVÍTEK, T. Water quality of agricultural drainage systems in the Czech Republic – options for its improvement. In: *Research and practices in water quality*, 2015, p. 241–262. DOI: 10.5772/59298.

[8] NOVÁK, P., DVOŘÁKOVÁ, E., MICHLÍČEK, E., SLAVÍK, J. a HARTLOVÁ, L. Metodika konstrukce syntetických map potenciální zranitelnosti podzemních vod pro území České republiky. *Geodetický a kartografický obzor*, 2010, 9, s. 189–193.

[9] FUČÍK, P. a kol. *Posuzování vlivu odvodňovacích systémů a ochranných opatření na jakost vody v zemědělsky obhospodařovaných povodích drobných vodních toků*. Metodika. Praha: VÚMOP, v. v. i., 2010, 90 s.

[10] MAŤA, M. a METELKA, T. *Informační podpora procesu plánování v oblasti vod a naplnění požadavků Rámcové směrnice*. Praha: MZe ČR, DHI Hydroinform a. s., 2005, 47 s. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/37094/IPPPPOV_v_2_1_.pdf

[11] MIKE BASIN [online]. ©DHI, 2016. [cit. 24. 11. 2016]. Dostupné z: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-hydro-basin>

[12] HEJZLAR, J. a kol. Vliv eutrofizace na jakost vody v nádržích: metodika hodnocení přísunu živin z povodí a protieutrofiční odolnosti nádržového ekosystému. In: *Pitná voda 2008*, České Budějovice: W&ET Team, 2008, s. 47–52.

[13] Bílý potok [online]. © Povodí Moravy, s. p., 2017. [cit. 17. 10. 2017]. Dostupné z: http://www.pmo.cz/pop/2009/Dyje/end/inf_listy/prilohy/D030.pdf

[14] Brněnská nádrž [online]. © Povodí Moravy, s. p., 2017. [cit. 17. 10. 2017]. Dostupné z: http://www.pmo.cz/pop/2009/Dyje/end/inf_listy/prilohy/D045.pdf

[15] NOVOTNÝ, I., VOPRAVIL, J. a kol. *Metodika mapování a aktualizace BPEJ*. Praha: VÚMOP, v. v. i., 2013, 174 s.

Autoři

Ing. Jana Konečná, Ph.D.¹
✉ konecna.jana@vumop.cz

Mgr. Petr Karásek¹
✉ karasek.petr@vumop.cz

Ing. Petr Fučík, Ph.D.¹
✉ fucik.petr@vumop.cz

doc. Ing. Jana Podhrázká, Ph.D.¹
✉ podhrazska.jana@vumop.cz

Ing. Roman Hanák²
✉ roman.hanak@aquatis.cz

Ing. Stanislav Ryšavý²
✉ stanislav.rysavý@aquatis.cz

Ing. Lukáš Sýkora²
✉ lukas.sykora@aquatis.cz

Ing. Petr Doležal³
✉ petr.dolezal@agroprojektspo.cz

Ing. Michal Křiška, Ph.D.⁴
✉ kriska.m@fce.vutbr.cz

Ing. Michal Pochop¹
✉ pochop.michal@vumop.cz

Ing. Josef Kučera¹
✉ kucera.josef.jr@vumop.cz

Ing. Svatava Křížková¹
✉ krizkova.svatava@vumop.cz

¹Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i.

²AQUATIS, a. s.

³Agroprojekt PSO, s. r. o.

⁴VUT v Brně

Příspěvek prošel lektorským řízením.

PRINCIPLES OF APPROACH TO OPTIMIZATION OF WATER AND SOIL PROTECTION IN THE SVRATKA RIVER SUB-BASINS

**KONECNA, J.¹; KARASEK, P.¹; FUCIK, P.¹; PODHRAZSKA, J.¹;
HANAK, R.²; RYSAVY, S.²; SYKORA, L.²; DOLEZAL, P.³;
KRISKA, M.⁴; POCHOP, M.¹; KUCERA, J.¹; KRIZKOVA, S.¹**

¹Research Institute for Soil and Water Conservation, p. r. i.

²AQUATIS, a. s.

³Agroprojekt PSO, s. r. o.

⁴BUT in Brno

Keywords: Svratka river catchment –
point and non-point pollution sources –
nitrogen – phosphorus – suspended solids –
water quality mitigation measures

Presently a demand of sustainable maintenance of water quantity and quality is more and more accented in context of population booming and actual climate change. A research project no. QJ1620040, supported by the Czech Agricultural Research Agency, has started in 2016 with the aim to assess the options for reduction of water pollution both from point and non-point sources with suspended solids, nitrogen and phosphorus in drinking water sources catchments. Based on consultations with Povodí Moravy, s.p. (Morava River Management Authority), two model catchments were chosen in the Svratka river watershed: catchment of Bílý potok (near the Polička town) and Kuřimka. Monitoring of soils, sediments, water quality and hydrological characteristics and systematic terrain investigation proceeds in these model catchments. Results from the year 2016 show differences of both catchments in natural and agricultural conditions, degree of soil erosion and the extent of soil areas with low water and nutrient retention capacity. Pollution load pattern from point sources is different too in these catchments. Outputs of the project will be finished in 2018. A qualitative catchment hydrochemical model will be assembled as well as a methodics "Optimization of water and soil protection in drinking water resources basins". Further, a new utility design will be prepared for elimination of risky substances transport from small water reservoirs to streams.

Informace o ORAM

JIŘÍ ŠAJER

Klíčová slova: havarijní znečištění – okamžitý vnos – jakost vody – 1D modelování – Pearsonovo rozdělení III. typu

SOUHRN

Odra River Alarm Modul (ORAM) bude součástí projektu NAVAROSO. V posledních dvaceti letech nejsou k dispozici žádné výsledky ze stopovacích pokusů české části řeky Odry. Z toho důvodu byly pro analýzu použity výsledky ze stopovacích pokusů na řece Svitavě. Tento článek je specificky zaměřen na analýzu pěti průnikových křivek. Nejlepší aproximace průnikové křivky ve všech pěti případech byla dána rovnicí (5) – Pearsonovým rozdělením III. typu. Počítá se s tím, že výsledky analýzy budou použity při tvorbě ORAM.

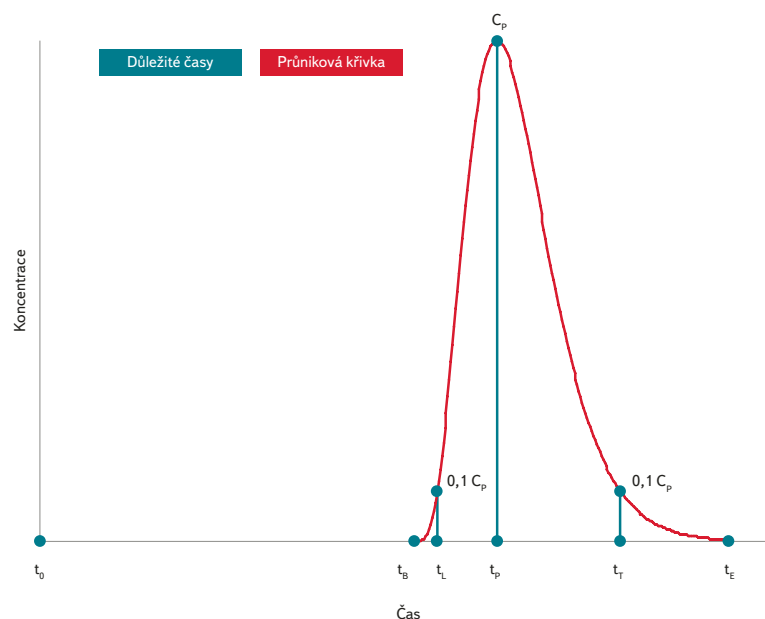
ÚVOD

Pro modelování šíření havarijního znečištění v tocích se obvykle používají 1D modely. Jako příklady možno uvést Rhine Alarm Model (RAM), Danube Basin Alarm Model (DBAM), Poplachový model Labe (ALAMO), v USA je to například model RiverSpill, v Rusku je možno jmenovat například model řeky Tura. Náš výzkumný ústav pracuje na projektu NAVAROSO. Jedná se o vývoj expertního informačního systému, jehož cílem je vytvoření a naplnění specializovaného databázového softwaru, umožňujícího rychlé poskytování křížově provázaných údajů o tocích, potenciálních znečišťovateli a látkách, které mohou znečištění toků způsobit a tvorba verzí pro stacionární i mobilní zařízení (pro operační systémy Android, iOS a Windows Phone). Tato databáze bude doplněna modulem umožňujícím hrubý odhad šíření havarijního znečištění vodním tokem. Modul bude testován na řece Odře nad státní hranicí s Polskem pod názvem ORAM (Odra River Alarm Modul) a zaměří se jmenovitě na toky Odry, Olše, Ostravice, Opava a Lučina. Cílem tohoto článku je seznámit čtenáře s některými poznatky, které byly získány během přípravy tohoto modulu.

METODIKA

Připravuje se modul umožňující odhady šíření havarijního znečištění v toku. V současné době je nedostatek podrobných údajů o vodních tocích, pro které má modul sloužit, proto se v první fázi modul omezí na metodu předběžných odhadů. Cílem je poskytovat správci toku, vodohospodářskému orgánu, hasičskému záchrannému sboru a dalším zainteresovaným složkám při řešení havarijních situací orientační informace o dobách dojezdu čela mraku znečištění do jednotlivých profilů na toku. V případech, kdy bude k dispozici odhad množství uniklé znečišťující látky při okamžitém vnosu, umožní modul také odhad maximální koncentrace, která pravděpodobně bude dosažena ve zvoleném zájmovém profilu na toku. K předběžným odhadům dotokových dob budou použity empirické rovnice, které jsou výsledkem statistické analýzy velkého množství stopovacích pokusů uvedené v [1]. V budoucnu se počítá se zdokonalením tohoto modulu. To však předpokládá daleko vyšší nároky na přípravu

vstupních dat týkajících se vodních toků (geometrie, hydrodynamika, ...), dat pro modelování transportu látek (disperzní součinitele, konstanty kinetiky), apod. Rozsah podkladů potřebný pro takový model je uveden například v [2]. Současná příprava modulu se zaměřuje na tři na sebe navazující kroky. Prvním krokem je predikce dotokových dob, druhým predikce maximální koncentrace v zájmovém profilu a třetím krokem predikce rozdělení koncentrací během průchodu znečištění zájmovým profilem, jinými slovy predikce průnikové křivky v zájmovém profilu. Dotokové doby můžeme získat buď přímo měřením při stopovacích pokusech, nebo pomocí výpočtů. Výpočty mohou být buď hydrotechnické, nebo empirické. Empirické vzorce opírající se o hydrologické údaje a údaje ze stopovacích pokusů uvádí například Jobson [1]. Na dolním toku řeky Ostravice a v úseku Odry mezi ústím Ostravice a státní hranicí s Polskem lze dotokové doby odvodit z kontinuálního měření konduktivity a průtoků ve stanicích Slezská Ostrava a Bohumín a údajů o vypouštění slaných důlních vod. Problematika dotokových dob je poměrně rozsáhlá a není předmětem tohoto článku. Nejdůležitější dotokové doby jsou znázorněny na obr. 1. Dotoková doba je rozdíl mezi dvěma časy, kde t_0 je čas okamžitého vnosu, t_b je čas, ve kterém znečištění dorazí do zájmového profilu, t_l je čas, ve kterém znečištění dosáhne 10 % maximální koncentrace v zájmovém profilu, t_p je čas, ve kterém znečištění dosáhne maximální koncentrace v zájmovém profilu, t_r je čas, ve kterém znečištění poklesne 10 % maximální koncentrace v zájmovém profilu, t_e je čas ve



Obr. 1. Důležité dotokové doby
Fig. 1. Important travel times

kterém znečištění opustí zájmový profil a C_p je maximální koncentrace znečišťující látky dosažená během průchodu zájmovým profilem ve vzdálenosti x od místa vnosu. Zájmový profil je profil, ve kterém chceme znát maximální koncentraci. Protože časy t_b a t_e je velice obtížné určit, používají se v praxi při analýze výsledků stopovacích pokusů časy, ve kterých koncentrace dosáhne 10 % z maximální koncentrace, tyto časy jsou označeny t_l a t_r .

Pro predikci maximální koncentrace v případě okamžitého vnosu je možno použít vzorec (1) uvedený v DBAM [3]:

$$C_p = \frac{M/Q}{4\pi D x/U^3} \times \exp\left(-\frac{kx}{U}\right) \quad (1)$$

kde C_p je maximální koncentrace odpovídající vrcholu průnikové křivky ve vzdálenosti x od místa vnosu [g/m³],
 M hmotnost vnesené látky [g],
 Q průtok ve vzdálenosti x od místa vnosu [m³/s],
 U průřezová rychlost [m/s],
 D koeficient podélné disperze [m²/s],
 k rychlostní konstanta 1. řádu charakterizující objemové změny sledované látky [1/s],
 t čas [s],
 x vzdálenost zájmového od místa vnosu [m].

Další možností je použití empirického vzorce (2). Vychází ze vzorce, který uvádí Jobson [1] a je upraven pro nekonzervativní látku.

$$C_p = \frac{C_{up} \cdot M}{1 \times 10^6 \cdot Q} \times \exp(-k T_p) \quad (2)$$

kde C_p je maximální koncentrace odpovídající vrcholu průnikové křivky ve vzdálenosti x od místa vnosu [g/m³],
 M hmotnost injektovaného stopovače [g],
 Q průtok ve vzdálenosti x od místa vnosu [m³/s],
 C_{up} maximální jednotková koncentrace ve vzdálenosti x od místa vnosu [1/s],
 k rychlostní konstanta 1. řádu charakterizující objemové změny sledované látky [1/hod].

Jednotková maximální koncentrace je definována jako 10⁶ násobek maximální koncentrace při jednotkovém průtoku a jednotkové hmotnosti látky vnesené do toku [1]. Její závislost na dotokové době $T_p = t_p - t_0$ může být vyjádřena empirickou rovnicí (3) uvedenou v [1]:

$$C_{up} = 1025 \times T_p^{-0,887} \quad (3)$$

nebo rovnicí (4) rovněž uvedenou v [1]:

$$C_{up} = 857 T_p^{-0,760} \left(\frac{Q}{Q_a}\right)^{-0,079} \quad (4)$$

kde $T_p = t_p - t_0$ je dotoková doba odpovídající vrcholu průnikové křivky ve vzdálenosti x od místa vnosu [hod],
 Q průtok ve vzdálenosti x od místa vnosu [m³/s],
 Q_a dlouhodobý průměrný průtok ve vzdálenosti x od místa vnosu [m³/s].

V empirických rovnicích (2), (3) a (4) se uvádějí dotokové doby v hodinách, proto rychlostní konstanta 1. řádu charakterizující objemové změny musí mít v rovnici (2) rozměr 1/hod.

V případě odhadu maximální koncentrace pro konzervativní látku je rychlostní konstanta 1. řádu charakterizující objemové změny sledované látky rovna nule. Pro bezpečný odhad maximální koncentrace při havarijním úniku nekonzervativní látky je nutno zvážit, zda není vhodné položit rychlostní konstantu 1. řádu charakterizující objemové změny rovněž rovnu nule.

Máme-li stanovenou maximální koncentraci C_p v zájmovém profilu ve vzdálenosti x od místa vnosu, je možno přistoupit k třetímu kroku, a tím je predikce rozdělení koncentrací během průchodu havarijního znečištění zájmovým profilem. V rámci přípravy modulu bylo hledáno takové rozdělení, které co nejvíce odpovídá skutečným hodnotám naměřeným v toku. Byla k tomu použita konkrétní data ze stopovacích pokusů na řece Svitavě [4].

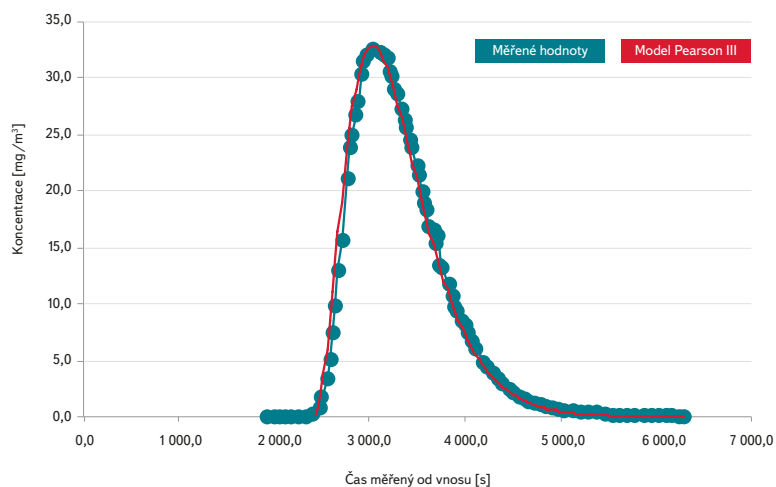
VÝSLEDKY A DISKUSE

K predikci maximální koncentrace, kterou lze očekávat během průchodu havarijního znečištění zájmovým profilem, lze použít rovnici (1) nebo rovnici (2). Obě rovnice mají určité nevýhody. Nevýhodou rovnice (1) je obtížnost správného odhadu koeficientu podélné disperze. V odborné literatuře je totiž doporučeno mnoho různých postupů k určení tohoto koeficientu a výsledky jsou v některých případech značně rozdílné. Na nevýhody rovnice (2) upozorňuje ve své diplomové práci Kůrková [5]. Protože v rovnici (2) není zahrnuta podélná disperzita, mohou se v grafech projevit její změny, především pokud byly zkoušky prováděny na různých místech a při různých průtocích.

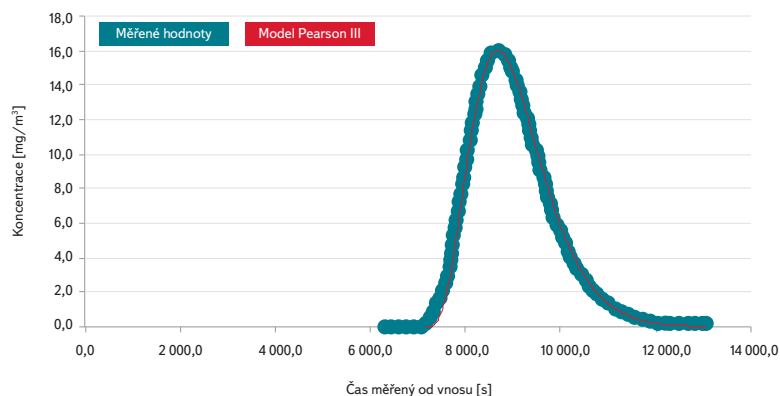
Máme-li stanovenou maximální koncentraci C_p v zájmovém profilu je možno přistoupit k třetímu kroku, a tím je predikce rozdělení koncentrací během průchodu havarijního znečištění zájmovým profilem. V povodí Odry nejsou v poslední době k dispozici žádné výsledky ze stopovacích pokusů, proto nezbylo, než se při přípravě modelu omezit na data získána odjinud. Různé varianty kroku tři byly ověřovány na konkrétních datech získaných stopovacími pokusy na řece Svitavě [4]. V práci [4] a v navazujících studiích byly průnikové křivky stopovače modelově aproximovány analytickým řešením, resp. za využití numerického modelu (MIKE11). V rámci přípravných studií projektu NAVAROSO byl proveden pokus provést aproximaci průnikové křivky stopovače pomocí Pearsonova rozdělení III. typu, které lze pro časy $t > t_b$ vyjádřit pomocí rovnice (5).

$$C = C_p \left(1 + \frac{(t - t_p)^a}{a}\right)^{\frac{a}{b}} \exp\left(-\frac{(t - t_p)}{b}\right) \quad (5)$$

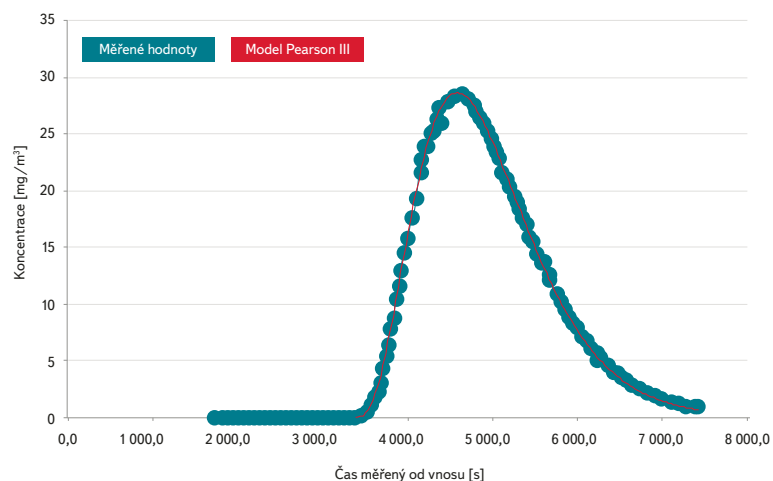
kde C je koncentrace v čase t [mg/m³],
 C_p koncentrace odpovídající vrcholu průnikové křivky [mg/m³],
 t čas [s],
 t_p čas, ve kterém znečištění dosáhne maximální koncentrace v zájmovém profilu [s],
 b konstanta odpovídající době mezi t_p a časem dosažení těžiště plochy pod průnikovou křivkou [s],
 a konstanta odpovídající době mezi t_b a t_p [s],
 t_b čas příchodu nejrychlejších částic znečištění do zájmového profilu [s].



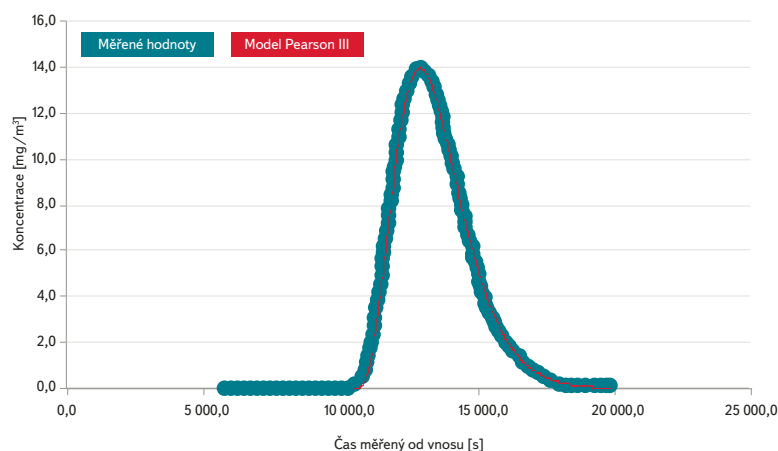
Obr. 2. Průniková křivka – Svitava PF1 – červen 2000
Fig. 2. Breakthroughcurve – Svitava PF1 – June 2000



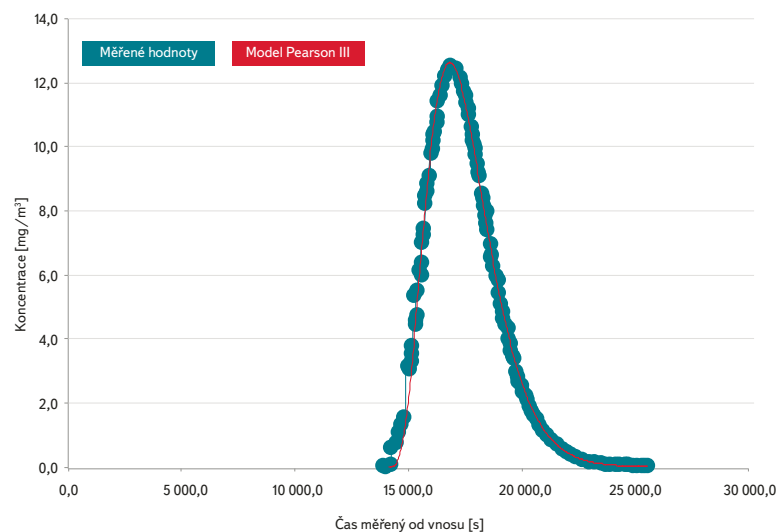
Obr. 3. Průniková křivka – Svitava PF2 – červen 2000
Fig. 3. Breakthroughcurve – Svitava PF2 – June 2000



Obr. 4. Průniková křivka – Svitava PF1 – srpen 2000
Fig. 4. Breakthroughcurve – Svitava PF1 – August 2000



Obr. 5. Průniková křivka – Svitava PF2 – srpen 2000
Fig. 5. Breakthroughcurve – Svitava PF2 – August 2000



Obr. 6. Průniková křivka – Svitava PF21 – srpen 2000
Fig. 6. Breakthroughcurve – Svitava PF21 – August 2000

V časech t rovných nebo menších než t_g předpokládáme, že profil nebude havarijním znečištěním ovlivněn. V případě, že se znečišťující látka vyskytuje v toku běžně i před havárií bude nutno rovnici (5) ještě upravit i pro tuto variantu. V případě, že znečišťující látka, která unikla při havárii je nekonzervativní, lze do rovnice (5) zavést ještě rychlostní konstantu objemových změn nebo rovnici zachovat v původním stavu ve prospěch bezpečnosti odhadu. Pro jednotlivé profily na řece Svitavě je na obr. 2 až 6 provedeno porovnání naměřených hodnot s modelem využívajícím Pearsonovo rozdělení III. typu. Vystává zde otázka, proč hledat zvláštní funkci pro aproximaci průnikových křivek (Pearson III), když funkční závislost za daných, výše uvedených předpokladů udává rovnice práce (1). Jedná se o snahu vyhnout se obtížnému stanovování koeficientu podélné disperze na základě proměnlivých parametrů říčního koryta. Podobnou snahu můžeme vidět například i u tvůrců modelu Riverspiell [6], když zavedli novou metodu využívající implicitní korelaci mezi koeficientem podélné disperze a dotokovou dobou. Snaha vyhnout se přímé závislosti na proměnlivých parametrech koryta toku (průtočná plocha, šířka, hloubka) je patrná i u rovnice (1).

Výsledky jsou shrnuty v *tabulce 1*. Koeficienty a a b v rovnici (5) byly získány metodou pokus omyl. Young a kol. [7] doporučili pro posuzování těsnosti mezi predikovanými a měřenými hodnotami vzorec pro výpočet koeficientu determinace. Pro naše potřeby byl použit ve formě rovnice (6).

$$R_t^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^p (C_i - C_{Mi})^2}{\sum_{i=1}^p (C_i)^2} \quad (6)$$

kde R_t je koeficient determinace [–],
 C_i i-tá hodnota měřené koncentrace [mg/m³],
 C_{Mi} i-tá hodnota koncentrace modelu [mg/m³],
 p počet měření v časech $t > t_b$ [–].

Autor Šajer [8] zjistil, že u všech pěti analyzovaných průnikových křivek lze vzestupnou část průnikové křivky vyjádřit pomocí rovnice (7).

$$\frac{C}{C_p} = 0,5 \left(1 - \cos \left(\frac{(t - t_b) \pi}{t_p - t_b} \right) \right) \quad (7)$$

kde t je čas [s].

V praxi se při vyhodnocování stopovacích pokusů zjišťuje čas t_L , pro který lze rovnici (7) upravit na rovnici (8).

$$(t_p - t_L) = \frac{a (\pi - \arccos 0,8)}{\pi} \quad (8)$$

Vezmeme-li v úvahu data, která uvádí Jobson v příloze [1], pak poměr mezi dobou potřebnou pro dosažení maximální koncentrace C_p v zájmovém profilu, tj. $(t_p - t_b)$, a dobou od vnosu po příchod do zájmového profilu, při kterém je dosažena koncentrace jedna desetina maximální koncentrace C_p v zájmovém profilu, tj. $(t_L - t_b)$, bývá blízko pod místem injektaže vyšší, s rostoucí vzdáleností se však většinou ustálí zhruba v rozmezí 1,1 : 1 až 1,3 : 1. Vyskytují-li se v toku významné oblasti s pomalým prouděním (tzv. mrtvé zóny), pak je nutno počítat s vyššími hodnotami. Jako příklad je možno uvést poměr 1,68 : 1, který byl zjištěn u řeky Punkvy [9]. Uvedené poměry se týkají okamžitého vnosu konzervativní látky do toku.

Na základě uvedených výsledků budou do připravovaného modelu v povodí řeky Odry vloženy vstupní hodnoty tzv. defaulty, které bude možno na základě dalších zkušeností pro jednotlivé toky postupně upravovat.

Rovnice (1) až (5) je možno použít pouze v případě okamžitého vnosu znečišťující látky do toku. V praxi se často vyskytuje při haváriích kontinuální vnos s omezenou dobou trvání. V tom případě lze při modelování koncentrace v zájmovém profilu vycházet z rozdělení pro okamžitý vnos (například z rovnice (5)) a následně použít metodu superpozice.

ZÁVĚR

Protože v poslední době nejsou v povodí Odry k dispozici žádná data ze stopovacích pokusů, byla pro přípravu modelu šíření znečištění v tomto povodí využita data ze stopovacích pokusů, které byly realizovány na Svitavě v roce 2000. Výsledné průnikové křivky se nejlépe podařilo popsat pomocí Pearsonova rozdělení 3. typu. Vychází se z analýzy pouze pěti průnikových křivek, pro zobecnění by bylo vhodné toto ověřit na dalších výsledcích z jiných stopovacích pokusů. Do připravovaného modulu v povodí Odry budou vloženy defaulty vycházející z výše uvedených poznatků, které bude možno na základě dalších zkušeností pro jednotlivé toky postupně upravovat.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl díky podpoře projektu č. TH02030142 NAVAROSO, pro který je poskytovatelem podpory Technologická agentura České republiky.

Tabulka 1. Konstanty pro Pearsonovo rozdělení 3. typu
 Table 1. Constants for Pearson distribution type 3

Měsíc	Profil	a [s]	b [s]	R_t^2	$t_p - t_0$ [s]	$a/(t_p - t_0)$	a/b
červen	PF1	626	254	0,994	3031	0,207	2,465
červen	PF2	1542	365	0,996	8682	0,178	4,225
září	PF1	1212	362	0,999	4584	0,264	3,348
září	PF2	2441	598	0,998	12892	0,189	4,082
září	PF21	2678	678	0,997	16698	0,160	3,950

Literatura

[1] JOBSON, H.E. Prediction of Traveltime and Longitudinal Dispersion in Rivers and Streams. *J. Hydraul. Eng.*, 1997, 123, p. 971–978. ISSN 073-9429.

[2] ŘÍHA, J. a kol. Jakost vody v povrchových tocích a její matematické modelování. NOEL 2000, 2002, 269 s. ISBN: 80-86020-31-2.

[3] Jos van Gils Development and maintenance of the Danube Basin Alarm Model [online 6. 12. 2017]. Dostupné z: https://www.icpdr.org/flowpaper/viewer/default/files/2.2_DBAM-I_FinalReport.pdf

[4] ŘÍHA, J., a STARA, V. Stopovací pokusy na řekách Svitavě a Svratce. Část I – Příprava, realizace a vyhodnocení stopovacích pokusů. Tracing experiments at the Svitava and Svratka rivers. Part I, Preparation, implementation and analysis of results of tracing experiments). *Vodní hospodářství & ochrana ovzduší*, 2002, č. 8, s. 227–230. ISSN 1210-4195.

[5] KŮRKOVÁ, I. Charakter proudění a šíření hydraulické odezvy ve vybraných jeskyních Moravského krasu. Diplomová práce. Karlova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Praha, 2011. [online 6. 12. 2017]. Dostupné z: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/67304/>

[6] CHEHATA, M., BAHADUR, R., AMSTUDZ, E., and SAMUELS, W.B. Riverspill For Water Protection In The Potomac River Basin. [online 30. 3. 2017]. Dostupné z: <http://eh2o.leidos.com/SectionProjects/Transport/Surface/RiverSpill/Brochures/POSTER-AWRA-Potomac%20RiverSpill.pdf>

[7] YOUNG, P.C., JAKEMAN, A.J., and MCMURTRIE, R. An instrumental variable method for model order identification. *Automatica*, 1980, 16, p. 281–294. ISSN 0005-1098.

[8] ŠAJER, J. Odhad času vnosu. VTEI, 2014, roč. 56, č. 3, s. 12–15. ISSN 0322-8916.

[9] KNÍŽEK, M., KAMAS, J. a BRUTHANS, J. Nové stopovací zkoušky v Moravském krasu II: Podzemní Punkva v okolí Macochy (New tracer tests in the Moravian karst II: The Punkva underground river in the surrounding of the Macocha Chasm.). *Geol. výzk. Mor. Slez. v r.* 2006, Brno, 2007, s. 113–116.

Autor

Ing. Jiří Šajer

✉ jiri.sajer@vuv.cz

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., pobočka Ostrava

Příspěvek prošel lektorským řízením.

INFORMATION ABOUT ORAM

SAJER, J.

TGM Water Research Institute, p. r. i., Ostrava Branch

Keywords: accidental pollution – instantaneous spill – water quality – 1D modelling – Pearson distribution type 3

Odra River Alarm Modul (ORAM) will be part of the NAVAROSO project. There are no results of tracer studies of the Czech part of the Odra River in the last twenty years. That's the reason, why tracer experiment data of the Svitava River were used for analysis. This article is specifically focused on analysis of five breakthrough curves. The best approximation of the breakthrough curve in all five cases is given by equation (5) – Pearson distribution type 3. These results should be used by creation of ORAM.





Trendy vývoje koncentrací fosforu v nádržích Orlík a Slapy

JOSEF HEJZLAR, JIŘÍ JAROŠÍK, JIŘÍ KOPÁČEK, YULIYA VYSTAVNA

Klíčová slova: eutrofizace — retence fosforu — socio-ekonomické indikátory — změna klimatu

SOUHRN

Na základě datových řad pro koncentrace fosforu (P) v nádržích Slapy a Orlík a v jejich hlavních přítocích jsme zrekonstruovali vstup P z povodí do těchto dvou nádrží pro období 1961–2015 a sestavili nádržové modely retence P. Koncentrace P v obou nádržích rostly od 60. let minulého století až do roku 1991 a pak začaly klesat, v nádrži Slapy ale s výrazně zvýšenou meziroční variabilitou. Trendy koncentračního nárůstu a poklesu P byly odrazem vývoje socio-ekonomiky v povodí Vltavy, zejména stavu kanalizací, vypouštění odpadních vod, aplikace hnojiv, množství hospodářských zvířat a intenzity rybníčního chovu ryb. Analýza retence P v nádržích ukázala, že P akumulovaný v sedimentech nádrže v době rostoucího zatížení P z povodí v letech 1961–1990 se v následujícím období poklesu zatížení P opět uvolňoval do vody a tlumil vliv poklesu koncentrací P v přítoku do nádrží. Po roce 1991 se v nádrži Slapy v letním období koncentrace P začaly za zvýšených letních průtoků zvyšovat a podporovat rozvoj fytoplanktonu, kdežto v suchých létech výrazně klesaly až k mezotrofii. Klimaticko-hydrologicky podmíněné procesy tak v poslední době zjevně působí proti klesajícímu trendu znečištění P a zvyšují eutrofizaci nádrže navzdory poklesu zatížení P z povodí.

ÚVOD

Vysoké koncentrace fosforu (P) způsobující eutrofizaci jsou důvodem neplnění požadavku Rámcové směrnice vodní politiky EU (RVS) na dobrý ekologický potenciál u zhruba dvou třetin nádrží v ČR [1]. Jako u jiných polutantů, znečištění povrchových vod fosforem pochází především z povodí a podílejí se na něm různé antropogenní vlivy, zejména infrastruktura vodního hospodářství (vodovodní sítě, odkanalizování obyvatelstva, úroveň čištění odpadních vod aj.), urbanizace (nárůst nepropustných ploch v návaznosti na jednotné kanalizační systémy) a zemědělské aktivity (obdělávání půdy, hnojení, chov hospodářských zvířat), které během posledního půlstoletí prošly výrazným vývojem, a to nejen v ČR, ale i jinde v Evropě i v dalších částech světa [2–4]. Zároveň se ukazuje, že na odnos živin z povodí a jejich následný koloběh ve vodách také působí změna klimatu v důsledku globálního oteplování tím, že ovlivňuje sezonnost srážek, průtoky, teplotu vody a v hlubokých jezerech a nádržích také teplotní stratifikaci [5–8].

Koncentrace P je v nádržích a jezerech řízena jednak koncentrací P v přítocích, rychlostí jeho sedimentace a zpětného uvolňování ze sedimentu do vodního sloupce, případně recyklováním ve vodním sloupci [9, 10]. Souhrnným výsledkem všech těchto procesů je tzv. retence P, která udává, jaká část z přísunu P je v nádrži zadržena. Koeficient retence (R) se pak definuje jako $R = 1 - P/P_{in}$, kde: P je koncentrace fosforu v nádrži, popř. v odtoku, a P_{in} je přítoková

koncentrace P. Retence P je nepřímo úměrná průtočnosti či hydraulickému zatížení nádrže [11, 12], ale může ji ovlivňovat také mnoho dalších faktorů, jako např. tvarová morfologie a hloubka nádrže, přítoková koncentrace P, velikost zatížení P, anebo nosná kapacita daného vodního tělesa pro růst fytoplanktonu [10, 13, 14], takže retence P je v každém vodním tělese za daného přísunu P do značné míry specifická a unikátní i přes svou obecně platnou závislost na době zdržení vody nebo průtočnosti. Důsledkem je, že předpovídání retence P podle průměrných vztahů sestavených na základě údajů z velkého množství morfologicky odlišných nádrží či jezer lze provádět různými modely [10–14], ale v každém případě je zatíženo značnou nejistotou. I s tímto vědomím byl v metodice hodnocení ekologického potenciálu nádrží RVS [15] pro nastavení hraničních limitů pro jednotlivé kategorie ekologické kvality použit průměrný model podle Vollenweidera kalibrovaný pro nádrže [10], tj. $R = 1,84\tau^{0.5}/(1+1,84\tau^{0.5})$, kde τ [rok] je teoretická doba zdržení vody v nádrži. Nicméně je zřejmé, že nastavené limitní hranice dobrého/středního ekologického potenciálu mohou být pro některé nádrže poměrně benevolentní, pro jiné naopak velmi přísné.

Prvotním záměrem naší studie bylo vyhodnotit příčiny změn koncentrace P v časové řadě naměřené v nádrži Slapy od roku 1959 až do současnosti (tj. v řadě svou délkou a počátkem měření unikátní minimálně v měřících střední Evropy) a pokusit se na jejím základě popsat vývoj zdrojů znečištění povrchových vod fosforem v povodí horní Vltavy. Brzy po zahájení analýz jsme však zjistili, že při objasňování kolísání koncentrace P v nádrži Slapy se neobejdeme bez rekonstrukce celkového vstupu P do kaskády nádrží Orlík-Kamýk-Slapy, hydrologických ukazatelů a bez charakterizace retence P v obou hlavních nádržích – Orlík a Slapy. Díky tomuto rozšíření studie se však podařilo sestavit ucelený datový soubor, který dokládá, že fosforové znečištění v povodí Vltavy bylo nezanedbatelné již v 60. letech minulého století a že koncentrace P v nádržích Orlík a Slapy jsou do značné míry ovlivňovány nejen přísunem P z povodí a hydrologií, ale také proměnlivou retencí P v nádržích. Naše hodnocení dokumentuje jednak vývoj klíčových zdrojů znečištění P v povodí, jednak ukazuje, že v posledním čtvrtstoletí změny klimatických podmínek ovlivňují sezonní dostupnost P pro růst fytoplanktonu a podílejí se na zvýšené rozkolísanosti koncentrací P v letním období a na větší citlivosti nádrží k eutrofizaci.

CHARAKTERISTIKA LOKALITY, POUŽITÁ DATA, METODIKA

Povodí horní Vltavy (plocha 12 968 km² k hrázi nádrže Slapy, rozsah nadmořských výšek 271–1 378 m n. m.) se převážně rozkládá na území původního Jihočeského kraje (tj. včetně okresu Pelhřimov), se kterým má téměř shodnou celkovou plochu i počet obyvatel, takže lze pro hodnocení socio-ekonomických ukazatelů využívat dostupná statistická krajská data. Technické charakteristiky nádrží Orlík,

Tabulka 1. Hlavní technické charakteristiky sledovaných nádrží (průměry 1961–2015)
Table 1. Main technical characteristics of the studied reservoirs (averages 1961–2015)

Charakteristika/Nádrž	Orlík	Kamýk	Slapy
Stáří nádrže (období napouštění)	1960–1962	1960	1954–1955
Kóta hladiny, m n. m.	348,1	282,9	269,3
Objem, mil. m ³	569	6,7	254
Plocha hladiny, km ²	21,7	1,0	11,2
Plocha povodí, km ²	12 117	12 218	12 968
Průměrný roční průtok, m ³ ·s ⁻¹	82,1	82,1	85,6
Průměrná doba zdržení, den	80	0,9	34
Maximální/průměrná hloubka, m	74/26	14/7	58/23

Kamýk a Slapy jsou uvedeny v tabulce 1. Z limnologického hlediska Orlík patří ke zvrstveným dimiktickým nádržím vytvářejícím letní i zimní stratifikaci. Kamýk je silně průtočná nestratifikovaná nádrž. Slapy jsou zvrstvená monomiktická nádrž, která v zimě nezamrzá a v době letní stratifikace se vyznačuje výrazným zkratováním přítoku hypolimniem, protože relativně chladná voda vypouštěná z hypolimnia nádrže Orlík se ve Slapech zasunuje do spodních vrstev, odkud je odtahována na turbíny hydroelektrárny výpustmi v hloubce cca 40 m.

Pro charakterizaci kvality vody byla použita: (i) Data z dlouhodobého sledování nádrže Slapy Hydrobiologickým ústavem Biologického centra AV ČR, v. v. i. (HBÚ), které probíhalo nepřetržitě od r. 1959 v třítydenních intervalech v profilu Nebřich (nad Živohoštským mostem) a po dobu omezených časových úseků také na přítoku do nádrže (Vltava – Kamýk nad Vlt.) a na odtoku (VN Slapy – výtok). Po celou dobu sledování byl analyzován celkový fosfor (P_{celk}) citlivou limnologickou metodou (s mezí stanovitelnosti 0,003 mg·l⁻¹) po mineralizaci s kyselinou chloristou [16–18]. (ii) Data z provozního sledování jakosti povrchových vod prováděného podnikem Povodí Vltavy, státní podnik (PVL) a jeho předchůdci od r. 1963 v měsíčních intervalech v profilech Vltava – Týn n/Vlt., Lužnice – Koloděje (popř. od r. 2013 Bechyně), Otava – Písek, Lomnice – Dolní Ostrovec, Skalice – Varvažov, VN Orlík – hráz, Vltava – Solenice (výtok VN Orlík; od r. 1972), Mastník – Radč (od r. 2011), VN Slapy – hráz a VN Štěchovice – hráz (od r. 1979). Koncentrace P_{celk} se v těchto datových řadách začaly analyzovat až počínaje rokem 1990. V dřívějším období byla data P_{celk} zrekonstruována jako součet jejích dílčích složek, tj. $P_{\text{celk}} = PO_4\text{-P} + RNP + PP$, kde: $PO_4\text{-P}$ je ortofosforečnanový P, který byl přímo analyzován od r. 1972 jako rozpuštěný reaktivní P a v předchozích letech byl dopočten z regresních závislostí na průtoku, popř. také na teplotě vody, kalibrovaných pro každý jednotlivý profil; RNP je rozpuštěný nereaktivní P, který byl vypočten z koncentrace $CHSK_{Mn}$ pomocí regresní rovnice $RNP \text{ [mg·l}^{-1}] = 0,0015 \times CHSK_{Mn} \text{ [mg·l}^{-1}]$ získané pro toky v povodí Malše, jejíž platnost byla ale ověřena také na několikaletých datech pro nádrž Orlík (profil hráz, 1990–1991) a Slapy-Nebřich (1998–2016) (Hejzlar, nepublikovaná data); a PP je nerozpuštěný (partikulovaný) fosfor, který byl vypočten z regresních vztahů na koncentraci sušiny nerozpuštěných látek (NL105), popř. také ztrátě žíháním (NL550), kalibrovaných pro jednotlivé profily. Pro hodnocení dlouhodobých koncentračních trendů statistickými metodami byly pro všechny lokality vypočteny měsíční průměry. Pro hodnocení splnění/překročení limitů pro dobrý ekologický potenciál podle RVS [15] byly v profilech nádrží VN Orlík – hráz a Slapy – Nebřich vypočteny průměrné hodnoty za období duben až říjen.

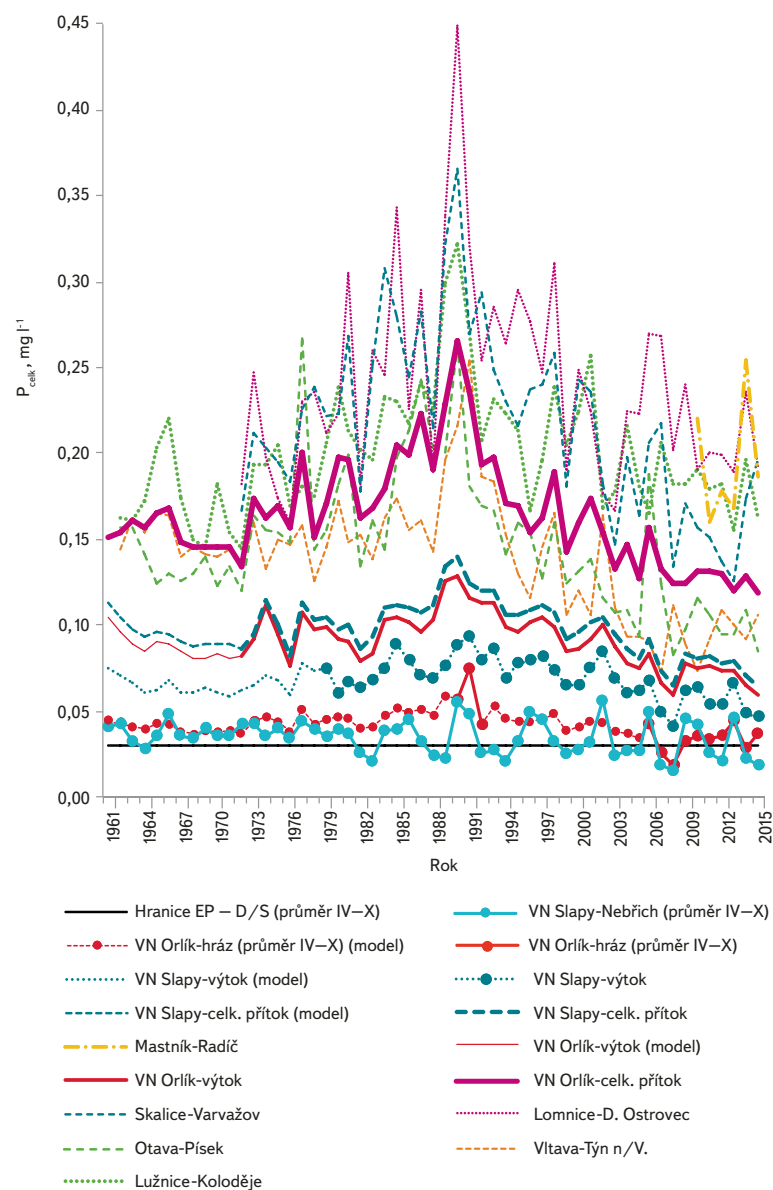
Denní průtoková data v přítocích do nádrže Orlík pocházejí z měření na limnigrafických stanicích Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) Vltava – Hluboká n/Vlt., popř. Vltava – České Budějovice (po r. 1990), Lužnice – Bechyně,

Otava – Písek, Lomnice – Dolní Ostrovec, Skalice – Varvažov; přítok do nádrží z neměřeného zbytku povodí včetně průtoku v profilu Mastník – Radč byl vypočten hydrologickou analogií na základě průměrného odtoku z povodí Lomnice a Skalice. Údaje o kótách hladiny, odběrech hydroelektrárny a celkovém odtoku byly získány z písemných hodinových záznamů, popř. po roce 1990 z elektronické databáze archivu provozního sledování Vltavské kaskády v pražském centrálním vodohospodářském dispečinku PVL. Odtok z nádrží byl následně zrekonstruován metodou bilancování množství přitékající vody a aktuálních změn objemu vody v nádržích s krokem 1 hodina. Dlouhodobá denní klimatická data v měřících stanicích Tábor a České Budějovice pocházejí z databáze ČHMÚ.

Bilanční výpočty ročního množství P přinášeného do nádrží přítoky a množství P odtékajícího z nádrží byly prováděny v měsíčním kroku vynásobením průměrného měsíčního průtoku a průměrné koncentrace P z dat naměřených v daném měsíci a sumací do ročních hodnot. Z celkového ročního množství P a množství vody proteklé v daném profilu pak byla vypočtena průtokově vážená průměrná koncentrace. Do vstupu P do nádrže byla zahrnuta rovněž atmosférická depozice na základě měření množství a složení srážek na nádrži Slapy v profilu Nebřich Hydrobiologickým ústavem BC AV ČR. Průměrná roční hodnota depozice P_{celk} v období 1979–2015 byla $9 \pm 2 \text{ mg·m}^{-2}$, což představuje z hlediska celkového zatížení nádrže fosforem nevýznamné množství, tj. $< 1 \%$.

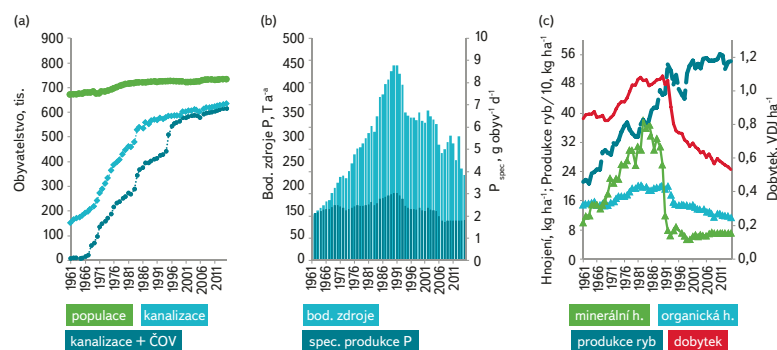
Socioekonomické ukazatele charakterizující růst populace, zemědělské aktivity a vývoj komunální infrastruktury pocházejí ze statistických ročenek Českého statistického úřadu pro Jihočeský kraj.

Retence P v nádržích byla hodnocena pomocí empirického modelu založeného na vztahu retence živin a hydrauliky nádrže podle Chapra [12]. Model používá základní rovnici s definováním retence $R: P_o = P_{in}(1 - R)$, kde P_o je průměrná roční koncentrace P v odtoku z nádrže; P_{in} je objemově vážená koncentrace P v celkovém přítoku do nádrže, tj. podíl látkového množství P vstupujícího do nádrže ze všech zdrojů (přítoky, atmosférická depozice atd.) a celkového vstupu vody do nádrže. V tomto modelu je retence závislá na hydraulickém zatížení podle vzorce: $R = v_p / (v_p + q_w)$, kde $v_p \text{ [m·a}^{-1}]$ je součinitel sedimentační rychlosti P v nádrži (součinitel reakce 1. řádu pro retenci P) a $q_w \text{ [m·a}^{-1}]$ je hydraulické zatížení nádrže vztažené na plochu její hladiny. Hodnoty v_p byly vypočteny pro nádrže Orlík a Slapy z naměřených dat P_o , P_{in} a q_w pomocí vztahu vzniklého spojením a úpravou dvou výše uvedených rovnic: $v_p = q_w(P_{in} - P_o)/P_o$.



Obr. 1. Průtokově vážené průměrné roční koncentrace P_{celk} v nádržích Orlík a Slapy a v jejich přítocích a odtocích v období 1961–2015, s vyznačením hranice mezi dobrým a středním ekologickým potenciálem RVS ($0,03 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ shodně pro obě nádrže)
Fig. 1. Flow-weighted average annual concentrations of total P in Orlík and Slapy reservoirs and their tributaries in the period 1961–2015, indicating the boundary between the good and moderate ecological potential of EU WFD ($0,03 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ for both reservoirs)

Statistické metody použité pro analýzu datových řad zahrnovaly zejména: (i) sezonní Kendallův test [19], což je neparametrická metoda pro detekci monotónních trendů; (ii) lineární regresní analýzu a korelační analýzu (MS Excel 2010) pro hodnocení vztahů mezi veličinami; (iii) segmentovou regresní analýzu [20], která byla využívána pro detekci zlomových bodů v datových řadách (program SegReg vyvinutý v Institute for Land Reclamation and Improvement, Nizozemsko; <http://www.waterlog.info/segreg.htm>). Všechny statistické testy byly prováděny na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.



Obr. 2. Vývoj socio-ekonomických ukazatelů v povodí nádrže Slapy: (a) celkový počet obyvatel, populace připojená ke kanalizaci a ke kanalizaci s ČOV; (b) export P z bodových zdrojů do povrchových vod a specifická produkce P obyvatelstvem do odpadních vod (P_{spec}); (c) aplikace P v hnojivech, hustota dobytka na zemědělské půdě a intenzita rybníčního chovu ryb

Fig. 2. Development of socio-economic indicators in the Slapy catchment: (a) total population (populace celkem), population connected to sewerage (kanalizace) and sewerage with WWTP (kanalizace + ČOV); (b) export of P from point source to surface water and specific P production by population to wastewater (P_{spec}); (c) P application in fertilizers, livestock density on farmland, and intensity of fish pond production

TRENDY VÝVOJE KONCENTRACÍ P_{celk}

Průtokově vážené průměrné roční koncentrace P_{celk} v nádržích Orlík, Slapy i v jejich přítocích (obr. 1) měly během období 1961–2015 charakteristický průběh s postupným nárůstem vrcholícím na přelomu 80. a 90. let minulého století, rychlým poklesem do roku 2005 a pak s poměrně vyrovnanými hodnotami. Nejvýraznější nárůst (z hodnot kolem $0,15 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ – cca do roku 1975), vrchol ($0,25 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ v letech 1989–1990) a pokles (na cca $0,13 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ od roku 2007) měly koncentrace P_{celk} v celkovém přítoku do nádrže Orlík, což bylo výsledkem kombinace trendů v dílčích přítocích, z nichž průtokově nejvýznamnější je Vltava přivádějící do nádrže 35 % vody a dále Otava (30 %) s Lužnicí (28 %), kdežto ostatní přítoky jsou relativně malé (Lomnice 2 %; Skalice 2 %, zbytek povodí 3 %). Z hlavních přítoků přinášela do nádrže Orlík nejvyšší koncentrace P_{celk} Lužnice, u níž byl ve srovnání s Vltavou i Otavou pokles v posledních cca 30 letech relativně i absolutně nejnižší. V nádrži Orlík se přítoková koncentrace P_{celk} výrazně snižovala a v odtoku byla přibližně poloviční. Celkový přítok do nádrže Slapy byl oproti odtoku z nádrže Orlík mírně navýšen v důsledku znečištěných bočních přítoků, reprezentovaných v naší studii nejvodnější z nich, potokem Mastník (přivádí do nádrže Slapy 55 % vody bočních přítoků, či 1,5 % celkového přítoku). Koncentrace P_{celk} se v nádrži Slapy snižovala sedimentačními procesy zhruba o 30 % na rozmezí $0,065$ – $0,09 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Průměrné koncentrace P_{celk} během vegetačního období (duben–říjen) v hladinové vrstvě, jež se používají při hodnocení ekologického potenciálu RVS, byly výrazně nižší než odtokové koncentrace, což je typické pro stratifikované nádrže se spodním vypouštěním, které způsobuje zkratování přítoku hypolimniem a jeho omezené promíchávání s hladinovou vrstvou. V posledních dekadách tyto koncentrace v nádrži Slapy kolísaly kolem limitní hranice pro dobrý ekologický potenciál $0,03 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (jež je shodná pro nádrž Slapy i Orlík [15]), kdežto v nádrži Orlík byly tyto koncentrace až na výjimky vyšší (obr. 1).

TRENDY SOCIOEKONOMICKÝCH UKAZATELŮ V POVODÍ

Socio-ekonomické ukazatele se v povodí nádrže Slapy během posledního půlstoletí výrazně vyvíjely, s největšími změnami zhruba do poloviny 90. let minulého století (obr. 2). Počet obyvatel se zvětšoval jen mírně, ale zásadně se měnila velikost populace připojené na kanalizaci a čistírny odpadních vod (obr. 2a), jako i účinnosti ČOV z hlediska odstraňování P. Výraznými změnami prošla také specifická produkce P obyvatelstvem do komunálních odpadních vod (obr. 2b), která až do počátku 90. let rostla v důsledku zvyšování použití fosfátových detergentů a poté klesla ve dvou vlnách – po uzavření dohody Ministerstva životního prostředí ČR s výrobcí detergentů o omezení koncentrace fosforu v detergencích v roce 1995 a úplném legislativním zákazu fosfátových detergentů v maloobchodním prodeji v roce 2006. Výsledkem těchto změn byl dramatický vývoj v množství P ve vypouštěných odpadních vodách (obr. 2b), které od 60. do 90. let minulého století postupně narůstalo až na více než čtyřnásobek, ale pak nastal obrat a množství vypouštěného P začalo počátkem 90. let klesat po provedených intenzifikacích větších ČOV (nad 10 000 EO), které byly vybavovány technologiemi pro zvýšené odstraňování P. V zemědělském sektoru se zvyšovaly do konce 80. let aplikace P v minerálních hnojivech z 10 na 37 kg·ha⁻¹ a v organických hnojivech z 15 na 20 kg·ha⁻¹, ale pak nastal jejich výrazný pokles. Intenzita roční produkce rybníčního chovu ryb vzrostla z počáteční hodnoty cca 230 kg·ha⁻¹ na > 500 kg·ha⁻¹ v 90. letech a do konce sledovaného období se udržovala na této úrovni (obr. 2c).

Korelační analýza prokázala pro celkové období 1961–2015 statisticky významné pozitivní vztahy mezi roční průměrnou koncentrací P_{celk} v přítoku do nádrže Orlík a zatížením P z odpadních vod, specifickou produkcí P obyvatelstva do odpadních vod a hnojením organickými i minerálními hnojivy, tj. se všemi ukazateli s maximem na přelomu 80. a 90. let minulého století (tabulka 2). Pro dílčí období před a do roku 1991 byly zjištěny významné korelace také pro podíly připojených obyvatel na kanalizaci i na kanalizaci s ČOV a pro velikost produkce chovu ryb. V období 1961–1990 byly korelace s těmito ukazateli pozitivní, kdežto v období 1991–2015 negativní, což znamená, že význam a podíl těchto dílčích ukazatelů z hlediska celkových zdrojů P v povodí z kvantitativního hlediska nebyl rozhodující. Korelační analýza nedokáže jednoznačně rozlišit míru vlivu jednotlivých autokorelovaných veličin, což je případ většiny veličin

zahrnutých do této analýzy, nicméně i tak lze z výsledků udělat jednoznačný závěr o tom, že jak bodové zdroje P, tj. vypouštění komunálních odpadních vod, tak difúzní zdroje P, tj. zemědělské hospodaření, popř. také s rybářstvím, jsou hlavními přispěvateli ke znečištění nádrží Orlík a Slapy fosforem. K zodpovězení otázky, který z těchto dvou typů zdrojů kvantitativně převažoval, by však bylo třeba mnohem podrobnějšího rozboru časových řad odnosu P z dílčích subpovodí, zejména s vyhodnocením závislosti odnosu na průtoku a velikosti dočasné i trvalé retence P v říční síti, rybnících a jiných nádržích.

RETENCE FOSFORU V NÁDRŽÍCH

Relativní množství zadrženého P (neboli koeficient retence R) v nádrži Orlík v letech 1972–2015, pro něž se nám podařilo zrekonstruovat přítokové i odtokové koncentrace, kolísalo v rozmezí od 0,31 do 0,58 s průměrem ($\pm$ směrodatnou odchylkou) $0,44 \pm 0,06$ a bylo zhruba o polovinu vyšší než byla hodnota R v nádrži Slapy, tj. průměr $0,30 \pm 0,05$ pro období 1979–2015 (obr. 3a). Hodnoty R byly nejvyšší v 80. letech s mírnou (statisticky nevýznamnou) tendencí k poklesu v pozdějších letech. Odlišnosti v retenci R mezi oběma nádržemi i meziroční variabilitu R lze připsat na vrub hlavně rozdílu doby zdržení vody v nádržích a meziročnímu kolísání průtoků, protože součinitel sedimentační rychlosti v_p nabýval v obou nádržích srovnatelných průměrných hodnot, tj. $95 \pm 33 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$ v nádrži Orlík a $105 \pm 36 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$ v nádrži Slapy. Změny v_p v průběhu sledovaného období probíhaly v obou nádržích víceméně souběžně (obr. 3b), takže mezi jejich ročními hodnotami v_p byl silný korelační vztah, vysvětlující 52 % variability (obr. 3c). Příčiny variability hodnot v_p jsme testovali pomocí korelační analýzy a vícenásobné lineární regresní analýzy a hledali jsme souvislosti např. s koncentracemi a složením forem P v přítocích do nádrží, průtokem, teplotou vody či klimatickými veličinami. Jako jediná statisticky významná příčina byla nalezena pozitivní závislost v_p na absolutní velikosti přísunu P do nádrže, která se ale lišila ve velikosti směrnice v obdobích před rokem 1990 a v období 1991–2015 (obr. 3d, e). Do roku 1990, tj. období rostoucího odnosu P z povodí, dokázala tato závislost vysvětlit u obou nádrží přes 70 % variability a její směrnice byla strmější než od roku 1991, kdy přísun P z povodí postupně klesal a vztah mezi v_p a přísunem P do nádrží byl volnější, s vysvětlenou variabilitou 37 %. Toto zjištění je zajímavé, protože nabízí vysvětlení, proč koncentrace P v nádržích neklesaly

Tabulka 2. Korelační vztahy mezi roční průměrnou koncentrací P_{celk} v celkovém přítoku do nádrže Orlík a ročními hodnotami socio-ekonomických ukazatelů v povodí (Bod. z. P – bodové zdroje P v povodí; P_{spec} – specifická produkce P obyvatelstvem do komunálních odpadních vod; X_K – podíl obyvatel připojených na kanalizaci; X_{cov} – podíl obyvatel připojených na kanalizaci s ČOV; Hnoj. org. – hnojení P v organických hnojivech; Hnoj. min. – hnojení P v minerálních hnojivech; Dobytek – hustota dobytka na zemědělské půdě; Chov ryb – roční produkce rybníčního chovu ryb) pro různá časová období

Table 2. Correlation between the annual average concentration of total P in the total inflow into the Orlík reservoir and the annual values of socio-economic indicators in the catchment (Bod. z. P – point sources of P in catchment; P_{spec} – specific P production by population to wastewater; X_K – proportion of population connected to sewerage; X_{cov} – proportion of population connected to sewerage with WWTP; Hnoj.org. – fertilisation of farmland with manure; Hnoj.min. – mineral fertilisers; Dobytek – livestock on farmland; Chov ryb – annual fish pond production) in different time periods

Koncentrace P_{celk} v období	Socio-ekonomické ukazatele [§]						
	Bod. z. P	P_{spec}	X_K	X_{cov}	Hnoj. org.	Hnoj. min.	Chov ryb
1961–2015	0,57**	0,84**	0,04	(-)0,15	0,80**	0,53**	(-)0,16
1961–1990	0,81**	0,78**	0,74**	0,75**	0,70**	0,53**	0,71**
1991–2015	0,83**	0,88**	(-)0,86**	(-)0,50**	0,90**	0,50*	(-)0,63**

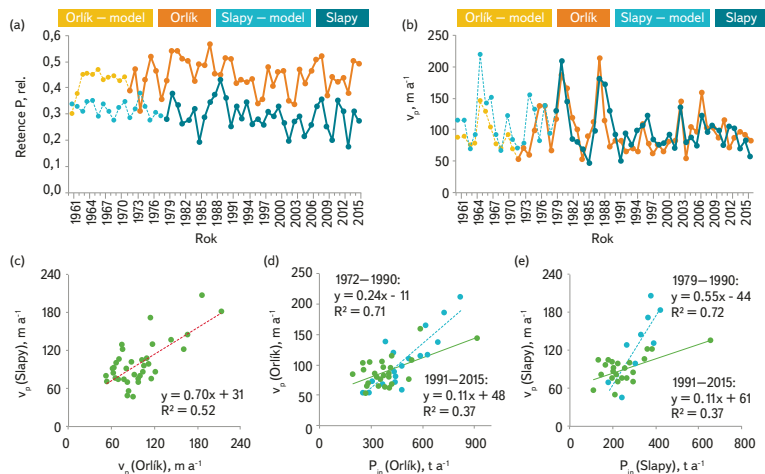
[§] hodnoty představují Pearsonův korelační koeficient; negativní znaménko (-) indikuje negativní směrnici závislosti; hvězdička indikuje statistickou významnost: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; statisticky významné hodnoty jsou tučným písmem

[§] values are Pearson correlation coefficients; a negative sign (-) indicates negative slope of the relationship; an asterisk indicates statistical significance: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; statistically significant values are in bold

úměrně snižování jejich přítokových koncentrací. Kromě toho, extrapolace v_p v regresní rovnici do nulové hodnoty umožňuje odhadnout, jak se sediment meziročně podílel na snižování či zvyšování zatížení nádrže fosforem. V období do roku 1990 jsou pro obě nádrže úseky na ose x (přísun P do nádrže) vytínané regresní přímkou kladné, takže sediment byl tehdy schopen P vázat cca desítky t P za rok, kdežto po roce 1991 jsou tyto úseky záporné, což indikuje naopak velkou pravděpodobnost uvolňování P ze sedimentu. Do roku 1990, kdy rostl přísun P z povodí, se zjevně vytvářela v sedimentech nádrží zásoba P, ze které se v dalším období snižování přísunu P do nádrží fosfor postupně uvolňuje a tlumí pokles koncentrace ve vodním sloupci. Popsaná situace není pro nádrže ojedinělá. Vliv vnitřního zatížení P ze sedimentů na koncentrace P a na zbrzdování jejich poklesu po snížení externího zatížení P z povodí byl prokázán v řadě studií – např. u německé nádrže Wahnbach [21] nebo u severoamerických [22–24] či afrických [25] nádrží; značný potenciál k uvolňování P ze sedimentů v jihomoravské nádrži Vranov ukázali Jan a kol. [26]. Pro dosažení limitní koncentrace pro dobrý ekologický potenciál v nádržích Orlík i Slapy je tedy potřeba počítat s vyšším rozsahem opatření ke snížení odnosu P v povodí, než jak by se dalo předpokládat na základě velikosti retence v době s nejvyšším znečištěním.

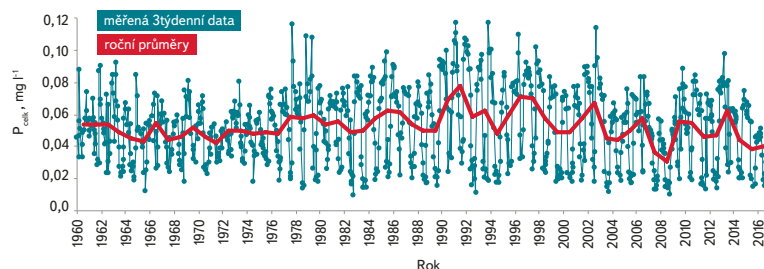
DLOUHODOBÁ A SEZONNÍ VARIABILITA KONCENTRACE P V NÁDRŽI SLAPY

Jednotlivé koncentrace P_{celk} naměřené v nádrži Slapy v profilu Nebřich během nepřetržitého 57letého sledování se pohybovaly v řádovém rozmezí $0,010\text{--}0,120\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ a průměrné roční koncentrace v rozmezí $0,031\text{--}0,077\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (obr. 4). Pro celé období (1961–2015) Kendallův test neprokázal žádné statisticky významné monotónní trendy ani pro průměrné roční, ani pro sezonní



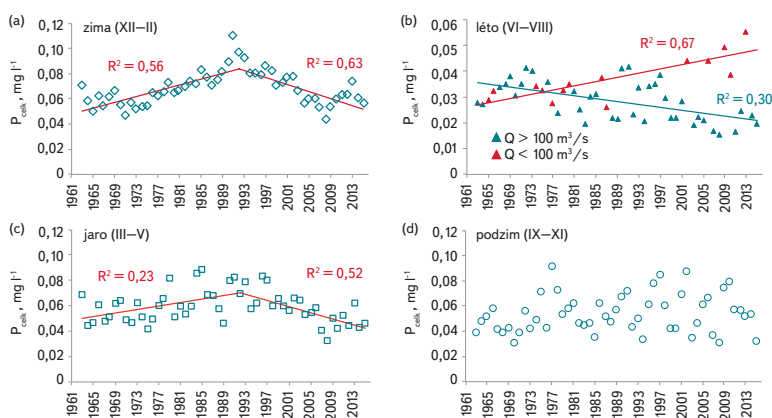
Obr. 3. Ukazatele retence P v nádržích Orlík a Slapy: (a) relativní retence vypočtená z celkového zatížení a odtokové koncentrace P; (b) součinitel sedimentační rychlosti v_p ; (c) korelační vztah mezi ročními hodnotami v_p v nádržích Orlík a Slapy; (d) závislost v_p v nádrži Orlík na přísunu P v období nárůstu zatížení (1972–1990) a v období jeho poklesu (1991–2015); (e) závislost v_p v nádrži Slapy na přísunu P v období nárůstu zatížení (1979–1990) a v období jeho poklesu (1991–2015)

Fig. 3. Indicators of P retention in reservoirs Orlík and Slapy: (a) relative retention calculated from the total load and outflow concentration of P; (b) coefficient of P settling rate v_p ; (c) correlation between annual values of v_p in reservoirs Orlík and Slapy; (d) dependence of v_p in the Orlík reservoir on the P-load during the period of increase of the load (1972–1990) and during the period of its decline (1991–2015); (e) dependence of v_p in the Slapy reservoir on the P-load during the period of increase of the load (1979–1990) and during the period of its decline (1991–2015)



Obr. 4. Koncentrace P_{celk} v profilu Slapy-Nebřich v období 1960–2016

Fig. 4. Concentration of total P in the Slapy-Nebřich profile in the period 1960–2016 (black line with points – measured data in 3 week intervals; red line – annual averages)



Obr. 5. Časové řady průměrných sezonních koncentrací P_{celk} v nádrži Slapy; čáry ukazují statisticky významné ($p < 0,05$) lineární regresní trendy

Fig. 5. Time series of average seasonal concentrations of total P in the Slapy reservoir; the lines show statistically significant ($p < 0.05$) linear regression trends

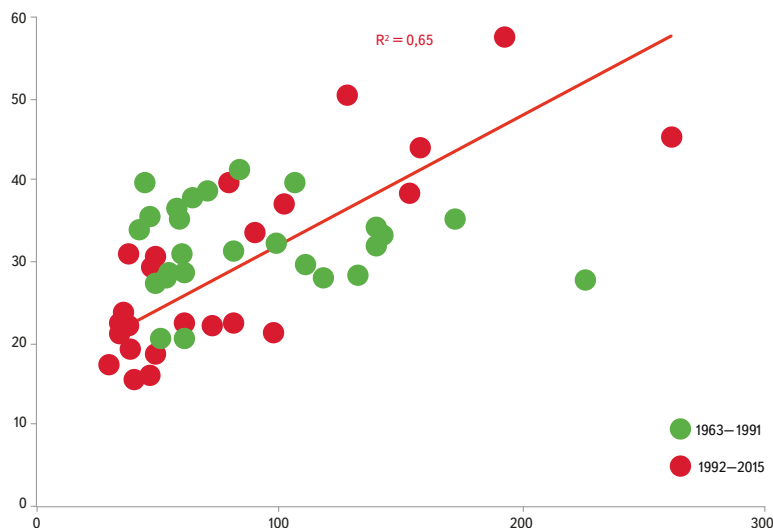
koncentrace P_{celk} . Použití segmentové regrese ale prokázalo v roce 1992 pro roční koncentrace P_{celk} zlomový bod, který rozdělil časovou řadu na dva úseky se statisticky významnými trendy v období 1961–1991 s trendem nárůstu $0,6\text{ }\mu\text{g l}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ a v období 1992–2015 s trendem poklesu $-0,9\text{ }\mu\text{g l}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$.

Sezonní koncentrace P_{celk} byly nejnižší v letním a nejvyšší v zimním období (obr. 5). V časových řadách zimních a jarních koncentrací byl segmentovou regresí zjištěn, obdobně jako pro roční koncentrace, zlomový bod v roce 1992 s rostoucím trendem v období 1961–1991 a klesajícím trendem v období 1992–2015 (obr. 5a, c). Letní a podzimní koncentrace byly rozptýlené a žádné časové trendy u nich prokazatelné nebyly. Nicméně, ve variabilitě letních koncentrací byly identifikovány dva protichůdné časové trendy při průměrném průtoku nad a pod $100\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, tj. s poklesem koncentrací P_{celk} při průtoku $< 100\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ a s jejich nárůstem při průtoku $> 100\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (obr. 5c). Regresní analýza vztahu letních koncentrací P_{celk} a průtoku pro dvě období (1963–1991 a 1992–2015) ukázala, že koncentrace P_{celk} byly do roku 1991 na průtoku nezávislé, kdežto po roce 1991 se při zvýšeném průtoku začaly výrazně zvyšovat (obr. 6). Pro podzimní období vzhledem k velkému rozptylu dat žádné trendy ani závislosti zjištěny nebyly.

TRENDY ENVIRONMENTÁLNÍCH VELIČIN

Změny klimatických a hydrologických podmínek na Slapské nádrži od roku 1961 jsou ukázány na obr. 7.

Hladinová teplota vody naměřená při třítydenních odběrech začala růst koncem 80. let minulého století a zvýšila se do současnosti v průměru o cca $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (obr. 7a). Sezonní Kendallův test prokázal statisticky významný ($p < 0,01$) trend nárůstu se směrnici $0,03\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$ za celé období či $0,08\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$ v období 1987–2015.



Obr. 6. Regresní vztahy mezi průměrnou koncentrací P_{celk} a průtokem v nádrži Slapy v letních měsících (VI–VIII) ve dvou obdobích: 1963–1991 a 1992–2015

Fig. 6. Regression relations between the average concentration of total P and the flow in the Slapy reservoir in the summer months (VI–VIII) in two periods: 1963–1991 and 1992–2015

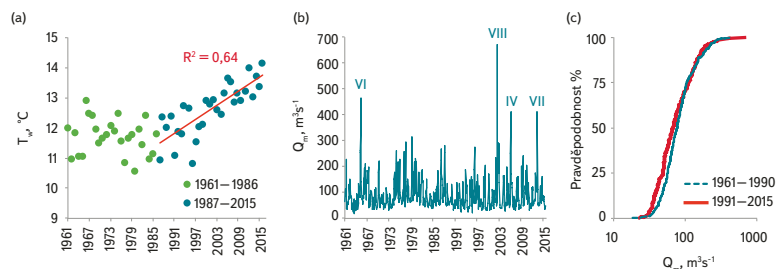
Významné rostoucí trendy teploty vody byly prokázány v posledních letech i pro všechny čtyři roční sezony, přičemž zlomový bod počátku teplotního nárůstu u nich segmentová regrese našla v rozmezí let 1987–1990. Velmi podobné změny v teplotě vody byly popsány u řady evropských jezer, např. v Bodamském jezeře v Německu [27], ve švýcarských jezerech [28] či ve Švédsku [29] a jsou připisovány globální klimatické změně [28–30].

Pro průměrné roční či sezonní průtoky v nádrži Slapy jsme Kendallovým testem nebo segmentovou regresí nenašli žádné statisticky významné trendy nebo zlomové body. Nicméně, u průměrných měsíčních průtoků jsme zjistili, že rozdělení jejich hodnot bylo odlišné v období 1961–1990 a 1991–2015 (obr. 7b,c), přičemž v období 1991–2015 byly průtoky nevyrovnanější, na jedné straně s vyšší frekvencí nižších průtoků, na druhé straně s větším počtem extrémně vysokých hodnot. Události s extrémně vysokými průtoky v období 1991–2015 se vyskytovaly především v letním, popř. v pozdně jarním období.

ZÁVĚR

Analýza dlouhodobých dat koncentrací P_{celk} v nádržích Orlík a Slapy ukázala zřejmou souvislost s různými fázemi socio-ekonomického vývoje v povodí a se změnami klimatických a hydrologických podmínek. Rostoucí a klesající trendy koncentrací a bilance P v přítoku do nádrží i v nádržích samotných v obdobích 1961–1990 a 1991–2015 odpovídaly změnám zdrojů znečištění v povodí, tj. zejména zatížení povrchových vod fosforem z komunálních odpadních vod a zemědělství. Při snižování zatížení povrchových vod fosforem v období 1991–2015 hrály velkou roli změny v ekonomice a environmentální legislativě ČR. Analýza retence P v nádržích ukázala, že P akumulovaný v sedimentech nádrže v době rostoucího zatížení P z povodí v období 1961–1990 se v následujícím období poklesu zatížení P začal uvolňovat a zpětně obohacuje koncentraci P_{celk} ve vodním sloupci a tlumí vliv poklesu koncentrací P v přítoku do nádrží.

V případě hladinové koncentrace P_{celk} v nádrži Slapy v letním období byly příčiny dlouhodobé variability komplexnější a kromě změn zatížení P z povodí závisely také na klimatických a hydrologických podmínkách, tj. hlavně nárůstu teploty a zvětšování nerovnoměrnosti průtoku. Nízký průtok podporuje v nádrži Slapy prodlužování doby stratifikace a pokles koncentrace P v povrchové vrstvě. Naopak



Obr. 7. Ukazatele klimatických a hydrologických podmínek v nádrži Slapy během 1961–2015: (a) časová řada průměrných ročních teplot vody v hladinové vrstvě s odlišným obdobím 1987–2015, kdy byl prokázán rostoucí trend; (b) průměrný měsíční přítok (s vyznačením extrémních měsíců); (c) kumulativní distribuční funkce průtoku v obdobích 1961–1990 a 1991–2015

Fig. 7. Indicators of climatic and hydrological conditions in the Slapy reservoir during 1961–2015: (a) time series of average annual surface water temperatures with a distinguished period 1987–2015 when a growing trend has been proven; (b) average monthly inflow (with the indication of extreme months); (c) the cumulative distribution function of the flow in periods 1961–1990 and 1991–2015

události s vysokým průtokem způsobují i v letním období narušení stratifikace, promíchávání hlubokých vrstev vody (z hypolimnia bohatého na P, jednak díky vysokým přítokovým koncentracím, a také v důsledku uvolňování P ze sedimentů) s epilimniem a zvyšování koncentrace P. Proto se variabilita letních koncentrací P v nádrži začala po roce 1990 zvyšovat a stala se závislou na průtoku. Tento mechanismus vede paradoxně k situaci, kdy letní koncentrace P_{celk} v epilimniu mohou při vysokém průtoku růst (a eutrofizovat nádrž více než v minulosti) navzdory obecnému poklesu zatížení P i poklesu zimních a jarních koncentrací P_{celk} .

Naše výsledky ukazují, že změna klimatu může vést k větší citlivosti vodního ekosystému nádrží vůči přísunu živin a může způsobovat zvyšování jejich eutrofizace i při stabilním nebo klesajícím vnějším zatížení P. Tato skutečnost vyzdvihuje nutnost dalšího snižování vnějších zdrojů P. Vodohospodáři a správci povodí by měli pokračovat ve svém úsilí o maximální eliminaci zdrojů znečištění P v povodí, protože vlivem dopadů změny klimatu pravděpodobně nebude možné dosáhnout požadovaného ekologického potenciálu podle RVS o vodě bez dalšího snížení zatížení fosforem, než k jakému do současnosti došlo.

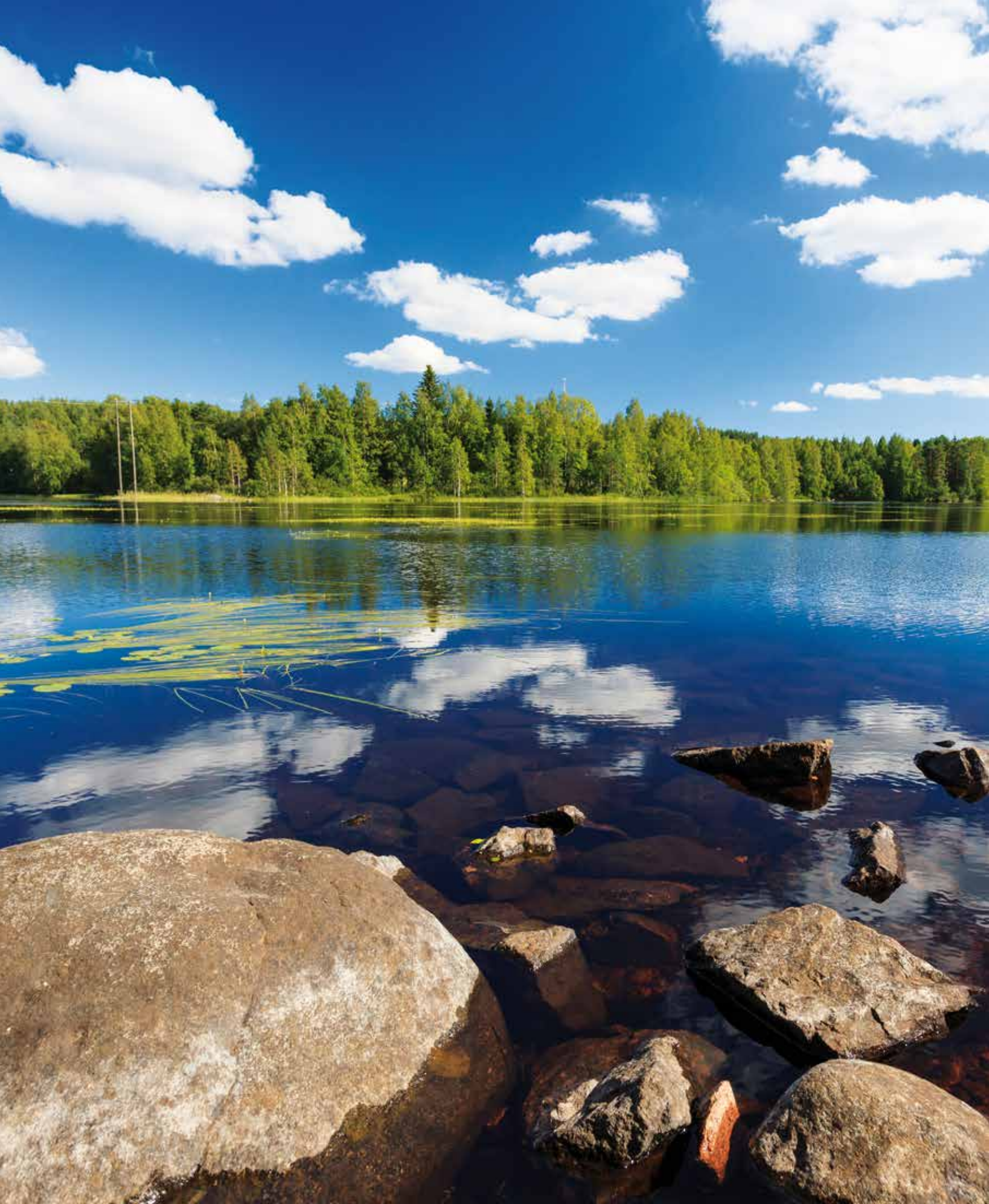
Poděkování

Studie byla podpořena projektem Grantové agentury ČR č. 15-04034S: Odrážejí dlouhodobá data o zooplanktonu Slapské nádrže civilizační a/nebo klimatické změny v minulých 50 letech? Autoři děkují státnímu podniku Povodí Vltavy za poskytnutí provozních dat ze sledování jakosti vody a hydrologických ukazatelů, zejména pak pracovníkům vodohospodářského dispečinku za spolupráci při získávání provozních a hydrologických dat pro nádrže Vltavské kaskády z před-digitálního období.

Příspěvek byl publikován ve sborníku konference Vodní nádrže 2017, ISBN 978-80-905368-5-2.

Literatura

- [1] BOROVEC, J. *Vyhodnocení ekologického potenciálu silně modifikovaných a umělých vodních útvarů – kategorie jezero*. Biologické centrum AV ČR, v. v. i., České Budějovice, 2013, 14 s.
- [2] BOWES, M.J., SMITH, J.T., JARVIE, H.P., NEAL, C., and BARDEN, R. Changes in point and diffuse source phosphorus inputs to the River Frome (Dorset, UK) from 1966 to 2006. *Science of the Total Environment*, 2009, roč. 407, p. 1954–1966.
- [3] SMITH, V.H. and SCHINDLER, D.W. Eutrophication science: where do we go from here? *Trends in Ecology and Evolution*, 2009, 24, p. 201–207.



[4] BAI, Z., MA, L., MA, W., QIN, W., VELTHOF, G.L., OENEMA, O., and ZHANG, F. Changes in phosphorus use and losses in the food chain of China during 1950–2010 and forecasts for 2030. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2016, 104, p. 361–372.

[5] JEPPESEN, E., KRONVANG, B., OLESEN, J.E., AUDET, J., et al. Climate change effects on nitrogen loading from cultivated catchments in Europe: Implications for nitrogen retention, ecological state of lakes and adaptation. *Hydrobiologia*, 2011, 663, p. 1–21.

[6] VAN VLIET, M.T.H., FRANSSSEN, W.H.P., YEARSLEY, J.R., LUDWIG, F., HADDELAND, I., LETTENMAIER, D.P., and KABAT, P. Global river discharge and water temperature under climate change. *Global Environmental Change*, 2013, 23, p. 450–464.

[7] GEBRE, S., BOISSY, T., and ALFREDSEN, K. Sensitivity to climate change of the thermal structure and ice cover regime of three hydropower reservoirs. *Journal of Hydrology*, 2014, 510, p. 208–227.

[8] FLAIM, G., ECCEL, E., ZEILEIS, A., TOLLER, G., CERASINO, L., and OBERTEGGER, U. Effects of re-oligotrophication and climate change on lake thermal structure. *Freshwater Biology*, 2016, 61, p. 1802–1814.

[9] WETZEL, R.G. *Limnology: Lake and River Ecosystems*, Third Edition. Academic Press, 2001.

[10] HEJZLAR, J., ŠÁMALOVÁ, K., BOERS, P., and KRONVANG, B. Modelling phosphorus retention in lakes and reservoirs. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus*, 2006, 6, p. 487–494.

[11] VOLLENWEIDER, R. A. Input–output models with special reference to the phosphorus loading concept in limnology. *Schweizerische Zeitschrift Hydrobiologie*, 1975, 37, p. 53–84.

[12] CHAPRA, S.C. Comment on 'An empirical method of estimating the retention of phosphorus in lakes', by W. B. Kirchner and P. J. Dillon. *Water Resources Research*, 1975, 2, p. 1033–1034.

[13] PRAIRIE, Y.T. Statistical models for the estimation of net phosphorus sedimentation in lakes. *Aquatic Sciences*, 1989, 51, p. 192–210.

[14] REYNOLDS, C.S. Eutrophication and the management of plankton algae: what Vollenweider couldn't tell us. In: *Eutrophication: Research and Application to Water Supply* (D.W. Sutcliffe, J.G. Jones, eds.). Freshwater Biological Association, Ambleside Cumbria, 1992, p. 4–29.

[15] BOROVEC, J., HEJZLAR, J., ZNACHOR, P., NEDOMA, J., ČTVRTLÍKOVÁ, M., BLABOLIL, P., ŘÍHA, M., KUBEČKA, J., RICARD, D., a MATĚNA, J. *Metodika pro hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých vodních útvarů – kategorie jezero*. SFŽP ČR, MŽP ČR a Biologické centrum AV ČR v. v. i., České Budějovice, 2014, 38 s.

[16] HRBÁČEK, J., PROCHÁZKOVÁ, L., STRAŠKRABOVÁ-PROKEŠOVÁ, V., and JUNGE, C.O. The relationship between the chemical characteristics of the Vltava River and Slapy Reservoir with an Appendix: Chemical Budget for Slapy Reservoir. In: *Hydrobiological Studies I* (J. Hrbáček, ed.). Academia, Prague, 1966, p. 41–84.

[17] POPOVSKÝ, J. Determination of total phosphorus in fresh waters. *International Review of Hydrobiology*, 1970, 55, p. 435–443.

[18] KOPÁČEK, J. and HEJZLAR, J. Semi-micro determination of total phosphorus in fresh waters with perchloric acid digestion. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1993, 53, p. 173–183.

[19] HIRSCH, R.M., SLACK, J.R., and SMITH, R. Techniques of trend analysis for monthly water quality. *Water Resources Research*, 1982, 18, p. 107–121.

[20] MURDOCH, P.S. and SHANLEY, J.B. Detection of water quality trends at high, median, and low flow in a Catskill Mountain stream, New York, through a new statistical method. *Water Resources Research*, 2006, 42, No. W08407.

[21] SAS, H. (ed.) *Lake Restoration by Reduction of Nutrient Loading: Expectations, Experiences, Extrapolations*. Academia-Verl. Richarz, St. Augustin, 1989.

[22] Nürnberg, G.K. Assessing internal phosphorus load – Problems to be solved. *Lake and Reservoir Management*, 2009, 25, p. 419–432.

[23] NORTH, R.L., JOHANSSON, J., VANDERGUCHT, D.M., DOIG, L.E., LIBER, K., LINDENSCHMIDT, K.-E., BAULCH, H., and HUDSON, J.J. Evidence for internal phosphorus loading in a large prairie reservoir (Lake Diefenbaker, Saskatchewan). *Journal of Great Lakes Research*, 2015, 41 (Suppl. 2), p. 91–99.

[24] SONG, K. and BURGIN, A.J. Perpetual Phosphorus Cycling: Eutrophication Amplifies Biological Control on Internal Phosphorus Loading in Agricultural Reservoirs. *Ecosystems*, 2017, 20, p. 1483–1493.

[25] KUNZ, M.J., SENN, D.B., WEHRLI, B., MWELWA, E.M., and WUEST, A. Optimizing turbine withdrawal from a tropical reservoir for improved water quality in downstream wetlands. *Water Resources Research*, 2013, 49, p. 5570–5584.

[26] JAN, J., BOROVEC, J., PETRÁŠ, D., OSAFO, N., TOMKOVÁ, I. a HUBÁČEK, T. Vliv dostupnosti akceptorů elektronů na biogeochemické procesy a cyklus fosforu v sedimentu. In: *Sborník konference Vodní nádrže 2017* (KOSOUR, D. et al., eds.), Povodí Moravy, s. p., Brno, 2017, p. 80–85.

[27] JOCHIMSEN, M.C., KUMMERLIN, R., and STRAILE, D. Compensatory dynamics and the stability of phytoplankton biomass during four decades of eutrophication and oligotrophication. *Ecology Letters*, 2013, 16, p. 81–89.

[28] NORTH, R.P., LIVINGSTONE, D.M., HARI, R.E., KÖSTER, O., NIEDERHAUSER, P., and KIPFER, R. The physical impact of the late 1980 s climate regime shift on Swiss rivers and lakes. *Inland Waters*, 2013, 3, p. 341–350.

[29] TEMNERUD, J. and WEYHENMEYER, G.A. *Abrupt changes in air temperature and precipitation: Do they matter for water chemistry?* Global Biogeochemical Cycles, 2008, vol. 22, No. 2, GB2008.

[30] VYSTAVNA, Y., HEJZLAR, J., and KOPÁČEK, J. *Long-term trends of phosphorus concentrations in an artificial lake: Socio-economic and climate drivers*. PLoS ONE 12 (10), e0186917.

Autoři

doc. Ing. Josef Hejzlar, CSc.

✉ hejzlar@hbu.cas.cz

Ing. Jiří Jarošík

✉ jiri.jarosik@hbu.cas.cz

prof. Ing. Jiří Kopáček, Ph.D.

✉ jkopacek@hbu.cas.cz

Yuliya Vystavna, Ph.D.

✉ yuliya.vystavna@hbu.cas.cz

Biologické centrum Akademie věd ČR, v. v. i., Hydrobiologický ústav

Příspěvek prošel lektorským řízením.

TRENDS IN DEVELOPMENT OF PHOSPHORUS CONCENTRATIONS IN ORLÍK AND SLAPY RESERVOIRS

HEJZLAR, J.; JAROSIK, J.; KOPACEK, J.; VYSTAVNA, Y.

Biology Centre of the Czech Academy of Sciences, p. r. i.

Keywords: eutrophication — phosphorus retention — socio-economic indicators — climate change

Based on existing phosphorus data series in the Slapy and Orlík reservoirs and their main tributaries, we reconstructed P inputs to the reservoirs from the catchment during 1961–2016 and compiled empirical models of P retention. P concentrations in both reservoirs increased from the 1960's to 1991 and then declined, with the Slapy Reservoir having a significantly increased year-on-year variability. Trends in the increase and decrease of P reflected the socio-economic development in the Vltava river basin, in particular sewerage, wastewater discharges, fertilizer application, livestock, and fishpond fisheries. Analysis of P retention in reservoirs showed that P accumulated in sediments during the 1961–1990 period of increasing P-load from the catchment was again partly released into water in the subsequent period of decreasing P load and dampened the effect of decreasing P concentrations in the reservoir tributaries. In the Slapy reservoir after 1991, the P concentrations increased during wet summers and created conditions for growth of phytoplankton, whereas in dry summers they decreased to mesotrophy. Climatic and hydrological processes have now apparently begun to compete with a generally decreasing P pollution and support eutrophication despite the drop in P loads from the catchment.

Preference Čechů pro adaptační opatření ke zmírnění dopadů povodní a sucha

IVA ZVĚŘINOVÁ, MILAN ŠČASNÝ, ZUZANA RAJCHLOVÁ

Klíčová slova: adaptace na změnu klimatu — technická opatření — přírodní opatření — výběrový experiment — ochota platit

SOUHRN

Cílem výzkumu je zjistit postoje a preference obyvatel ČR vůči adaptačním opatřením na snížení dopadů povodní a sucha. Na jaře 2016 jsme uskutečnili dotazníkové šetření na reprezentativním vzorku obyvatel ČR (3 666 respondentů). Více než polovina dotázaných očekává, že jejich domácnost bude v příštích 10 letech častěji vystavena dopadům sucha a vln horka. Na národní úrovni respondenti nejčastěji podporovali změnu způsobu hospodaření v lesích (72 %) a zemědělské půdě (69 %) a využívání odpadní a dešťové vody (63 %). Velmi populární je také vytváření mokřadů. Nejkritičtější se vyjadřovali k zavedení daní či poplatků. Češi jsou ochotni i nést část nákladů na snížení dopadů sucha a povodní. V průměru jsou ochotni zaplatit měsíčně za domácnost 1 000 Kč v případě adaptačních opatření na snížení dopadů sucha nebo 923 Kč v případě povodní. Respondenti jsou ochotni nést náklady technických opatření, ale jejich přijatelnost klesá, jak se zvyšuje jejich podíl na úkor opatření přírodě blízkých.

ÚVOD

Adaptační opatření, která by mohla pomoci se přizpůsobit změnám klimatu a jejich důsledkům, jsou v současnosti navrhována a zaváděna na národní a regionální úrovni, dotknou se však i jednotlivců a jejich každodenních životů. Občané sami budou pravděpodobně přispívat k realizaci některých opatření, popřípadě provádět vlastní, individuální, kroky k minimalizaci dopadů na svůj život a majetek. Realizace adaptačních opatření proto do značné míry závisí na názoru a reakci veřejnosti. Podpora veřejnosti může také přispět k implementaci politik a ovlivnit ochotu politiků přijmout konkrétní opatření [1].

Z těchto důvodů jsme uskutečnili na jaře 2016 dotazníkové šetření obyvatel ČR, v rámci kterého jsme zkoumali právě postoje a preference vůči adaptačním opatřením. Zjišťovali jsme, jaké živelné pohromy Češi očekávají, jaké očekávají důsledky změny klimatu, jaká veřejná a individuální adaptační opatření upřednostňují, jaké preferují plány na přizpůsobení se změně klimatu a jestli by byli ochotni nést náklady zavedení takového plánu.

MATERIÁL A METODY

V příspěvku analyzujeme data z dotazníkového šetření, které bylo provedeno na reprezentativním vzorku obyvatel ČR prostřednictvím webového dotazníku zaslaného respondentům v aktivně spravovaném panelu, v němž je identita dotázaných pravidelně ověřována. Bylo celkem získáno 3 666 platných dotazníků od obyvatel starších 18 let. Vzorek je reprezentativní pro 8 regionů (NUTS 2) na základě kvótních charakteristik, konkrétně velikost místa bydliště, věk, pohlaví a vzdělání.

Všech respondentů jsme se ptali, jak často budou oni a jejich domácnost během příštích 10 let vystaveni dopadům živelních pohrom a jak závažné dopady živelních pohrom očekávají. Vnímání četnosti a závažnosti dopadů živelních pohrom bylo měřeno s využitím sedmibodové Likertovy škály a byla nabídnuta možnost, že se živelní pohroma respondentovy domácnosti netýká. Na obr. 2 uvádíme podíly z dotázaných, kteří uvedli, že se jich živelní pohroma týká.

Všichni dotázaní také zodpovídali otázku, jaké budou důsledky změny klimatu do roku 2040, nebudou-li podniknuty žádné kroky vedoucí k zmírnění změny klimatu (žádná nová účinná opatření). Konkrétně byli požádáni uvést na škále od 1 do 7, do jaké míry souhlasí s tím, že nastanou různé situace (např. budou častější období sucha, zvýší se produkce potravin a další). V textu uvádíme podíly ze všech odpovědí.

Účastníci výzkumu byli následně náhodně rozděleni do tří podskupin, z nichž každá obdržela jinou verzi výběrového experimentu a hodnocení jiných adaptačních opatření. V tomto článku analyzujeme data ze dvou podskupin, z nichž první podskupina obdržela adaptační plány snižující dopady povodní a druhá podskupina obdržela opatření snižující dopady sucha. Z tohoto důvodu je počet respondentů, kteří volili v experimentu na sucho, 1 213 a na povodně 1 160. Třetí podskupina volila plány snižující dopady sucha i povodní dle závažnosti jejich dopadů a podílů ohrožených obyvatel, ale výsledky tohoto výběrového experimentu nejsou v tomto článku prezentovány (výsledky lze najít ve výzkumné zprávě [2]).

Pro hodnocení různých adaptačních opatření jsme se respondentů ptali, jestli by zavedli či nezavedli různá opatření na škále od 1 do 7, kdy 1 znamenala „rozhodně zavést“ a 7 „rozhodně nezavést“, nebo mohli vybrat možnost „nevím“.

Preference občanů byly zkoumány prostřednictvím výběrového experimentu, v rámci kterého respondenti volili mezi různými adaptačními plány, které se lišily podílem přírodních a technických opatření, druhem nestavebních opatření, podílem opatření, která přispějí ke zmírnění klimatu, a také vyvolanými náklady, které by domácnosti respondentů musely nést při jejich zavedení.

Respondentům byla volba podoby adaptačního plánu v dotazníku představena jako jistá forma referenda, v rámci kterého bychom rádi zjistili, jaký plán by lidé upřednostňovali. Dále bylo vysvětleno, že probíhá diskuse mezi odborníky a politiky, jaký by Národní akční plán adaptace na změnu klimatu měl být, a že tento dokument bude schválen vládou a bude stanovovat výši finančních prostředků, které by se měly vynakládat na opatření pro přizpůsobení se změnám klimatu. V době realizace šetření se Národní akční plán adaptace na změnu klimatu teprve připravoval, takže mohl být využit pro scénář výběrového experimentu. Národní akční plán adaptace na změnu klimatu byl schválen vládou ČR 16. ledna 2017 [3].

 Vlastnosti opatření na zmírnění škod ze sucha:	Plán A	Plán B	Žádný plán
	80 %	20 %	Žádná
Typ stavebních opatření			
Technická	80 %	20 %	Žádná
Přírodní	20 %	80 %	Žádná
Typ ne-stavebních opatření	Poskytování informací	Daně a dotace	Žádná
Podíl opatření, která přispějí ke zmírnění změny klimatu	méně než polovina	více než polovina	Žádná
Zvýšené měsíční náklady Vaší domácnosti (za rok)	500 Kč (x*12 Kč)	100 Kč (y*12 Kč)	0 Kč (z*12 Kč)
Kterou možnost považujete za nejlepší?	Plán A	Plán B	Žádný plán

Obr. 1. Ukázka výběrové karty pro výběrový experiment zaměřený na typy adaptačních opatření zmírňující škody ze sucha

Fig. 1. Example of a choice card – choice experiment focused on types of adaptation measures to limit drought damage

Zvýšení nákladů respondenta bylo v dotazníku zdůvodněno jako zvýšení cen pitné vody a výrobků v důsledku toho, že stát, správy povodí a společnosti, které dodávají pitnou vodu, budou muset provést nová opatření. Zavedením poplatků za zastavování ploch nebo za vysoké odběry vody by se podnikům zvýšily náklady na výrobu. Všechny tyto náklady by se z části promítly do zvýšení cen pitné vody a výrobků, které běžně všechny domácnosti platí.

Cílem výběrového experimentu je zjistit preference respondentů ohledně typů adaptačních opatření. Konkrétně jsme vyzvali respondenty volit mezi plány, které se lišily:

- podílem technických a přírodních blízkých opatření (100 %, 80 %, 60 %, 40 % technických, přičemž součet podílů obou byl vždy 100 %),
- dodatečnými nestavebními opatřeními (poskytování informací, územní plánování, daně a dotace, pojištění, nebo žádná),
- podílem opatření, která přispějí k řešení snižování emisí skleníkových plynů (méně než polovina, polovina nebo většina projektů)
- a náklady pro domácnost respondenta.

Před volbou plánu jsme respondentům v dotazníku vysvětlili, že bychom chtěli zjistit, jaké druhy opatření považují za nejlepší. Výběrovou kartu pro opatření na zmírnění škod ze sucha ilustruje obr. 1.

Tabulka 1. Atributy a úrovně výběrového experimentu

Table 1. Discrete choice experiment – the attributes and their levels

Charakteristiky plánů	Úrovně adaptačních plánů	Úrovně žádného plánu
Typ stavebních opatření		
Technická	100 %, 80 %, 60 %, 40 %	žádná
Přírodní	60 %, 40 %, 20 %, 0 %	
Typ nestavebních opatření	poskytování informací, územní plánování, daně a dotace, pojištění, nebo žádná	žádná
Podíl opatření, která přispějí ke zmírnění změny klimatu	méně než polovina, polovina, více než polovina	žádná
Zvýšené měsíční náklady domácnosti (za rok)	50 Kč, 100 Kč, 200 Kč, 300 Kč, 500 Kč	0 Kč

Respondenti volili mezi dvěma plány a žádnými opatřeními celkem pětkrát a alternativy byly popsány efektivním designem rozděleným do 15 bloků. Charakteristiky plánů a úrovně, které se respondentům zobrazovaly, jsou shrnuty v tabulce 1.

Data byla statisticky a ekonometricky analyzována. Užití byly zejména modely diskrétní volby. Pro tento příspěvek byla ochota platit odhadnuta multinomiální podmíněnou logistickou regresí. Teoretickým základem ekonometrického modelu je model náhodného užítku („random utility model“) [4].

Pro analýzu dat z výběrového experimentu jsme identifikovali protestující, kteří vždy ve výběrovém experimentu zvolili „žádný plán“ a zároveň projevovali nesouhlas s představeným scénářem zavádění Národního akčního plánu. V případě sucha protestovala necelá 3 % respondentů, v případě povodní pouze okolo 2 %. Pouze 1 % respondentů nevěřilo, že budou výnosy zvýšení cen skutečně využity na realizaci plánu. Ekonometrické modely jsou v tomto článku pak odhadnuté s vyloučením těchto protestních voleb. Důvodem pro vyloučení protestujících je, že vlastně neznáme jejich preferenci, tedy že v případě jiného scénáře by mohli volit adaptační plán nebo nikoliv.

Z analýz jsme naopak nevyloučili odpovědi respondentů, kteří uvedli, že nebudou oni ani jejich domácnost během příštích 10 let vystaveni dopadům živelních pohrom. Cílem bylo totiž zjistit preference obecné populace pro adaptační opatření, která budou financována podle Národního plánu v celé České republice. Důsledky zavedení adaptačních plánů se budou týkat všech obyvatel, nikoliv jen těch, kterých se pohromy bezprostředně týkají. Pokud respondenti, kteří nejsou vystaveni dopadům pohrom, nechtěli přispívat, zvolili „žádný plán“, což považujeme za platnou volbu. Pouze velmi malý podíl respondentů (0,3 % respondentů, kterým byl přiřazen výběrový experiment na sucha a 2,4 % v případě výběrového experimentu na povodně) uvedl jako důvod volby „žádného plánu“, že domácnost není ohrožena suchem či povodněmi. Další informace k dotazníkovému šetření a další analýzy dat včetně výběrových experimentů jsou k dispozici ve zprávě z výzkumu [2].

VÝSLEDKY A DISKUSE

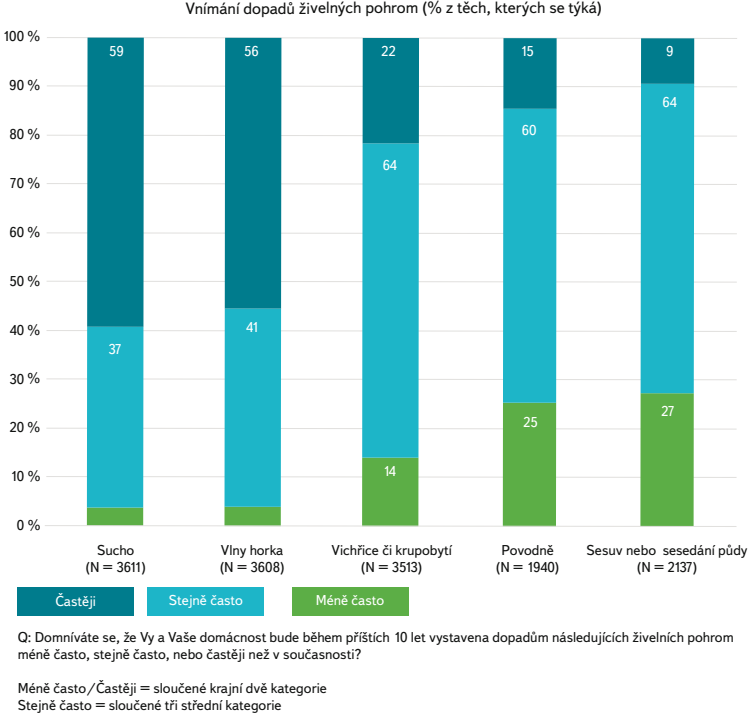
Většina respondentů, kterých se týkají povodně (60 %), vichřice či krupobití, sesuvy nebo sesedání půdy (64 %) předpokládá, že jejich domácnost bude těmto pohromám v příštích deseti letech vystavena stejně často jako v současnosti. Co se týče závažnosti, tak u povodní, vichřic a krupobití a sesuvy nebo sesedání půdy jedinci z více jak 70 % předpokládají, že dopady budou stejně závažné jako doposud. Závažnější důsledky spojují s vlnami horka a sucha, kdy u horka 42 % a u sucha téměř 50 % dotazovaných předpokládá zhoršení dopadů na svou domácnost. Podle 59 % respondentů budou jejich domácnosti častěji vystaveny suchu a podle 56 % respondentů domácnosti budou častěji vystaveny vlnám horka (viz obr. 2).

Častější výskyty sucha v budoucnu respondenti dále spojují se změnami klimatu. V důsledku změny klimatu přibližně dvě třetiny z celého vzorku obyvatel (62 %) očekávají do roku 2040 častější období sucha ve svém regionu a téměř polovina ze všech respondentů rovněž očekává úbytek biodiverzity. Více než třetina předpokládá celkové zhoršení životní úrovně obyvatel (35 %) a častější povodně (29 %).

Podobně jako Češi také většina Italů (62 %) očekává do roku 2040 častější období sucha v důsledku klimatických změn. Naopak pouze 37 % Britů má stejné očekávání. Povodně však očekává 41 % Britů a 51 % Italů [5]. Bouře a povodně, nepředvídatelnost počasí, sucho a vlny veder, ale i zvýšení hladiny moří jsou nejčastěji jmenované očekávané dopady změny klimatu také například ve studii provedené ve Francii, Německu, Norsku a Velké Británii [6].

Mezi opatřeními zmírňujícími dopady sucha v kraji získalo největší podporu opatření, které by do kraje přineslo zlepšení a vytváření více zelených a vodních ploch (71 %). Dále by jedinci v nadpoloviční většině uvítali informace o způsobech chování během sucha (58 %), budování malých vodních nádrží a rybníků (54 %) nebo regulaci spotřeby vody v období sucha (53 %). Nejvíce kriticky se respondenti stavěli k tzv. zeleným střechám na budovách, které by zavedlo pro snížení sucha jen 35 % dotázaných a jsou tak nejméně preferovaným typem opatření.

Také na národní úrovni respondenti pro snížení negativních důsledků sucha podporovali zejména přírodní opatření (obr. 3), konkrétně nejčastěji změnu způsobu hospodaření v lesích (72 %) a zemědělské půdě (69 %). Třetím nejvíce podporovaným opatřením je poté využívání odpadní a dešťové vody. Nejkritičtěji se respondenti vyjadřovali naopak k opatření, které by se jich mohlo týkat přímo a to daně či poplatky za nadměrnou spotřebu vody. Toto opatření odmítá 30 % dotázaných a přijalo by ho pouhých 18 %.

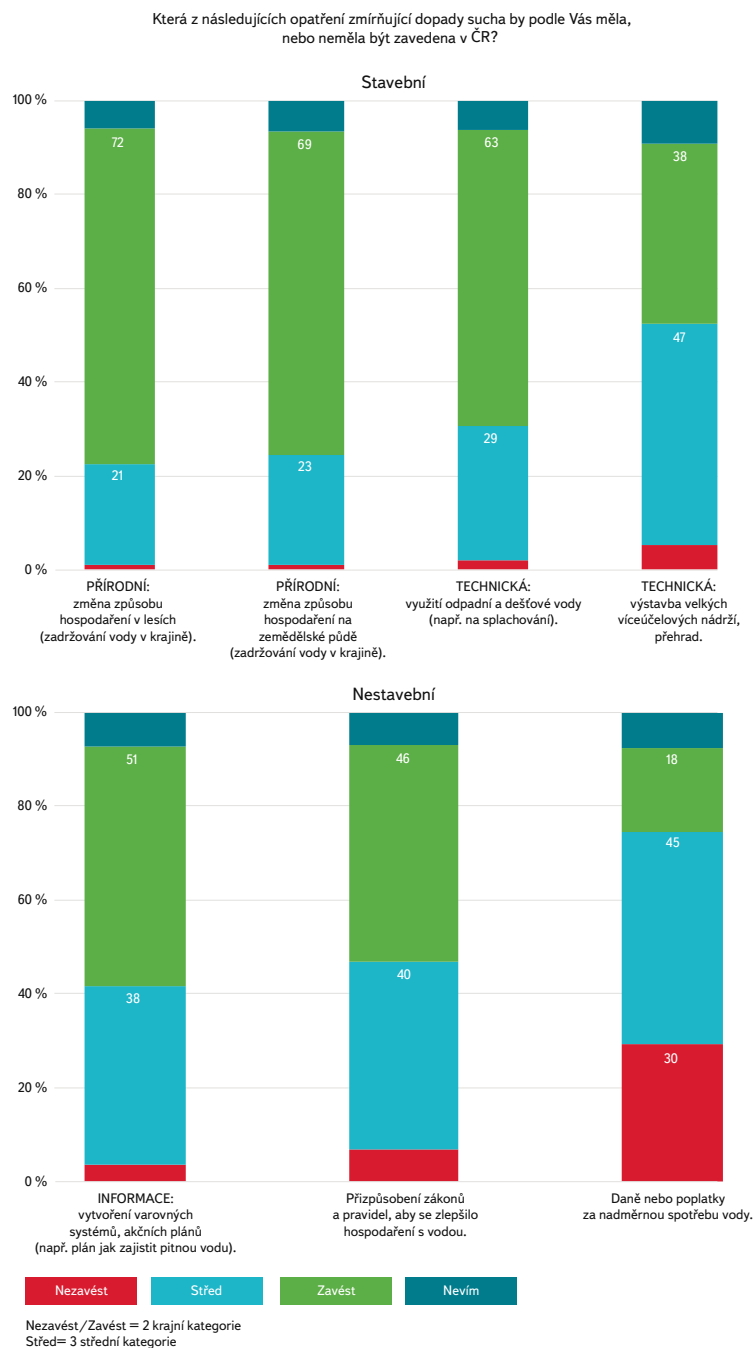


Obr. 2. Vnímání četnosti dopadů živelných pohrom na domácnosti respondentů, kteří se vyjádřili, že se jich dané pohromy týkají
Fig. 2. Perception of the frequency of natural disasters impacts on households of respondents who have expressed their concern about the disasters

Tabulka 2. Odhad volby konkrétních opatření na snížení škod z povodní a sucha, multinomální logistická regrese, po vyloučení protestních odpovědí
Table 2. Choice of specific measures to limit damages from floods and droughts, multinomial logistic regression, after exclusion of protest responses

SUCHO					POVODNĚ				
	koef.	t stat	p value	WTP	koef.	t stat	p value	WTP	
adaptace	2,1995	26,9	<,0001	1,000 Kč	2,4151	28,54	<,0001	923 Kč	
technické (%)	-0,015	-14,54	<,0001	-6,8 Kč	-0,015	-14,07	<,0001	-5,7 Kč	
daně	-0,0151	-0,25	0,8029	*	-0,0785	-1,26	0,2093	*	
pojištění	0,1848	3,32	0,0009	84 Kč	-0,00373	-0,06	0,9482	*	
plánování	0,0899	1,34	0,1795	*	0,0106	0,15	0,8777	*	
informace	0,0366	0,48	0,6337	*	-0,0619	-0,78	0,438	*	
mitigace (střední)	0,0456	1,05	0,2956	*	-0,0087	-0,19	0,8478	*	
mitigace (velké)	0,0671	1,38	0,1664	*	0,0995	1,97	0,0486	38 Kč	
náklady	-0,0022	-17,81	<,0001		-0,00262	-20,37	<,0001		
No respondentů	1 213				1 160				
No odpovědí	6 065				5 800				
Log Likelihood	-6 018				-5 656				
LogL(0)	-6 663				-6 372				

Poznámka: * Koeficient u daného atributu není statistický rozdílný od nuly, a proto hodnota WTP není odvozena.



Obr. 3. Vyjádření souhlasu či nesouhlasu se zavedením navrhovaných opatření zmírňující dopady sucha v ČR (%; N = 1196)

Fig. 3. Agreement or disagreement with the implementation of proposed measures to limit negative impacts of drought in the Czech Republic (%; N = 1196)

Vyšší preference přírodně blízkých opatření lze najít i ve studiích z jiných zemí [5, 7, 8]. Zahraniční výzkumy se však spíše zaměřují na preference určitých skupin obyvatel, např. farmářů [9, 10] či turistů [11], nebo jsou prováděny v jiném geografickém regionu, takže se orientují na jiné dopady změny klimatu, adaptační opatření a jejich kombinace [12]. Prezentovaná studie je výjimečná v tom, že se zaměřuje na preference obecné populace v regionu, kde obdobná studie nebyla doposud provedena, a na balíček různých opatření.

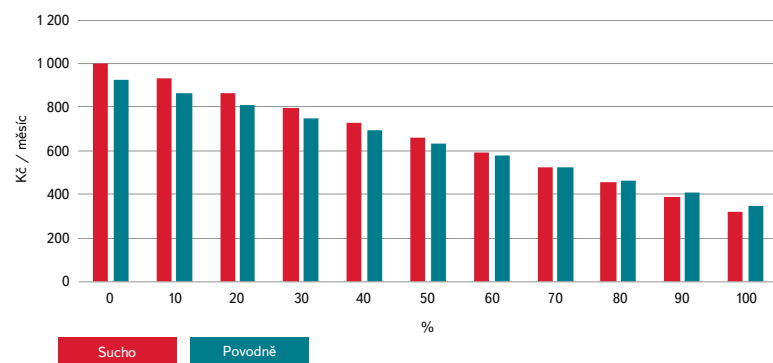
Co se týče povodní, tak největší podíl respondentů na krajské úrovni upřednostňuje údržbu a čištění koryt řek či potoků (73 %) a udržování a tvorbu zeleně, mokřadů a jezírek zachycujících vodu (71 %). Třetím nejpříjemnějším opatřením pro respondenty bylo strategické plánování v povodích, které podpořilo více jak tři pětiny respondentů (66 %). Oproti tomu nejkritičtější se respondenti vyslovili opět v případě tzv. zelených střech, které by i v tomto případě přijalo jen 35 % dotázaných. Významně menší podíl by zavedl jednoduchá a známá opatření proti povodním jako pytlování a budování protipovodňových zábran (39 % a 47 %). Na celorepublikové úrovni jsou pro povodně nejvíce preferovaná stejná opatření jako pro sucho, i když opatření pro sucho a povodně byla hodnocena jinými respondenty (viz kapitola Materiál a metody).

Mezi opatřeními zmírňující dopady vln veder bylo nejpobulárnější pasivní chlazení veřejných budov, respektive izolace, žaluzie a rolety. Pro zavedení této možnosti bylo přes tři pětiny lidí (63 %). Nadpoloviční většina respondentů by podpořila plánování výstavby rozvoje (56 %). Češi byli naopak kritičtí k aktivnímu chlazení veřejných budov, klimatizaci, kterou by nechtělo pořizovat 17 % respondentů a pro zavedení bylo pouhých 25 % jedinců. O něco lépe byla hodnocena klimatizace v prostředcích hromadné dopravy, kterou by uvítalo 37 % a nezavedlo 11 % respondentů. V obou případech klimatizace se ale hodnocení koncentrovalo ve středové kategorii.

Češi jsou ochotni i nést část nákladů na opatření zmírňující dopady sucha a povodní. Na základě analýzy dat z výběrového experimentu jsme zjistili, že v průměru jsou respondenti ochotni zaplatit za adaptační opatření 1 000 Kč (sucho) nebo 923 Kč (povodně) měsíčně za domácnost (viz tabulka 2). Dotázaní silně preferují přírodně blízká opatření. Ochota platit se snižuje s každým procentem, o které jsou přírodně blízká opatření nahrazována technickými opatřeními (viz obr. 4). Například v případě podílu 50 % technických a 50 % přírodně blízkých opatření ochota platit za adaptační plány klesne na 660 Kč měsíčně za domácnost pro opatření na snižování dopadů sucha (1000–50*6.8 Kč) a na 640 Kč měsíčně za domácnost u protipovodňových opatření (923–50*5.7 Kč).

Porovnání výsledků z České republiky se zahraničím umožňuje výzkum realizovaný autory článku v České republice, Itálii a ve Velké Británii na vzorcích obyvatel ve věku 18–69 let [5]. V tomto výzkumu jsme se zaměřili na preference pro konkrétní adaptační opatření. Zachytávání dešťové vody je jedno z nejvíce preferovaných opatření pro snížení dopadů sucha ve všech třech zemích. V České republice byla ochota platit za zachytávání dešťové vody téměř stejně vysoká jako ochota platit za vytváření mokřadů, výstavbu malých vodních nádrží a rybníků, či za změny způsobu hospodaření na zemědělské půdě (403 až 447 Kč za jednotlivá opatření měsíčně za domácnost). Naopak ve Velké Británii je ze všech opatření nejvyšší ochota platit za výstavbu velkých přehrad. Nicméně i ve Velké Británii je vytváření mokřadů velmi oblíbené a ochota platit je jen o málo nižší než za přehradu. Italové upřednostňují před ostatními opatřeními nestavební opatření, zejména daňové úlevy na technologie šetřící vodu. Preference pro adaptační opatření ovlivňuje nejen typ opatření ale i vnímaná účinnost opatření a do jaké míry si lidé myslí, že jsou opatření zavedena [5].

Srovnání preferencí přírodních, strukturálních, technických a měkkých opatření poskytuje také např. švýcarská studie [8], ve které jsou respondenti ochotní zaplatit za zvýšení zalesnění o 40 % až 260 CHF na osobu za rok (cca 5 800 Kč), ale je zřejmé, že design výzkumu byl jiný. Ochota platit za opatření proti suchu byla také zjišťována v několika amerických výzkumech. Například podle Wangové [13] je ochota platit za vodu 0,0120–0,048 USD/m³ (0,23–0,9 Kč/m³) v závislosti na závažnosti sucha. Podle Griffina a Mjeldeho [14] jsou respondenti ochotní zaplatit mezi 12,99 a 48,88 USD (460–1 750 Kč), aby zamezili omezením způsobeným suchem. Další výzkum uvádí, že lidé jsou ochotni zaplatit za účet za vodu měsíčně o 11,60–16,90 USD (350–500 Kč) více, aby se vyhnuli snížení dodávek vody [15].



Obr. 4. Ochota platit za adaptační opatření (v Kč) v závislosti na podílu technických opatření (v procentech)

Fig. 4. Willingness to pay for adaptation measures (in CZK) depending on the share of technical measures (in percentage)

Z dodatečných strukturních opatření lidé upřednostňují pojištění škod ze sucha, zbylá dodatečná opatření nezvyšují ochotu platit za adaptační plány. Opatření na snížení škod z povodní, která mají vysoký potenciál snížení emisí skleníkových plynů (mitigace), jsou mírně preferována (ochota platit je 38 Kč měsíčně za domácnost). V ostatních případech snižování emisí skleníkových plynů pomocí adaptačních opatření nezvyšuje preferenci pro přijetí adaptačních opatření (viz tabulka 2).

ZÁVĚR

Z hlediska veřejnosti je nejpřijatelnější takový Národní akční plán adaptace na změnu klimatu, jehož cílem bude dosáhnout vysokého podílu přírodně blízkých opatření a bude podporovat pojištění škod ke zmírnění finančních dopadů sucha. Potenciál adaptačních opatření pro mitigaci je pro většinu respondentů nejdůležitější u protipovodňových opatření. V průměru jsou respondenti ochotni zaplatit za adaptační opatření 1000 Kč (sucho) nebo 923 Kč (povodně) měsíčně za domácnost. Například v případě podílu 50% technických a 50% přírodně blízkých opatření ochota platit za adaptační plány klesne na 660 Kč měsíčně za domácnost pro opatření na snižování dopadů sucha a na 640 Kč měsíčně za domácnost u protipovodňových opatření. Za předpokladu zavedení stejného podílu technických a přírodně blízkých opatření je celková ochota platit za všechny domácnosti ČR za rok kolem 33 mld. Kč.

Poděkování

Výzkum, jehož výsledky jsou prezentovány v tomto příspěvku, byl realizován v rámci řešení projektů Podpora výměny informací o dopadech změny klimatu a adaptačních opatření na národní a regionální úrovni (EHP-CZ02-OV-1-011-2014) financovaného z EHP fondů 2009–2014 – programu CZ02 – Životní prostředí, GEMCLIME – Globální excelence v modelování klimatu a energetiky financovaného z programu Horizont 2020 Evropské komise (H2020-MSCA-RISE-2015) a Ekonomie energetiky a politiky životního prostředí Univerzity Karlovy (PRIMUS/17/HUM/16).

Příspěvek byl publikován ve sborníku konference Vodní nádrže 2017, ISBN 978-80-905368-5-2.

Literatura

- [1] STEG, L., DREIJERINK, L., and ABRAHAMSE, W. Why are Energy Policies Acceptable and Effective? *Environment and Behavior* [online], 2006, vol. 38, No. 1, p. 92–111. ISSN 0013-9165, 1552-390X. Dostupné z: doi:10.1177/0013916505278519
- [2] ŠČASNÝ, M., ZVĚŘINOVÁ, I., MÁČA, V., MARTÍNKOVÁ, Z. a HAVRÁNEK, M. *Jaká adaptační opatření Češi upřednostňují? Výzkumná zpráva z dotazníkového šetření postojů a preferencí vůči adaptačním opatřením*. Praha: Univerzita Karlova, Centrum pro otázky životního prostředí, 2016, 83 s. Dostupné z: <https://www.czp.cuni.cz/czp/images/2016/KLIMA.pdf>.
- [3] MŽP. *Národní akční plán adaptace na změnu klimatu*, 2017. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni_akcni_plan_zmena_klimatu/\\$FILE/OEOK-NAP_cely_20170127.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni_akcni_plan_zmena_klimatu/$FILE/OEOK-NAP_cely_20170127.pdf)
- [4] MCFADDEN, D.L. Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. In: ZAREMBKA, P. ed. *Frontiers in Econometrics*. New York: Academic Press, 1974, p. 105–142.
- [5] HUNT, A., PARDY, J., FINUS, M., ŠČASNÝ, M., ZVĚŘINOVÁ, I., and MARTÍNKOVÁ, Z. The Economics of Climate Change Adaptation: Deliverable 2.1, Defining the opportunity costs of adaptation. [online]. 2016. Dostupné z: www.econadapt.eu
- [6] STEENTJES, K., PIDGEON, N.F., POORTINGA, W., CORNER, A.J., ARNOLD, A., et al. *European Perceptions of Climate Change: Toplevel findings of a survey conducted in four European countries in 2016*. Cardiff: Cardiff University, 2017.
- [7] MAHMUD, S. *Essays on the Private Defensive Strategies against Storm Damages given the Presence of Public Programs and Natural Storm Protection Barriers*. 2011. Disertační práce. University of Wyoming, United States.
- [8] RYFFEL, A.N., RID, W., and GRÉT-REGAMEY, A. Land use trade-offs for flood protection: A choice experiment with visualizations. *Ecosystem Services* [online], 2014, vol. 10, p. 111–123. ISSN 22120416. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoser.2014.09.008
- [9] TANEJA, G., PAL, B., JOSHI, P.K., AGGARWAL, P., and Tyagi, N.K. Farmers Preferences for Climate-Smart Agriculture: An Assessment in the Indo-Gangetic Plain. *SSRN Electronic Journal* [online], 2014 [vid. 2015-07-02]. ISSN 1556-5068. Dostupné z: doi:10.2139/ssrn.2420547
- [10] ALCON, F., TAPSUWAN, S., BROUWER, R., and DE MIGUEL, M.D. Adoption of irrigation water policies to guarantee water supply: A choice experiment. *Environmental Science & Policy* [online]. 2014, vol. 44, p. 226–236. ISSN 14629011. Dostupné z: doi:10.1016/j.envsci.2014.08.012
- [11] LANDAUER, M., PRÖBSTL, U., and HAIDER, W. Managing cross-country skiing destinations under the conditions of climate change – Scenarios for destinations in Austria and Finland. *Tourism Management* [online], 2012, vol. 33, No. 4, p. 741–751. ISSN 02615177. Dostupné z: doi:10.1016/j.tourman.2011.08.007
- [12] BÉLANGER, D. and GOSSELIN, P. Climate Change in Southern Quebec: Perceptions of the General Population and Suggestions for Future Adaptation. In: *Changements climatiques au Québec méridional: perceptions de la population générale et suggestions d'adaptations futures*. B.m.: Institut national de santé publique du Québec, 2007.
- [13] WANG, Y. *Valuation of irrigation water in southern Alberta a stated preference approach*. Ottawa, 2010. Library and Archives Canada = Bibliothèque et Archives Canada.
- [14] GRIFFIN, R.C. and MJELDE, J.W. Valuing Water Supply Reliability. *American Journal of Agricultural Economics* [online], 2000, vol. 82, No. 2, p. 414–426. ISSN 00029092, 14678276. Dostupné z: doi:10.1111/0002-9092.00035
- [15] CALIFORNIA URBAN WATER AGENCIES. The value of water supply reliability: results of a contingent valuation survey of residential customers. 1994.

Autoři

Mgr. Iva Zvěřinová

✉ iva.zverinova@czp.cuni.cz

Mgr. Milan Ščasný, Ph.D.

✉ milan.scasny@czp.cuni.cz

Mgr. Zuzana Rajchlová

✉ zuzana.rajchlova@czp.cuni.cz

Univerzita Karlova, Centrum pro otázky životního prostředí

Příspěvek prošel lektorským řízením.

CZECH CITIZENS' PREFERENCES OF ADAPTATION MEASURES TO LIMIT DAMAGES FROM FLOODS AND DROUGHTS

ZVERINOVA, I.; SCASNY, M.; RAJCHLOVA, Z.

Charles University, Environment Centre

Keywords: climate change adaptation — hard measures — nature-based measures — discrete choice experiments — willingness to pay

The aim of the research is to examine attitudes and preferences of the Czechs for adaptation measures reducing impacts of floods and droughts. In spring 2016, we conducted a survey on a representative sample of the Czech population (3,666 respondents). More than half of the respondents expect that their households will be exposed to the effects of droughts and heat waves more often in the next 10 years. Changes in forest management (72 %), agricultural land management (69 %), and use of waste and rainwater (63 %) were the most supported measures at the national level. Creation of wetlands was also very popular. Respondents were most critical of introduction of taxes or fees. The Czechs are willing to pay part of the costs of drought and flood damage reduction. The average household willingness to pay for adaptation measures reducing impacts of droughts is CZK 1,000 a month and of floods is CZK 923. Respondents are willing to pay for costs of technical measures, but their acceptability declines as their share increases at the expense of natural measures.



Autoři VTEI

Ing. Pavel Balvín

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ pavel.balvin@vuv.cz
www.vuv.cz



Ing. Pavel Balvín je vedoucím oddělení Hydrauliky ve VÚV TGM, v. v. i., ve kterém pracuje od roku 1997. V roce 1997 ukončil obor Vodní hospodářství a vodní stavby na ČVUT, Fakultě stavební. Zabývá se problematikou proudění v otevřených korytech, fyzikálním a matematickým modelováním. Podílí se na koordinaci mezinárodních projektů s povodňovou tematikou. Zabývá se modelovým výzkumem hydrotechnických staveb a objektů na vodních tocích. Od roku 2010 se intenzivně zabývá problematikou minimálních zůstatkových průtoků a způsobu jejich stanovení jako podkladu pro nařízení vlády ČR. V současné době je hlavním řešitelem mezinárodního projektu Rainman zaměřeného na problematiku povodní z přívalových srážek. Je členem technické normalizační komise č. 145.

doc. Ing. Josef Hejzlar, CSc.

Biologické centrum AV ČR, v. v. i., České Budějovice

✉ hejzlar@hbu.cas.cz
www.hbu.cas.cz



Doc. Ing. Josef Hejzlar, CSc., vystudoval VŠCHT v Praze, Fakultu technologie paliv a vody v oboru Technologie vody a prostředí. Od roku 1984 je zaměstnán v Hydrobiologickém ústavu v Akademii věd ČR jako vědecký pracovník, v období 1995–2015 zde byl vedoucím Oddělení hydrochemie a modelování vodních ekosystémů. Od roku 1993 vyučuje na Přírodovědecké fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích v oboru limnologie. Ve své výzkumné činnosti se zabývá zejména problematikou koloběhů živin v povodí a vodních ekosystémech, eutrofizací a kvalitou vody v tocích, rybnících a údolních nádržích včetně jejich matematického modelování.

Ing. Jana Konečná, Ph.D.

VÚMOP, v. v. i.

✉ konecna.jana@vumop.cz
www.vumop.cz



Ing. Jana Konečná, Ph.D., vystudovala VUT v Brně, doktorát získala na Mendelově univerzitě v Brně. Pracuje ve VÚMOP, v. v. i., oddělení Pozemkové úpravy a využití krajiny, kde se zabývá zejména problematikou ochrany půdy, vody a pozemkových úprav.

Ing. Daniel Marton, Ph.D.

VUT v Brně

✉ marton.d@fce.vutbr.cz
www.fce.vutbr.cz



Ing. Daniel Marton, Ph.D., vystudoval obor Vodní hospodářství a vodní stavby na Fakultě stavební VUT v Brně. Od roku 2011 je zaměstnán jako odborný asistent Ústavu vodního hospodářství krajiny na Fakultě stavební VUT v Brně.

V současnosti vede přednášky z předmětů Klimatologie a Vodohospodářská legislativa. Dále zajišťuje výuku cvičení z předmětů Hydrologie a Nádrže a vodohospodářské soustavy. Hlavním zájmem výzkumné činnosti jsou aplikovaná hydrologie, klimatologie, aplikace nejistot do vodohospodářských úloh a pokročilé vodohospodářské řešení nádrží. Mezi další pracovní zkušenosti patří například pozice postdoktorand na projektu Excelentní mladí vědci na VUT v Brně v letech 2012 až 2015. Působil jako hostující výzkumný pracovník na University of Exeter ve Velké Británii v letech 2013 a 2014, kde prováděl výzkumnou činnost zaměřenou na testování vybraných metod hydrologických spolehlivostí zásobního objemu nádrže s využitím multikriteriální optimalizace. V období let 2015 až 2016 byl členem řešitelského týmu projektu ADAPTAN financovaného pomocí Norských fondů. Od roku 2017 je řešitelem projektu SEDECO financovaného v rámci Evropského fondu pro regionální spolupráci INTERREG AT-CZ.

Ing. Jiří Šajer

VÚV TGM, v. v. i., pobočka Ostrava

✉ jiri.sajer@vuv.cz
www.vuv.cz



Ing. Jiří Šajer vystudoval obor Vodní stavby a vodní hospodářství na Stavební fakultě VUT v Brně. Od roku 1995 se ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka, v. v. i., na pobočce v Ostravě zabývá modelováním jakosti vody v tocích, modelováním míscích zón pod bodovými zdroji znečištění a hodnocením dopadu antropogenní činnosti na jakost povrchových vod. V letech 2003 až 2004 se podílel na mezinárodním projektu Pilot River Basin Lausitzer Neisse.

Mgr. Iva Zvěřinová

Univerzita Karlova

✉ iva.zverinova@czp.cuni.cz
www.czp.cuni.cz



Mgr. Iva Zvěřinová pracuje od roku 2008 v oddělení Environmentální ekonomie a sociologie v Centru pro otázky životního prostředí Univerzity Karlovy, kde se zabývá zejména výzkumem preferencí obyvatel a spotřebního chování ve vztahu k životnímu prostředí, přijatelností politik, environmentálně signifikantním chováním, mimotržním oceňováním nebo vnímáním environmentálních a zdravotních rizik. Je absolventkou oboru Sociologie na Filosofické fakultě Univerzity Karlovy, kde také nyní studuje doktorský studijní program. Podílí se na řešení evropských a českých projektů, např. INHERIT: Inter-sectoral Health Environment Research for Innovation (Horizon 2020, 2016–2019); ECONADAPT: The economics of climate change adaptation (FP7, 2013–2016); Stated-preference study to examine the economic value of benefits of avoiding selected adverse human health outcomes due to exposure to chemicals in the European Union (ECHA, 2012–2013); CECILIA2050: Choosing Efficient Combinations of Policy Instruments for Low-carbon development and Innovation to Achieve Europe's 2050 climate targets (FP7, 2012–2015); Podpora výměny informací o dopadech změny klimatu a adaptačních opatření na národní a regionální úrovni (EHP a NF, 2015–2016), a na mnoha dalších. Přednáší na Katedře sociologie FF UK.

Rozhovor s ředitelem Znaleckého ústavu bezpečnosti a ochrany zdraví

RNDr. Mgr. Petrem A. Skřehotem, Ph.D.

Můžete v krátkosti představit ZÚBOZ, z. ú.?

Znalecký ústav bezpečnosti a ochrany zdraví, z. ú., je nezávislá instituce, která se zaměřuje na znaleckou, vědecko-výzkumnou, vzdělávací a osvětovou činnost v oblasti bezpečnosti práce, ergonomie, požární ochrany, prevence nehod a havárií, hygieny práce včetně radiační, bezpečnostního inženýrství a risk managementu. Ústav je zapsán do I. oddílu seznamu ústavů kvalifikovaných pro znaleckou činnost pro hlavní obor „bezpečnost práce“. Jako jediný ústav v ČR disponujeme dvanácti soudními znalci, kteří působí v celkem sedmnácti samostatných specializacích. Znaleckou činnost provádíme jak pro potřeby orgánů veřejné moci, tak i pro firmy, organizace a občany. Každý, kdo potřebuje ve výše uvedených oborech jakékoli poradenství, se na nás může s důvěrou obrátit.

Kromě expertní činnosti tvoří poměrně významnou část aktivit ústavu také práce jeho členské sekce. Ta spočívá především v podpoře vzájemné odborné spolupráce mezi členy ústavu, s cílem napomáhat ke sdílení osobních zkušeností (lessons learnt, benchmarking), prohlubování znalostí, rozvíjení dovedností, šíření veřejné osvěty a popularizace témat týkajících se bezpečnosti a ochrany zdraví. Aktuálně náš ústav sdružuje 42 členů, z nichž je 7 právnických osob. Členové se pravidelně jednou za čtvrt roku scházejí a v rámci těchto odborných kolokvií společně řeší aktuální otázky a problémy, s nimiž se ve své praxi potýkají. Kolegialita a ochota si pomáhat je skutečnou předností, kterou se můžeme navenek pochlubit.

Ústav spolupracuje také téměř se čtyřmi desítkami partnerských organizací. Patří mezi ně zejména vysoké školy nebo jejich organizační složky, výzkumné organizace, profesní sdružení, přední inženýrské společnosti nebo významné firmy působící v oborech zájmu ústavu. Spolupráce s našimi partnery se uskutečňuje v mnoha formách. Především se jedná o účast na vysokoškolské výuce nebo vedení diplomových prací studentů. Dále se podílíme na pořádání odborných akcí a konferencí. V neposlední řadě také kooperujeme v oblasti výzkumu, případně v jiné odborné činnosti (společná expertní stanoviska apod.). S některými našimi partnery dlouhodobě podáváme společné nabídky do výběrových řízení veřejných zakázek nebo do výzev národních programů podpory výzkumu a vývoje. Velmi mne těší, že jednou z organizací, s níž udržujeme velice těsné vztahy, je i Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce, se kterým oficiálně spolupracujeme od roku 2015.

Jsou v současnosti nějaké „trendy“ v oblasti bezpečnosti a ochrany zdraví při práci (BOZP)?

Předně je potřeba říci, že mnoho lidí vůbec netuší, že bezpečnost a ochrana zdraví při práci představuje samostatný, komplexní vědní obor, který se dnes vyvíjí na řadě vysokých škol. Spousta lidí vnímá zkratku BOZP jen jako agendu plynoucí z právních předpisů, jakési nutné zlo, či dokonce přežitek doby. Málokdo ovšem ví, že se jedná o jednu z oblastí společenské činnosti lidí, která zahrnuje požadavky, opatření, prostředky a metody přispívající k vytvoření bezpečných podmínek pracovního procesu. BOZP se tedy týká každého z nás, ať už si to uvědomujeme, či nikoli. Každý člověk intuitivně a jistě ve vlastním zájmu pracuje tak, aby se vyhnul negativním projevům práce – úrazům, nehodám, nebo nemocem z povolání – a to jak v práci, tak i doma, na chalupě, na dovolené, prostě všude. A úkolem BOZP je pomáhat lidem nalézat bezpečné způsoby práce, a to

za pomoci vhodných opatření – technických (např. ochranné kryty), ochranných (např. ochranné prostředky) nebo organizačních (např. pracovní postupy, návody k obsluze, ...). Neméně důležité jsou také hygienické limity, které jsou postupně zaváděny na základě nejnovějších poznání v toxikologii, medicíně či technice. Kupříkladu, ještě před 30 lety si nikdo nepřipouštěl nebezpečnost tak běžné látky, jakou je azbest. Nu a dnes už nikdo ani na chvíli nezapochybuje o tom, jak vysoké riziko může představovat jediné azbestové vlákno, které vdechneme. I to je důsledek snažení v oblasti BOZP.



Vrátím-li se ale k Vaší původní otázce, tak pochopitelně jako každý obor, také bezpečnost a ochrana zdraví při práci se vyvíjí. Reaguje na vývoj v naší společnosti a přináší neustále něco nového. To, co bychom mohli nazývat trendem současnosti, jsou především nové formy práce. Dochází k posunu role člověka na řadě pracovišť, a to zejména v souvislosti se zaváděním automatizace a robotizace. Fyzicky náročné práce jsou dnes již spíše výjimkou. Naproti tomu jsme v posledních letech svědky poměrně dramatického nárůstu psychické zátěže a nejrůznějších forem násilí a šikany (například mobbing, bossing, staffing, sexuální obtěžování ad.), na které se velmi těžko reaguje. Dále se objevují tzv. nová a nově vznikající rizika (new and emerging risks), která bývají spojena s nově používanými chemickými látkami nebo technologiemi (například nanotechnologie), s různými negativními projevy pracovního prostředí (např. tzv. syndrom nemocných budov) nebo s nárůstem výskytu muskuloskeletálních onemocnění. Ačkoli ani netušíme, jaké důsledky nové formy práce v budoucnu přinesou, na všechny tyto výzvy je nutné v zájmu prevence reagovat už nyní.

Tím, jak se svět okolo nás mění, musí mít i specialisté na BOZP stále širší přehled a orientovat se ve stále větším počtu oborů. Donedávna kupříkladu nikdo příliš neznal ergonomii. A dnes se bez znalosti ergonomických standardů v BOZP neobejde takřka nikdo. Odhaduji, že tím, jak se postupně začíná uplatňovat Průmysl 4.0, bude BOZP nutně vyžadovat také znalosti modelování a používání nejrůznějších simulací. To už rozhodně nebude práce pro bezpečnostního technika, jak jej známe dnes. Bude to systémový inženýr, jehož práce bude spočívat ve využití virtuální reality. V delší budoucnosti dokonce nelze vyloučit ani to, že „bezpečáci“ budou pečovat o bezpečné pracovní podmínky nejen lidí, ale také robotů. V některé odborné literatuře se takové úvahy objevují už dnes. Myslím, že se máme nač těšit (smích).

Co Vás přivedlo k problematice vzorkování vod?

Přiznám se upřímně, že to byla úplná náhoda. Někdy v roce 2013 mne oslovila pracovnice brněnské pobočky VÚV paní Mgr. Jana Ošlejšková s žádostí o spolupráci při tvorbě metodiky hodnocení míry potenciálního ohrožení památek antropogenními a přírodními vlivy. Jednalo se o projekt v programu NAKI a pro mne to byla velice zajímavá a zcela nová problematika. Původně jednorázová věc se ale postupně rozšířila až na tříletou spolupráci. Když se pak projekt blížil svému závěru, napadlo nás zkusit společně podat něco nového. Tehdy se akorát připravovala třetí výzva v programu společensko-vědního výzkumu OMEGA Technologické agentury ČR. Na přípravě nového projektu jsem už plně pracoval s kolegy z pražského VÚV panem Ing. Jiřím Kučerou a paní Ing. Alžbětou Petránovou. S ohledem na několik ohlasů z praxe nás napadla myšlenka pokusit se vyplnit „prázdné místo“ ve vodním zákoně, které se týkalo získávání odborné způsobilosti vzorkařů pracujících pro oprávněné laboratoře. Přeci každý vzorkař pro svou práci nutně potřebuje jak znalosti z oblasti technologie vody a vodního hospodářství, tak i z bezpečnosti a ochrany zdraví. Všichni jsme pro toto téma doslova zahořeli, neboť jsme cítili obrovskou příležitost pro spolupráci v rámci našich rozličných specializací. Podali jsme tedy projekt zaměřený na vývoji nových kvalifikačních kritérií určených pro osoby připravujících se na výkon profese vzorkaře a k naší radosti byl přijat k podpoře. V následujících dvou letech (tj. 2016–2017) jsme jej pak postupně řešili. Z mého pohledu se jednalo o jeden z nejúspěšnějších a nejzajímavějších projektů, na kterých jsem se kdy podílel.

V čem spočívala spolupráce s VÚV TGM, v. v. i.?

V rámci řešení projektu TD03000017: Kritéria a požadavky na způsobilost osob oprávněných ke vzorkování vod spočívala role našeho ústavu v řešení širokého spektra úkolů. Nejprve to byla analýza současné platné legislativy týkající se vzorkování vod a to z hlediska bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Dále jsme se věnovali otázkám spolehlivosti lidského činitele, neboť je to právě člověk, který sám determinuje svou bezpečnost v terénu. Společně s kolegy z VÚV jsme se pak podíleli na třech sériích terénních experimentů, které spočívaly v simulaci vzorových pracovních postupů pro odběry různých typů vod, vyhledávání souvisejících rizik práce a návrhu vhodných opatření k ochraně zdraví vzorkařů. V druhé části řešení jsme pak realizovali hlavní část dotazníkového šetření, a to včetně vyhodnocení získaných dat. Ty byly využity k tvorbě výstupů projektu (certifikovaná metodika). V závěru projektu nakonec ještě proběhl projektový seminář, kde byly dosažené výsledky prezentovány, a to včetně vzorových výukových prezentací k problematice BOZP. Na všech našich úkolech s námi spolupracovali kolegové z naší partnerské firmy ERGOWORK s. r. o., která nám současně pomáhala kofinancovat náš rozpočet z komerčních zdrojů.



Jakých výsledků v rámci spolupráce na projektu vzorkování bylo dosaženo a jaký význam budou mít výsledky pro praxi?

Náš projekt byl neskutečně bohatý na výstupy! Při jeho přípravě jsme zdaleka netušili, jaké synergie spojení vodního hospodářství a bezpečnosti a ochrany zdraví při práci nakonec přinese. Vytvořili jsme pět původních odborných studií:

- Analýza problematiky bezpečnosti a ochrany zdraví při vzorkování vod.
- Analýza odpovědností za škodu způsobenou v důsledku pracovního úrazu nebo provozní nehody v souvislosti s prováděním odběrů vzorků.
- Právní požadavky na vzorkování a odběry vzorků vod.
- Lidský faktor při vzorkování vod.
- Terminologický slovník k problematice vzorkování vod.

Postupně jsme publikovali osm odborných článků:

- Analýza právního rámce k zajištění BOZP při vzorkování vod v terénu.
- Kritéria a požadavky na způsobilost osob oprávněných ke vzorkování vod.
- Karta BOZP pro profesi vzorkař vod a kalů.
- Vzorkování vod – běžná práce s řadou skrytých rizik.
- Specialista vzorkování vod a požadavky na jeho odbornou způsobilost.
- Odpovědnost za škodu způsobenou v důsledku pracovního úrazu nebo provozní nehody při provádění odběrů vzorků vod.
- Prevence rizik při práci v uzavřeném prostoru.
- Požadavky na kvalifikaci a vzdělávání vzorkaře.

Řadu z nich jsme vydali ve sbornících prestižních mezinárodních konferencí, kterých jsme za ty dva roky navštívili celkem šest – Bezpečnost a ochrana zdraví při práci 2016 a 2017, Vodní toky 2016, Hydroanalytika 2017 a Aktuálně otázky bezpečnosti práce 2016 a 2017.

Nově jsme definovali také deset odborných pojmů, které byly následně převzaty do národního terminologického a výkladového slovníku BOZP „Encyklopedie BOZP“, který provozuje Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i. Dále jsme uspořádali dva odborné semináře a pro potřeby praxe jsme vytvořili vzorová Pravidla pro nakládání s nebezpečnými chemickými látkami a chemickými směsmi, které jsme též projednali se zástupci Krajské hygienické stanice pro hlavní město Prahu, jak to ostatně vyžaduje zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví.

Hlavním plánovaným výstupem projektu nicméně byla Metodika kritérií a požadavků na způsobilost osob oprávněných ke vzorkování vod, která zahrnuje šest samostatných příloh určených jak pro odbornou přípravu vzorkařů, tak i pro jejich vlastní práci v terénu:

- Příloha 1: Kvalifikační standard pro profesní specializaci Specialista vzorkování vod,
- Příloha 2: Soubor metodických listů pro odběry různých typů vod a tekutých kalů,
- Příloha 3: Soubor obrazových informačních listů k jednotlivým variantám odběrů,
- Příloha 4: Příkaz k provedení odběru vzorků (vzorový formulář),
- Příloha 5: Karta BOZP pro profesi Specialista vzorkování vod,
- Příloha 6: Seznam právních předpisů a technických norem.

Patrně největší pýchou projektu je nová norma ČSN 01 8003 – Zásady pro bezpečnou práci v chemických laboratořích, kterou se nám podařilo vytvořit a hlavně prosadit do praxe. Norma vznikla zcela neplánovaně až spontánně. Její zrod ale nebyl vůbec jednoduchý. Zprvu nás odpovědná pracovnice ÚNMZ dokonce od tohoto záměru odrazovala s argumentem, že prý není nová norma vůbec zapotřebí. My jsme ale díky našemu projektu věděli, že to není pravda. Měli jsme totiž řadu ohlasů lidí z laboratorní praxe, kteří po nové normě doslova volali. Ta stará, původní norma, byla nepochybně již přežitá a bylo velmi problematické ji v praxi dodržet. Museli jsme tedy ÚNMZ složitě přesvědčovat, ale naše námaha se nakonec vyplatila. V srpnu 2017, k naší velké radosti, norma ve Věstníku ÚNMZ skutečně vyšla.

Jaké vidíte perspektivy oboru BOZP v souvislosti s problematikou vodního hospodářství?

Další perspektivy spolupráce našich dvou oborů jsou nesporné. Existuje totiž řada zajímavých průsečíků, kde lze nacházet příležitost ke vzájemné spolupráci. S paní RNDr. Danou Baudišovou, Ph.D., jsme kupříkladu zabrousili do problematiky ochrany pracovního ovzduší v čistírnách odpadních vod. „ČOVky“ obecně jsou, podle mého názoru, vůbec nejzajímavějším segmentem, kde lze stále zkoumat jak otázky týkající se BOZP, tak i používaných technologií. Neméně zajímavou příležitostí nabízí také rybníkářství. I zde, podobně jako tomu bylo u vzorkařů, se potýkáme s potřebou lépe vydefinovat požadavky na znalosti a praktické dovednosti osob, které tuto profesi vykonávají. V neposlední řadě také řešení problémů souvisejících se suchem, zejména tedy výstavby retenčních nádrží, provoz vodních zdrojů apod., by mohly nabízet zajímavá témata, u nichž by se skloubila problematika vodního hospodářství a bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Uvidíme, jaké nápady nám časem přijdou na mysl a zda se nám je podaří promítnout do konkrétních projektů. Všechno chce svůj čas a ten pravý okamžik.

Ing. Alžběta Petránová

Voda v kulturách starého Peru

Nejstarší dějiny Peru jsou obvykle spojovány s říší Inků. Je pravda, že za vlády Inků Pachacutiho se jednalo o říši, která na jihoamerickém kontinentu neměla obdoby. Když Pachacuti v r. 1471 zemřel, táhla se jeho říše na území dlouhém 3 800 km od dnešního Chile na jihu po Ekvádor na severu a zčásti zasahovala i do území dnešní Argentiny, Brazílie a Bolívie. Často se však zapomíná, že mohutná říše Inků vyrostla na základech desítek předchozích kultur, jež si Inkové postupně podmanili. Tyto kultury měly mnohé společného. Jedním ze společných atributů byl posvátný vztah k vodě. Jednou z mnoha božstev byla např. Mamacocha (Matka vody) – incká bohyně všech vod. Představovala nejen moře a jeho příliv, ale vztahovala se též k jezerům a řekám, jejichž dětmi byly prameny. Kromě toho, že staré peruánské kultury vodu uctívaly, s nedostatkem i nadbytkem vody si dokázaly obdivuhodným způsobem poradit.

Mezi významné předinkové kultury patřila kultura Nasca, známá především záhadnými velkoplošnými obrázky a geoglyfy, které ve svém díle zpopularizoval Erich von Däniken. Tato kultura se dokázala v horském prostředí geniálně vypořádat s nedostatkem vody. K zajištění dodávek vody do města a pro zavlažování okolních polí umožňujících pěstování bavlny, fazolí, brambor atd. v jinak vyprahlé oblasti vybudovali akvadukt Cantalloc (nebo též Cantayo), jenž je skutečně dílem výjimečného hydrologického inženýrství a je mnohem složitější než zmíněné obrázky. Jeho stáří se odhaduje na 1500–2000 let. Objeven byl v r. 1605 a první záznam o jeho existenci pochází od španělského kronikáře Reginalda de Lizaragy.

Když se řekne akvadukt, obvykle se nám vybaví visutá stavba podobající se mostu, jak ji známe z dob starého Říma. Cantalloc plní sice stejnou funkci, ale naši zažitou podobu akvaduktu nesplňuje, vede totiž pod zemí. Voda je přiváděna z 12 km vzdálené hory Cerro Blanco. K překonání pouštního klimatu, který je extrémně horký a suchý, je voda vedena podzemním potrubím, které kromě toho, že vylučuje odpařování vzácné kapaliny, sbírá dále vodu, kterou filtruje ze země. Nejprve byly vykopány 20 až 50 m vzdálené studny, dokud se nenarazilo na vodní vrstvy. Těchto studní, známých jako „ojos de agua“ (vodní oči), je více než 30, jsou 4–5 m hluboké a na jejich dno se schází po spirálovém chodníku. Sloužily zároveň jako inspekční a údržbová místa. Jsou propojeny kanálem, který je dosud funkční a je dost vysoký, aby jím mohl prolézat člověk. Na podobném principu jsou vybudovány i podzemní kanály v pouštních oblastech Afriky a Asie, známé jako kanáty.

Neméně umu, stavitelské geniality a konstrukčního mistrovství předvedli ve svých stavbách také Inkové. Při stavbě proslulého Machu Picchu, na úpatí ovinutém posvátnou řekou Urubamba, vynaložili obrovské úsilí, aby se zbavili přebytečné vody. Bez znalosti kola, železných nástrojů i bez písemné podoby svého jazyka dokázali vybudovat na ploše několika hektarů monumentální stavby a chrámy, které by se nedochovaly do dnešních dnů, kdyby stavbám nepředcházely zemní práce sahající více než 2,5 m do hloubky. Jejich účelem bylo odvedení přebytečné vody pryč z města. Tuto oblast totiž každoročně bičují silné lijáky, které mají na svědomí časté sesuvy půdy. Každoročně tu spadne přibližně 2 m srážek. Inčtí stavitelé proto museli nejdříve horu zpevnit, což se jim podařilo pomocí pozoruhodné soustavy teras, které jsou pro Machu Picchu životně důležité. Kromě pěstování plodin bylo jejich hlavním úkolem odvádění obrovského množství dešťové vody a zpevnění svahu. Dešťová voda by holé svahy bez teras rozmočila a stavby by se po nich svezly dolů. Inkové ale tomu zabránili důmyslným odvodňovacím systémem. Archeologové našli uvnitř teras vrstvu úrodné ornice, pod kterou byla vrstva písku a pod ní štěrk a vrstva větších kamenů. Dá se říci, že jsou to jakési filtrační ochozy schopné pojmout obrovské množství dešťových srážek. Voda může těmito důmyslnými vrstvami bez problémů prosakovat a terasám nehrozí zaplavení a nedochází k téměř žádné půdní erozi.

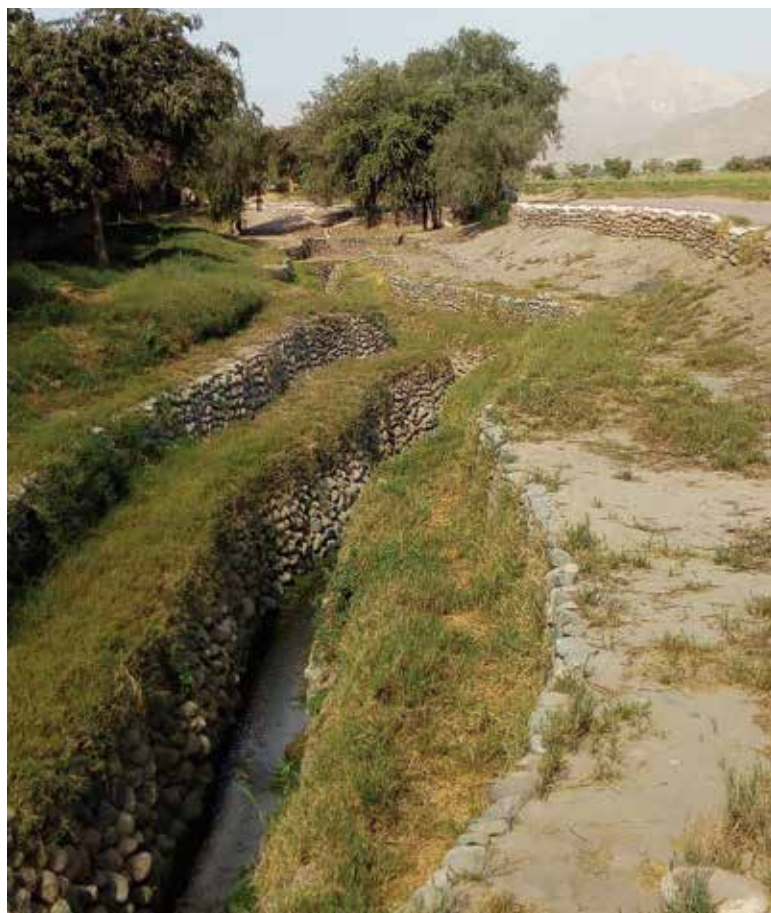


Cantalloc – studna akvaduktu





Machu Picchu – pohled na město s terasami



Cantalloc – vyústění kanálu z akvaduktu

Celé toto dílo korunuje důmyslná síť stupňovitě řazených fontán. Inkové s vodou bojovali a přitom zde na její oslavu zároveň budovali fontány. Ve městě je 16 nádherných fontán, které kromě své okrasné funkce sloužily i jako přirozený zdroj pitné vody. Fontány jsou napájeny z přírodního pramene v nedaleké hoře. Inkové od ní vybudovali kanál s pečlivě vypočteným sklonem 3 %, aby přiváděl do fontán potřebné množství vody. V závislosti na ročním období jím přitéká něco mezi 23–114 l vody za minutu.

Se zásobováním měst vodou si Inkové vždy poradili s obdivuhodnou zručností. Příkladem může být kdysi kultovní centrum Inky Pachacutiho v Ollantaytambo s velkolepým chrámem Slunce a lázněmi. Nachází se asi 72 km severozápadně od centra incké říše – Cuzca. V době španělského dobývání Peru sloužilo jako pevnost, v níž se ukryl Inka Manco Yupanqui. První nápor Španělů se mu podařilo odrazit, když si vzal na pomoc právě vodu. Celé údolí nechal zaplavit řekou Patacancha. Pítoreskní malebné městečko je obývané dodnes a stále jím prochází původní otevřený zavlažovací kanál, který je napájen přivaděčem z okolních hor.

Také pěstování plodin na místech s nedostatkem vody vyžadovalo šetrné hospodaření postavené na důmyslném zavlažovacím systému. Takovým místem je bývalé město Tipón nalézající se 22 km jihovýchodně od Cuzca. Dnes jsou tu jen zbytky původních staveb, ale i ty uchvátí svým architektonickým stylem. Kromě chrámového komplexu se tu nachází i nádrž obsahující 900 m³ vody napájená z kamenného akvaduktu na kopci a síť dosud perfektně zachovalých vodních kanálů, jimiž jsou zavlažovány široké zemědělské terasy. Archeologové nevyklučují, že Tipón ve své době sloužil jako jakési experimentální centrum inckého zemědělství.

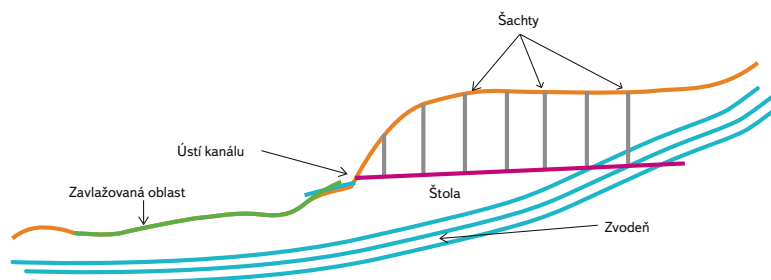


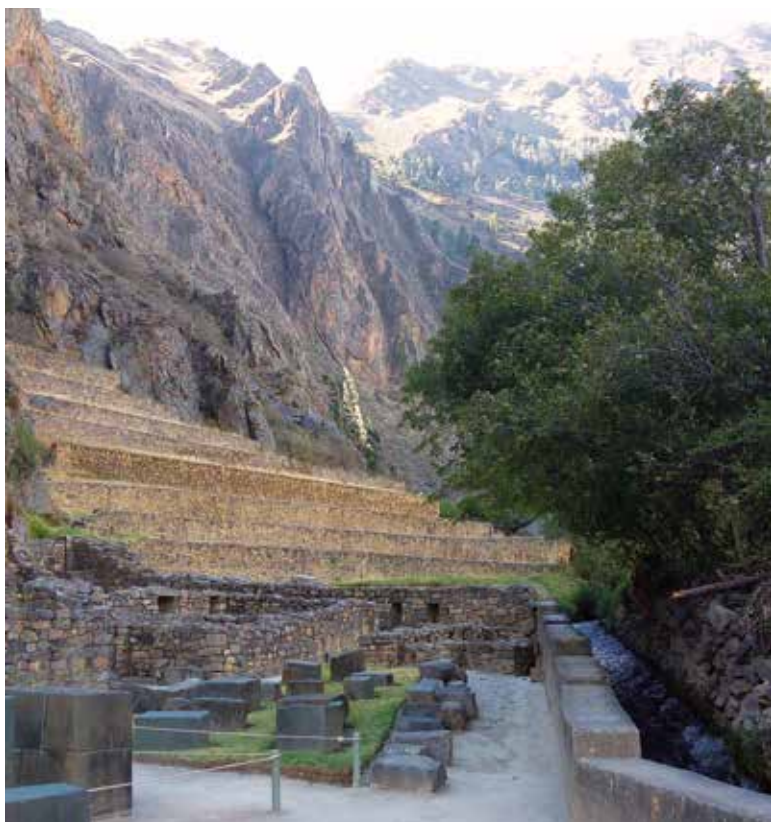
Schéma akvaduktu



Machu Picchu – rozvod vody městem



Machu Picchu – fontána



Ollantaytambo – přivaděč vody do města



Ollantaytambo – rozvod vody městem

Inkové vodu používali nejen na pití a zavlažování polí, ale také na očistu těla i ducha. Za tímto účelem vybudovali řadu lázní, jež měly i obřadní či rituální účel. Takové lázně se nalézají např. poblíž Cuzka v místě zvaném Tambo Machay. Leží u pramene, z něhož je rozvedena soustava kanálů a vodopádů, které procházejí terasovitými skalami. Na nejvyšším stupni jsou umístěny čtyři lichoběžníkové výklenky, jež patrně sloužily jako sedátka. Z otvoru ve spodní části kaskády tryská pramenitá podzemní voda vyústěná do malého vodopádu, který je vysoký právě tak, aby se pod ním mohl osprchovat stojící člověk. Dále se pramen rozděluje do dvou kanálků, kterými voda stéká až na zem. Rozvod



Tipón – vodní kanály (fotografie: Lucie Remešová)



Tambo Machay – rituální lázně

vody do kanálků byl vytvořen tak, aby jimi protékalo identické množství vody. Proč tomu tak je, zůstává záhadou. Údajně se tu omývali pouze příslušníci nejvyšší incké šlechty, a to výhradně při rituálech.

Nebyla to však jen voda, ke které Inkové přistupovali s náboženskou úctou. Se stejnou vážností a obřadností uctívali Slunce, Měsíc, Zemi a řadu dalších věcí, které považovali za božské. Jejich přízeň si bylo nutno získávat obětními obřady. Dětské oběti přitom nebyly výjimkou.

Autor

Mgr. Jiří Veselský

✉ jveselsky@upcmil.cz



ČVTVHS, z. s., v roce 2017

V roce 2017 pokračovala standardní činnost, výbor společnosti se sešel desetkrát, jednání se vždy účastnili členové kontrolní komise. Valná hromada se konala 24. května na Novotného lávce a byla nevolební. V plánu roku 2017 bylo třináct odborných akcí, přičemž některých jsme se účastnili pouze organizační, propagační či personální spoluprací (Sedimenty vodných toků a nádrží, 18th International Conference on Transport and Sedimentation of Solid Particles, Vodní nádrže 2017 a Vodní toky 2017). Podařilo se uskutečnit, loni nerealizovaný, tradiční seminář Podzemní voda ve vodoprávním řízení XIII, ale naopak se z různých důvodů nekonaly tři uvažované akce (opakování semináře Provoz a ekonomika vodovodů a kanalizací malých měst a obcí, Národní dialog o vodě 2017 a Seminář Adolfa Patery 2017). K ostatním odborným akcím dále uvádíme jejich stručnou rekapitulaci.

HYDROLOGIE MALÉHO POVODÍ 2017

Konference s mezinárodní účastí se konala 18.–20. dubna 2017 v sálech 217 a 213 a jejím odborným garantem byl Ing. Miroslav Tesař, CSc., člen výboru ČVTVHS, z. s., a vědecký pracovník Ústavu hydrodynamiky AV ČR. Konference se nakonec zúčastnilo 91 osob, mezi nimi 22 účastníků ze Slovenska. Z celkového počtu bylo 85 platících včetně tří zástupců firem s obchodní prezentací.

Na konferenci bylo předneseno celkem 38 příspěvků a 15 příspěvků bylo představeno formou posterového sdělení. Sborník s 50 příspěvky byl vydán v elektronické podobě na flash disk a CD. Třídenní rokováání v sedmi sekcích pokrývalo všech devět odborných témat, první den byl uspořádán společenský večer s rautem, druhý den se uskutečnila exkurze do Muzea Karlova mostu a podzemí Křižovnického kláštera. Shrnutí přednesených poznatků bylo provedeno odborným garantem v časopisu Vodní hospodářství.

PROVOZ A EKONOMIKA VODOVODŮ A KANALIZACÍ MALÝCH MĚST A OBCÍ

Odborná akce se uskutečnila v sále 217 dne 3. května 2017, s odborným garantem semináře Ing. Janem Plechatým, členem výboru a předsedou představenstva VRV Praha, a. s. Semináře se zúčastnilo 121 posluchačů, zejména pracovníků úřadů (76), a to především úřadů obecních. Vystoupení pěti přednášejících byla přijata velice pozitivně, na sekretariát bylo vyřízeno několik poděkování a přání, abychom v podobných akcích pro pracovníky úřadů pokračovali. Na webu byly vyvěšeny použité prezentace – byl o ně značný zájem již okamžitě po semináři.

SEDIMENTY VODNÝCH TOKŮ A NÁDRŽÍ

Konference s mezinárodní účastí, která se konala 17.–18. května 2017 v Bratislavě. Odbornými guaranty byli Ing. Pavel Hucko, CSc., předseda Slovenské vodohospodářské společnosti a dále RNDr. Jarmila Makovinská, CSc., a Ing. Dušan Abaffy, Ph.D. – všichni z Výzkumného ústavu vodohospodářského v Bratislavě. Konference se zúčastnilo 81 odborníků, z toho více než polovina z ČR. Bylo odprezentováno 21 příspěvků (10 SR a 11 ČR) a 6 posterů. Byly předneseny i dvě firemní prezentace, jedna z ČR a jedna ze SR. Podrobnější zhodnocení konference bylo uveřejněno v časopisech Vodohospodářsky spravodajca a Vodní hospodářství. Další pokračování konference se předpokládá v roce 2019.

VALNÁ HROMADA

Valná hromada se konala 24. května 2017 na Novotného lávce, byla nevolební a zúčastnilo se jí 17 individuálních a čestných členů s jedním hlasem a 15 zástupců přidružených členů pověřených právem hlasovat, dohromady s celkovou vahou 104 hlasů ze 155 možných. Kromě členů společnosti bylo na valné hromadě přítomno i šest hostů. Valná hromada byla v celém svém průběhu usnášeníschopná. Čestným členem byl jmenován Ing. Zdeněk Barták, a to jako ocenění jeho mnohaleté práce v oblasti hydrologie i v orgánech ČVTVHS. Odborným programem byla přednáška na téma „Intenzifikace ÚČOV Praha na Císařském ostrově“, kterou připravil a přednesl Ing. Petr Kuba, Ph.D., člen výboru a hl. inženýr projektu Sweco Hydroprojekt, a. s.

18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TRANSPORT AND SEDIMENTATION OF SOLID PARTICLES

Konference se konala od 11. do 15. září 2017 v sálech 319 a 419 na Novotného lávce. Hlavním organizátorem byl Ústav hydrodynamiky AV ČR, odborným garantem prof. Ing. Pavel Vlasák, DrSc., nám. ředitele ÚH AV. ČVTVHS, z. s., se na organizaci mezinárodní konference podílela technickou a organizační podporou.

VODNÍ NÁDRŽE 2017

Ve dnech 3.–4. října 2017 se uskutečnil IV. ročník vodohospodářské konference s mezinárodní účastí Vodní nádrže 2017, kterou pořádalo Povodí Moravy, s. p., ve spolupráci s ČVTVHS a dalšími státními podniky Povodí a partnery v Brně v hotelu Holiday Inn. Záštitu letošního ročníku udělili ministr zemědělství, ministr životního prostředí a hejtman Jihomoravského kraje, odbornou garancí byl pověřen Ing. Dr. Antonín Tůma, ředitel Povodí Moravy, s. p., pro správu povodí a člen výboru ČVTVHS, z. s. Konference měla vysokou odbornou úroveň a během 28 přednášek byly prezentovány všechny vědní obory od vodního hospodářství, správy povodí, kvality vod, biologie, limnologie, čistírenství až po klimatologii. Konference byla zaměřena hlavně na vliv fosforu na kvalitu vody a na erozi zemědělské půdy a její význam pro zanášení nádrží a toků. Samostatný blok byl věnován také aktuálním otázkám nedostatku vody – vlivu sucha na vodní systémy a lidskou spotřebu.

XXV. KONZULTAČNÍ DNY PRACOVNÍKŮ VODOHOSPODÁŘSKÝCH RADIOLOGICKÝCH LABORATOŘÍ

Tradiční odborná akce pro pracovníky vodohospodářských radiologických laboratoří se konala 9.–12. října 2017, v hotelu Luční bouda v Krkonoších, zúčastnilo se jí 30 pozvaných pracovníků specializovaných pracovišť. Odborným garantem byl Ing. Eduard Hanslík, CSc., vedoucí oddělení radioekologie z VÚV TGM, v. v. i., a člen odborné skupiny Odpadní vody a čistota vod ČVTVHS, z. s. Následně byl pro účastníky setkání vydán sborník.

PODZEMNÍ VODA VE VODOPRÁVNÍM ŘÍZENÍ XIII

Seminář se uskutečnil 25. října 2017 na Novotného lávce, v sále 217. Odbornými guaranty byli RNDr. Jitka Novotná z Geotestu, a. s., Brno a Ing. Miroslav Olmer, člen OS Podzemní vody. Program semináře byl sestaven z vybraných příspěvků odpřednášených počátkem září na XV. Hydrogeologickém kongresu, s čímž vedení České asociace hydrogeologů vyjádřilo souhlas. Semináře se zúčastnilo 83 účastníků a jde nesporně o úspěšné pokračování letité tradice. Bylo předneseno osm příspěvků a vystavena čtyři posterová sdělení. Účastníci obdrželi sborník referátů (55 stran).

VODNÍ TOKY 2017

Tradiční konference s mezinárodní účastí se konala 21.–22. listopadu 2017 v hotelu Černigov v Hradci Králové pod záštitou ministra zemědělství Mariana Jurečky a primátora města Hradec Králové Zdeňka Finka. Hlavním organizátorem již 15. ročníku konference byl VRV Praha, a. s., odborným garantem Ing. Jan Plechatý (člen výboru a předseda představenstva VRV, a. s.). ČVTVHS, z. s., stejně jako všechny Podniky Povodí se na přípravě a organizaci spolupodílela. Konference se zúčastnilo 363 vodohospodářů z řad správců povodí, správců vodních toků, projektových a inženýrských firem, dodavatelů a výrobců a též zástupců samospráv a státní správy, včetně zástupců Ministerstva zemědělství a Ministerstva životního prostředí. Příspěvky 22 přednášejících odrážely hlavní témata konference: problematika správy vodních toků a správy povodí včetně relevantních právních předpisů, podpora financování technických opatření na vodních tocích z veřejných zdrojů a řešení extrémních hydrologických jevů (sucho, povodně) a zlepšení vodního režimu v krajině.

PROBLEMATIKA BŘEHOVÝCH POROSTŮ VODNÍCH TOKŮ A DOPROVODNÝCH POROSTŮ VODNÍCH DĚL

Seminář se konal 18. prosince 2017 v sále 217 na NL, pod odbornou garancí Ing. B. Müllera, člena kontrolní komise a předsedy OS vodohospodářů seniorů. Na organizační přípravě se spolupodíleli pracovníci Povodí Vltavy. Semináře se zúčastnilo celkem 128 účastníků, úvodní přednášku pronesl prof. RNDr. B. Moldan, CSc., z Centra pro otázky životního prostředí UK a o dalších osm vystoupení se pak rozdělili pracovníci ČIŽP, VD TBD a zejména Podniků povodí. Zvolené téma vedlo k živé, neformální diskusi trvající ještě dlouho po ukončení semináře.

Autor

Ing. Václav Bečvář, CSc.

✉ voda@cvtvhs.cz

tajemník ČVTVHS, z. s.

VTEI/2018/2

Od roku 1959

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.

Ročník 60



VTEI.cz

Vydává: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka,
veřejná výzkumná instituce, Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6

Redakční rada:

Ing. Petr Bouška, Ph.D., RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D., doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur,
Mgr. Róbert Chriateľ, Mgr. Vít Kodeš, Ph.D., Ing. Jiří Kučera, Ing. Milan Moravec, Ph.D.,
Ing. Jana Poárová, Ph.D., Mgr. Mark Rieder, RNDr. Přemysl Soldán, Ph.D.,
Dr. Ing. Antonín Tůma, Mgr. Lukáš Záruba

Vědecká rada:

Ing. Petr Bouška, Ph.D., doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D., prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.,
prof. Ing. Radka Kodešová, CSc., RNDr. Petr Kubala, Ing. Tomáš Mičaník,
Ing. Michael Trnka, CSc., Mgr. Zdeněk Venera, Ph.D., Dr. rer. nat. Slavomír Vosika

Šéfredaktor:

Lenka Jeřábková
T: +420 220 197 465
E: lenka.jerabkova@vuv.cz

Kontakt na redakci:

E: info@vtei.cz

Autoři fotografií tohoto čísla:

Archiv VÚV

Grafická úprava, sazba, tisk:

ABALON s. r. o., www.abalon.cz

Náklad 1500 ks

Příští číslo časopisu vyjde v červnu.
Pokyny autorům časopisu jsou uvedeny na www.vtei.cz.

ISSN 0322-8916
ISSN 1805-6555 (on-line)
MK ČR E 6365



ŘEKA ÚHLAVA

Řeka Úhlava pramení na Šumavě na západním svahu Pancíře ve výšce 1 110 m n. m. v místě zvaném Irlavská louka. Řeka se vine 108,5 km skrz Plzeňský kraj, aby přímo v Plzni vtekla do Radbůže ve výšce 303 m n. m. Je jednou ze čtyř zdrojnic řeky Berounky. Na fotografii meandruje před Klatovami u obce Poborovice. *Text a fotografii dodal Jiří Jiroušek, www.nebeske.cz.*

**VÝZKUMNÝ ÚSTAV
VODOHOSPODÁŘSKÝ
T.G. MASARYKA**

veřejná výzkumná instituce

VTEI.cz