



9-10 / 2020

# VODOHOSPODÁRSKY SPRAVODAJCA

dvojmesačník pre vodné hospodárstvo a životné prostredie







## Milí čitatelia,

jesenné obdobie vo VODOHOSPODÁRSKEJ VÝSTAVBE, š. p., už tradične patrí pripomienke začiatku prevádzkovania Vodného diela Gabčíkovo. Tento rok 24. októbra to bude už dvadsaťosem rokov, keď sa vďaka prehradeniu koryta Dunaja pri Čunove uviedla vodná stavba oficiálne do prevádzky. O dva dni nato, teda 26.

októbra 1992, sa roztočila prvá turbína gabčíkovskej elektrárne a plavebnou komorou zase 6. novembra 1992 prešla prvá osobná loď Martin. Dielo zrodené z veľkej myšlienky profesora Petra Danišoviča nevznikalo jednoducho, dodnes však svojou prevádzkou potvrdzuje svoje opodstatnenie a význam. Tak z hľadiska protipodvodňovej ochrany, ako aj medzinárodnej lodnej dopravy, hydroenergetického, športového a rekreačného využitia.

Vodné dielo Gabčíkovo sa stalo výkladnou skriňou vodného hospodárstva, o ktoré je potrebné sa s dôrazom na vysokú odbornosť starať a usilovať sa aj o stále zlepšovanie prevádzky. Som presvedčený, že treba hľadať moderné riešenia, ktoré budú zároveň zohľadňovať environmentálne hľadisko a budú dlhodobo udržateľné. V rámci prevádzky vodnej stavby potrebujeme vyriešiť aj dlhodobé zanášanie zdrže. Okolie Vodného diela Gabčíkovo, ľavostranná ramenná sústava Dunaja, je navyše zdrojom obrovského prírodného bohatstva s významnými lužnými lesmi, mokraďami a vzácnymi druhmi rastlín a živočíchov. V súčasnosti pracujeme na tom, aby boli aj na území Slovenskej republiky ramenná Dunaja viackrát do roka dotované vodou vo zvýšenej miere. Nielen na základe aktuálnej petície environmentálnych aktivistov a požiadaviek Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky, ale aj v záujme štátneho podniku Vodohospodárska výstavba sme vytvorili tím zamestnancov podniku, ktorí začali pripravovať návrh aktualizácie a úprav Dočasného manipulačného poriadku. Tento záväzný dokument okrem manipulácie s vodou v rámci prevádzky Vodného diela Gabčíkovo zaisťuje, aby sa dosiahli všetky účely tejto vodnej stavby. V prvom rade bezpeč-

nosť a medzinárodný lodný tranzit cez plavebné komory Vodného diela Gabčíkovo a zároveň environmentálne prínosy a hydroenergetické využitie.

V rámci vyššie spomínaného zlepšovania kvality prevádzky si dovoľím uviesť aj aktuálny európsky projekt „Inovácia a modernizácia plavebných komôr Vodného diela Gabčíkovo“. Teší ma, že sa nám podarilo začiatkom augusta zabezpečiť aj pre tento strategický projekt finančné pokrytie. Uzatvorili sme s konzorciom bánk úverovú zmluvu a rokovaniami sme dosiahli výrazné šetrenie nákladov štátneho podniku, a to vďaka zníženiu úrokovej sadzby a úprave úverových podmienok.

Vodohospodárska výstavba má však pred sebou aj ďalšiu dôležitú úlohu, a to prinavrátiť plnú funkčnosť a ďalšiu dlhodobú prevádzkyschopnosť turbinám a energetickým zariadeniam Vodnej elektrárne Gabčíkovo.

Od môjho nástupu do funkcie generálneho riaditeľa štátneho podniku v júli tohto roka som si za priority cieľ stanovil očistu podniku od akýchkoľvek neuduhov a nedostatkov a pomoc na ceste za vyššou transparentnosťou. Je pre mňa mimoriadne dôležité, aby sa z Vodohospodárskej výstavby stal modernejší, rešpektovanejší a ešte prospešnejší podnik. Rozbehol som v tejto súvislosti viaceré vnútorné audity a analýzy interných procesov. Zároveň považujem v oblasti plnenia úloh, ktoré vyplývajú z vodohospodárskej činnosti, za dôležité, aby sa oba štátne podniky, Slovenský vodohospodársky podnik a Vodohospodárska výstavba, vydali na cestu ešte intenzívnejšej spolupráce. A to tak v oblasti prevádzky a bezpečnosti vodných stavieb na Slovensku, ako aj vyrovnania majetkovo-právnych vzťahov na pozemkoch v okolí vodných stavieb.

Pri príležitosti dvadsaťosemročnej prevádzky Vodného diela Gabčíkovo si zároveň dovoľujem vyjadriť vďaka aj našim predchodcom vodohospodárom i súčasným zamestnancom a spolupracovníkom hlavne zo Slovenského vodohospodárskeho podniku, Výskumného ústavu vodného hospodárstva, Ministerstva životného prostredia SR, Ministerstva dopravy a výstavby SR a všetkým, ktorí Vodnému dielu Gabčíkovo venovali a venujú svoje odborné zručnosti, vedomosti, zánietenie a maximálnu pozornosť, aby bolo bezpečné a účelné aj pre ďalšie generácie.

Ing. Vladimír Kollár  
generálny riaditeľ Vodohospodárskej výstavby, š. p.

© Vodohospodársky spravodajca

ďvojmesečník pre vodné hospodárstvo a životné prostredie / ročník 63

**Vydavateľ:** Združenie zamestnávateľov vo vodnom hospodárstve na Slovensku, Nábr. arm. gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava, IČO: 30 841 721, tel.: +421 (0)2 59 343 336, www.zzvh.sk

**Redakcia:** Nábr. arm. gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava, tel.: +421 (0)2 59 343 322, mobil: +421 905 594 435, e-mail: [hucko@vuvh.sk](mailto:hucko@vuvh.sk), [maria.rimarcikova@vuvh.sk](mailto:maria.rimarcikova@vuvh.sk)

**Redakčná rada:** Ing. Marián Bocák, Ing. Stanislav Dobrotka, Ing. Danko Thalmeinerová, Ing. Ingrid Grundová, Ing. Pavel Hucko, CSc. (predseda), doc. Ing. Ľuboš Jurík, PhD., Ing. Danica Lešková, PhD., Ing. Jana Poórová, PhD., Ing. Peter Rusina, Ing. Andrej Šille, prof. RNDr. Ivona Škultétyová, PhD., Ing. Gabriel Tuhý, Dr. Ing. Antonín Tůma, RNDr. Andrea Vranovská, PhD.

**Dátum vydania:** september 2020

**Zodpovedný redaktor:** Ing. Mária Rimarčíková

**Grafické spracovanie a tlač:** Polygrafické centrum, www.polygrafcentrum.sk

Príspevky sú recenzované.

Ďalšie šírenie článkov alebo ich časti je dovoľené iba s predchádzajúcim súhlasom vydavateľa.

Pravidlá písania do Vodohospodárskeho spravodajcu nájdete na [www.zzvh.sk](http://www.zzvh.sk)

Informácie o spracúvaní osobných údajov poskytované podľa čl. 13 a 14 Nariadenia nájdete na stránke [www.zzvh.sk](http://www.zzvh.sk)

Evidenčné číslo: EV 3499/09

ISSN: 0322-886X



## 3 Úvodník

Editorial  
V. Kollár

## 5 Štípkový z konferencie „Vodárenská biológia 2020“ v Praze

Fragments of the conference „Water Biology 2020“ in Prague  
J. Říhová Ambrožová

## 9 Dunaj v centre pozornosti – zážitkové vzdelávanie

Danube in the centre of attention – experiential education  
K. Sobeková, K. Goffová

## 12 Zhrnutie výsledkov hodnotenia kvality vôd SR z aspektu implementácie dusičnanej smernice

Summary of results assessing the quality of water in SR from the aspect of Nitrate Directive implementation  
R. Cibulka, E. Rajczyková, A. Májovská, R. Grófová

## 17 Environmentálne dane a finančné stimuly na znižovanie difúzneho znečisťovania vôd z poľnohospodárstva a ich aktuálnosť na Slovensku

Environmental taxes and financial incentives to reduce diffuse pollution from agriculture and their relevance in Slovakia  
R. Bujnovský

## 20 Kvalita sedimentov vo vodárenských nádržiach na Slovensku

Quality of sediments in water reservoirs in Slovakia  
P. Hucko, V. Roško, L. Babej

## 26 Optimálny návrh zásobníh objemu nádrže v podmienkach nejistoty vstupných dát

Optimal design of the active storage capacity of reservoir in conditions of uncertainties of input data  
S. Paseka

## 36 Jubileum – Prof. Ing. Jozef Kriš, PhD.

Anniversary – Prof. Ing. Jozef Kriš, PhD.

## 37 In memoriam – Ing. Jozef Jambor

## 37 Normy STN

Slovak technical standards  
D. Borovská

Foto na 1. a 4. strane obálky: Idylka na Jamskom plese, M. Rimarčíková

Foto na 2. strane obálky: Kmeňový vodopád, Kôprová dolina, M. Rimarčíková

Foto na 3. strane obálky: Jesenná atmosféra, M. Rimarčíková

# Střípky z konference Vodárenská biologie 2020 v Praze

**doc. RNDr. Jana Říhová Ambrožová, Ph.D.**

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Ústav technologie vody a prostředí

Ve dnech 5. až 6. února 2020 se v konferenčním sále Interhotelu Olympik v Praze 8 konal již 36. ročník mezinárodní konference VODÁRENSKÁ BIOLOGIE 2020. Na organizaci odborné akce se podílely tyto organizace: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Vodní zdroje Ekomonitor, spol. s r. o., Česká limnologická společnost a Výzkumný ústav vodného hospodářství. Mediálními partnery konference byly Bioanalýtika CZ, Vodní hospodářství, Vodohospodářsky spravodajca a Vodovod.info. Portfolio prezentovali zástupci firem ČADERSKÝ-ENVITEK, spol. s r. o., WATER TECHNOLOGY, s. r. o., HELAGO, s. r. o., Carl Zeiss, s. r. o., LAQUA, MERCI.

Konference byla rozdělena do několika odborných bloků, které byly převážně zaměřeny na legislativní předpisy a normy, monitoring povrchových vod, výskyt polutantů a rizikových agens v životním prostředí, technologie v úpravě vody, zdravotní rizika z odpadních vod při jejich znovuvyužití a biologický monitoring ve vodárenství a energetice. Na konferenci bylo předneseno celkem 40 odborných témat, z nichž je v textu dále uveden souhrn odkazující se na hlavního autora příspěvku, uvedeným dále ve sborníku z konference. Další informace lze získat na internetové adrese <http://www.ekomonitor.cz/seminare/2020-02-05-vodarenska-biologie-2020#hlavni>.

## BLOK – LEGISLATIVA A NORMY

V roce 2019 bylo zpracováno několik norem. Konkrétně se jedná o ČSN EN ISO 7027-2 (75 7343) Kvalita vod – Stanovení zákalu – Část 2: Semikvantitativní metody pro hodnocení průhlednosti vod; ČSN EN 17136 (75 7704) Návod pro terénní a laboratorní postupy pro kvantitativní analýzu a identifikaci makrozoobentosu z vnitrozemských povrchových vod; ČSN EN ISO 10634 (75 7776) Kvalita vod – Pokyny pro přípravu a zpracování ve vodě těžko rozpustných organických látek pro následující hodnocení jejich biologické rozložitelnosti ve vodním prostředí; Změna A1 normy ČSN EN ISO 11348-1 (75 7734) Kvalita vod – Stanovení inhibičního vlivu vzorků vod na světelnou emisi *Vibrio fischeri* (Zkouška na luminiscenčních bakteriích) – Část 1: Metoda s čerstvě připravenými bakteriemi; Změna A1 normy ČSN EN ISO 11348-2 (75 7734) Kvalita vod – Stanovení inhibičního vlivu vzorků vod na světelnou emisi *Vibrio fischeri* (Zkouška na luminiscenčních bakteriích) – Část 2: Metoda se sušenými bakteriemi; Změna A1 normy ČSN EN ISO 11348-3 (75 7734) Kvalita vod – Stanovení inhibičního vlivu vzorků vod na světelnou emisi *Vibrio fischeri* (Zkouška na luminiscenčních bakteriích) – Část 3: Metoda s lyofilizovanými bakteriemi; ČSN EN 17215 (75 5900) Chemické výrobky používané pro úpravu vody určené k lidské spotřebě – Koagulační činidla na bázi železa – Analytické metody; ČSN ISO 15799

(83 6133) Kvalita půdy – Návod pro ekotoxikologickou charakterizaci půd a půdních materiálů; ČSN 75 7340 Kvalita vod – Metody orientační senzorické analýzy; ČSN 75 5401 Navrhování vodovodního potrubí; ČSN 75 6406 Nakládání s odpadními vodami ze zdravotnických zařízení (ZZ) vypouštěnými do stokové sítě pro veřejnou potřebu (viz referát L. Fremrové). V rámci tohoto bloku byla diskutována revize normy ČSN 75 7713 pro stanovení abiosestonu a její promítnutí do výsledků rutinních kontrol pitné vody, uložených v databázi IS PIVO. Revize normy významně souvisí i s novelou vyhlášky č. 252/2004 Sb. z dubna 2018, ve které se snížily hodnoty abiosestonu z 10% na 5% (viz referát P. Pumanna). Další diskutovanou metodou bylo stanovení kofiformních bakterií na citlivém Chromocult Coliformen agaru (CCA). Toto médium zachytí i bakteriální buňky poškozené desinfekčními činidly a kofiformní bakterie jsou zde detekovány na základě aktivity enzymu  $\beta$ -D-galaktosidázy. Bylo izolováno a identifikováno 136 kmenů „coliform like“ bakterií (nevykazujících aktivitu  $\beta$ -D-glukuronidázy, typickou pro stanovení *E. coli*), které byly druho- vě určeny pomocí metody MALDI TOF (viz referát D. Baudišové). Neupravené vody ze zdravotnických zařízení (ZZ) mohou představovat zdravotní riziko. Mohou být zdrojem znečištění organickými látkami, jako jsou zbytky léčiv, omamných látek, hormonů a v neposlední řadě také zdrojem rezistentních patogenních organismů. Řada organického znečištění a mikropolutantů není účinně odstraněna ani během čištění odpadních vod a dostává se do vod povrchových a podzemních. V posledních letech se nejen ve světě, ale i v České republice zvyšuje snaha o zajištění udržitelného životního prostředí, kam samozřejmě patří i zamezení vypouštění nebezpečných látek do životního prostředí a vznik rezistentních patogenních mikroorganismů. Mezi první kroky v ČR se řadí návrh nové normy na vypouštění odpadních vod ze ZZ, který obsahuje požadavek na analýzu rizik vypouštěných odpadních vod do kanalizace. Jedním z kroků posouzení rizik je analýza zdrojů kontaminace (viz referát L. Matějů).

## BLOK – VODNÍ ZDROJE A JEJICH MONITORING VČETNĚ RIZIKOVÝCH AGENS, TECHNOLOGICKÉ PROCESY

Proces prosazování cílů evropské Rámcové směrnice o vodách a Metodika hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých vodních útvarů kategorie jezero (z roku 2014) je v posledních letech uplatňována podniky povodí. Pro potřeby hodnocení a dalšího nakládání s vodami jsou k dispozici studie a výzkumy provedené v povodí nádrží. Výsledky je možné využít při plánování opatření pro dosažení

dobrého ekologického potenciálu (viz referát L. Barešové). Ve vodních zdrojích jsou přítomné výrazně sinice a jejich toxiny. Legislativně jsou podchyceny pouze sinicové květy, které mohou produkovat toxiny. Toxiny vykazují vysokou rozmanitost chemických struktur a biologických účinků, od projevu zánětů přes hepatotoxicitu až k případně karcinogennímu účinku. Přírodní toxiny mohou i mnohonásobně přesahovat nebezpečnost pesticidů. Na rozdíl od pesticidů a jiných agrochemikálií se jejich výskyt a hladina koncentrace v životním prostředí dosud nemonitoruje a člověk jim je vystaven nevědomě (viz referát B. Kubičkové). Jakým způsobem lze využít tzv. přírodě blízká opatření pro stabilizaci vody v nádrži, prezentoval **B. Marsálek**. Jednalo se o využití vegetačních sorpčních pásů, plovoucích ostrovů a aplikaci probiotik na nádrži Rosnička. Dle autorů tento způsob představuje nový směr podpory přirozené rovnováhy vodních ekosystémů, směřující ke stabilizaci kyslíkového a živinového režimu malých rybníků s minimálními finančními nároky. Dalším možným krokem, jak zlepšit jakost koupacích vod, je odbahnit nádrže. Odbahnění patří k opatřením, u nichž se dá očekávat okamžitý pozitivní efekt zejména poklesem chlorofylu-a a množství sinic, méně již u mikrobiálních ukazatelů. Příspěvek **I. Běderkové** porovnává výsledky monitoringu z let před a po provedení odbahnění na příkladech vodních nádrží, kde bylo opatření přijaté před dostatečně dlouhým časovým obdobím pro posouzení délky trvání jeho pozitivního vlivu. S problematikou opatření rekreačních vod souvisí významně i jejich monitoring. Do jaké míry souvisí výběr vzorkovacího místa, prezentoval **P. Pumann**. Z výsledků hodnocení několika nádrží v roce 2019 vyplývá výrazná prostorová proměnlivost výskytu fytoplanktonu a následně rozdíl mezi místy odběru v době výskytu přehradinového vodního květu a aktivně se pohybujících zástupců obrněnek. V rámci projektu *Praha – Pól růstu II: Možnosti vodní rekreace na území hlavního města Prahy (od historie po současnost)* byl v letech 2018 a 2019 prováděn průzkum potenciálních možností rozšíření míst ke koupání a rekreace u vody na území Prahy. Z cca 150 nalezených míst bylo vybráno 57, na nichž byla monitorována jakost vody a hodnocen jejich stav a ekologický potenciál. Pro posouzení jakosti vody těchto lokalit bylo, alternativně k Vyhlášce č. 238/2011 Sb., navrženo „orientační posouzení aktuálního stavu přírodních koupališť“. Výsledky jsou prezentovány formou webové mapové prohlížečky, umístěné na <http://www.dibavod.cz/vodni-rekreace-praha>, v níž jsou popsány a lokalizovány všechny koupací možnosti v Praze, včetně provozovaných koupališť a bazénů s odkazy na aktuální webové stránky (viz referáty H. Mlejnkové a L. Jašíkové). Vodní zdroje jsou často kontaminovány patogenními virovými agens a mohou tak sloužit tak jako vhodné vehikulum pro jejich šíření. K takovému šíření dochází i přes četná opatření, která jsou současně cílena zejména na zamezení bakteriálních kontaminací. Jejich částečná nefunkčnost je dána odlišnými vlastnostmi bakterií a virů. Výsledky analýz povrchových i podzemních vod na přítomnost vybraných virových agens (humánní noroviry, adenoviry, virus hepatitidy A či virus hepatitidy E) a molekulárně epidemiologické studie byly dány do souvislosti s vodními zdroji v ČR (viz referát P. Vašíčkové).

Emise a imise produkce nutrientů z bodových zdrojů znečištění v povodí VN Švihov a periodický výskyt zvýšeného mikrobiálního oživení ve VN Švihov byly prezentovány **D. Fialou** a **D. Baudišovou**. Pro bilanční model produkce a transportu farmak povodím VN Švihov je stěžejní/stěží charakterizovat typickou obec a typický vodní tok. Pro přiblížení se k této úrovni se používá jako proxy parametr často a mnohem levněji analyzované živiny, resp. výpočet emisí N a P, včetně sledování jejich dalšího osudu v povodí. V příspěvku **D. Fialy** byl popsán úspěšný způsob podstatně zpřesňující bilanci malých zdrojů charakteristických výraznou variabilitou odnosu za rozdílných hydrologických a meteorologických okolností. Dále byly zevrubně popsány základní retenční parametry malých toků pro jednotlivé živiny a na příkladu dvou typických obcí i detailní průběhy koncentrací během 24-hodinových period přímo pod výstí kanalizace a po několika stech metrech toku. Příčiny periodického zvýšení počtů organotrofních bakterií (detekovaných především na mědích používaných ke stanovení koliformních bakterií) ve vodárenské nádrži Švihov na řece Želivce mohou souviset s počátkem míchání vody v nádrži a/nebo koncem vegetační sezóny spojeným s úbytkem makrofyty a fytoplanktonu. Při detailním stanovení bakteriálního společenstva vyšlo najevo, že se jedná především o bakterie rodů *Aeromonas* a *Enterobacter*. Tyto kmeny se ve vodním prostředí běžně vyskytují a ve vhodných podmínkách se v něm mohou i množit, nemusejí tedy mít fekální původ a nejsou primárně patogenní (viz referát D. Baudišové).

EDTA je jedním z nejpoužívanějších chelatačních činidel a pro své výhodné vlastnosti je používána v kosmetice, drogerii, zemědělství i potravinářství. Patří však také mezi látky, pro které je stanovena norma environmentální kvality a je předmětem přezkoumání týkajícího se její případné identifikace jako prioritní látky nebo prioritní nebezpečné látky v rámcové směrnici o vodě. Přesto, že se jedná o látku s obtížnou biologickou rozložitelností, je její použití plošné a její koncentrace překračují normu environmentální kvality na většině sledovaných profilů vodních toků (viz referát K. Keprtové). V roce 2018 proběhlo pravidelné sledování kontaminace vodních organizmů škodlivými látkami na 21 většinou závěrových profilech hlavních řek České republiky. Hodnocení kontaminace polutantů bylo provedeno na rybách, rybím plůdku a bentických organizmech (bentos) pro vybrané ukazatele, které jsou zařazeny mezi prioritní nebezpečné látky v oblasti vodní politiky EU. Zjištěné hodnoty byly porovnány (pokud byla stanovena) s normou environmentální kvality (viz referát D. Leontovčové).

Zbytky léčiv se v současné době běžně vyskytují v různých složkách životního prostředí. Jedním z hlavních zdrojů těchto znečišťujících látek jsou nemocnice. Ačkoliv jsou odpadní vody z nemocnic před vypouštěním do kanalizačního systému nebo životního prostředí většinou čistěny v čistírnách odpadních vod, mnoho léčivých látek je v průběhu čištění odstraněno nedostatečně a končí v povrchových vodách. V rámci projektu Státního zdravotního ústavu (SZÚ) Praha byla zjišťována přítomnost jedenácti léčivých látek, patřících do šesti léčebných skupin, v odpadních vodách z osmi nemocnic a v jedné městské odpadní vodě. Vzorky byly odebrány z nemocnic ve Středočeském a Jihočeském kraji.

Zároveň byla stanovena ekotoxicita všech vzorků čistěných nemocničních odpadních vod za použití bakterie tří vodních organismů: luminiscenční bakterie *Vibrio fischeri*, zelená řasa *Desmodesmus subspicatus* a korýš *Daphnia magna* (viz referát G. Jirovcové).

Pesticidy, jejich akumulace a negativní vliv na životní prostředí, byly dalším řešeným tématem. Akumulace pesticidů se netýká pouze povrchových vod, ale souvisí i s podzemními vodami a již méně řešenými skapovými vodami. Vzorky skapové vody v Amatérské jeskyni v CHKO Moravský kras byly vyšetřeny na 350 látek. Bylo identifikováno šest pesticidů nad limitem stanovitelnosti; všechny tyto látky patří do skupiny triazinových pesticidů (tj. atrazinu a terbutylazinu) a jejich metabolitů (atrazin-desethyl, atrazin-desisopropyl, terbutylazin-desethyl). Ekotoxikologické testy byly použity k posouzení rizika vybraných triazinových herbicidů a jejich metabolitů ve skapové vodě pomocí biotestů s vybranými bioindikátory. Provedené experimenty neprokázaly žádné známky akutní toxicity skapové vody, nelze však vyloučit akumulaci v životním prostředí a chronickou toxicitu (viz referát B. Havelkové). **T. Pacholská** prezentovala výsledky z porovnání různých metod zaměřených na odstraňování pesticidních látek z pitné vody pomocí pokročilých oxidačních procesů. Na úpravě vody Studená voda v Pardubickém kraji byla navržena technologie, která bude účinná v odstranění mikropolutantů (metabolity acetochlór ESA a alachlór ESA). Ve studii byly porovnávány technologie ozonizace, UV záření, použití aktivního uhlí (GAU). Výsledkem bylo doporučení kombinace  $O_3$ +UV/GAU s dávkou ozónu 0,46 mg/l a expozice UV záření s výkonem lampy 25 W, 400 J/m<sup>2</sup> s následnou sorpcí na GAU Filtrasorb 400 s dobou kontaktu 15 minut. **T. Munzar** se zaměřil na mechanickou dezinfekci vody prostřednictvím keramické membránové filtrace AMAYA s výsledky z několika lokalit úpraven vod a čistění odpadních vod.

Legionely jsou potenciální patogeny představující vážné zdravotní riziko. Nejzávažnější *Legionella pneumophila* sérotyp 1, která způsobuje onemocnění inhalací a aspirací kontaminované vody anebo vodního aerosolu. **B. Kotvasová** informovala o počtu hlášených případů na Slovensku, kde od roku 2018 až trojnásobně stoupl počet hlášených legionelóz v porovnání s rokem 2017. Úřad veřejného zdravotnictví SR se významně zabývá problematikou monitoringu osídlení vybraných distribučních systémů vody včetně nemocničních zařízení. Úřad veřejného zdravotnictví SR se kromě legionel zabývá i dalšími patogeny izolovanými z vodního prostředí. **M. Umrian** se ve svém příspěvku zaměřil na problematiku častého výskytu zástupců z čeledi *Vibrionaceae* ve vzorcích vody pitné a rekreační a zmínil i nutnost rozšíření mikrobiologických ukazatelů kvality vod o další významné patogeny. K problematice výskytu legionel, zejména v distribučních sítích, se vyjádřil i **A. Zemplényi**. Biologické znečištění vnitřních rozvodů pitné vody lze řešit například pomocí polymerní dezinfekce a ionizace stříbra a mědi. Použitá technologie je účinná v eliminaci legionel bez použití chlóru. Firma WATER TECHNOLOGY, s. r. o., se zabývá možností využití bezchlorových přípravků v eliminaci mikrobiálního znečištění. Současné snahy šetřit pitnou vodou a využít pro splachování recyklovanou vodu s sebou přináší nutnost sledovat mikrobiální kvalitu těchto vod.

V souvislosti se splachováním se hovoří o riziku infekce mikroorganismy uvolněnými do ovzduší během splachování ve formě aerosolu. Zejména pak obsah mikroorganismů schopných infikovat makroorganismus inhalační cestou. Množství aerosolu vzniklého při splachování souvisí s typem toalety a typem splachování. Měření probíhalo na dvou běžných typech toalet. Vyšší množství mikroorganismů z inokulační suspenze bylo detekováno u toalety s plochým splachováním a horní splachovací nádrží (viz referát M. Kořínkové).

## BLOK – MIKROBIÁLNÍ KONTAMINACE VOD, INDIKÁTORY A MONITORING VE VODÁRENSTVÍ A ENERGETICE

Přítomnost mikrobiální kontaminace je velkým problémem při zajištění zdravotní nezávadnosti vody. Nebezpečné mikroorganismy vyskytující se ve vodách pocházejí často ze střevního traktu teplokrevných živočichů v podobě fekálního znečištění. Detekce tohoto typu znečištění je tedy velmi důležitá. K tomuto účelu slouží indikátory fekálního znečištění, které byly v této práci diskutovány. Pro některé z nich byly experimentálně vyzkoušeny metody stanovení na vzorcích z čistění odpadních vod a na vzorku šedé vody dle platných norem. Hlavními diskutovanými organismy byly bakteriofágy jako možné nové indikátory fekálního znečištění. Ze skupiny bakteriofágů byly experimentálně stanoveny somatické kofágy (viz referát J. Řihové Ambrožové). O zkušenostech z testování průtokové cytometrie s rozlišením živých/mrtvých buněk v reálných a uměle kontaminovaných vzorcích vod informovala v referátu **J. Zuzáková**. Ve svém příspěvku se zaměřila na vyhodnocení reálných a uměle připravených vzorků vod pomocí přístroje BactoSense a jejich porovnáním s výsledky vybraných mikrobiologických ukazatelů. Na problematiku online detekce bakteriální kontaminace a využití této detekce k rychlé identifikaci v systému zásobování obyvatel pitnou vodou navázal **R. Effenberg**. Pro selektivní detekci *Escherichia coli* v pitné vodě je možné použít nové vodivostní biosenzory. Vlastní detekční jednotka je založena na polovodivé borem dopované nanokrystalické diamantové (BDNCD) vrstvě. Ta transformuje s vysokou citlivostí a selektivitou vazebnou událost mezi imobilizovanou senzorem molekulou a molekulami buněčného povrchu cílové bakterie ve vodivostní/impedanční změnu měřitelnou metodou elektrochemické impedanční spektroskopie (EIS). Problematika je ve fázi výzkumu. Jedním z faktorů, ohrožujících kvalitu vody ve vodovodním řádu, je sekundární kontaminace vody. Z hlediska vzdušné kontaminace jsou kritickým místem vodojemy, konkrétně větrací průduchy a systém větrání především akumulacího prostoru. Kontaminace tohoto prostoru může vést k senzoričtým změnám až biologické nestabilitě akumulované vody. Z tohoto důvodu by měly být průduchy osazovány filtračními vložkami. Požadavky na jejich vlastnosti a materiálové složení jsou řešeny v dokumentu technického doporučení I-D-48 a normě ČSN 75 5355 Vodojemy. Pro provozovatele distribuční sítě je účelné, aby měl představu o mikrobiální kontaminaci i celkovém stavu těchto vložek, vzhledem k době jejich expozice a zátěži z okolního prostředí. Proto je potřebné pro takové případy vypracovat metodiku

monitoringu. Nedílnou součástí monitoringu jsou i zkušenosti z realizace při osazování filtračních sestav do větracích průduchů u objektů vodojemů (viz referát A. Šimůnkové). Na metody běžného biologického monitoringu stavu konstrukčních materiálů se ve svém referátu zaměřila **L. Baumruková**. Prováděný biologický rozbor byl zaměřený na vzorky vod a stěrů z exponovaných materiálů v reálném provozu v rozsahu 2 až 27 měsíců. Kromě biologického monitoringu chladicích vod byly hodnoceny i povrchy exponovaných kupónů s cílem zjištění rizikosti podmínek v reálném provozu technologie. Diskutována byla nutnost zavedení legislativního předpisu, který by zohlednil kvalitu používané provozní a procesní vody i z biologického hlediska. V biologickém rozboru byla v rámci studia možného výskytu biofilmů zahrnuta bioluminiscenční metoda měření ATP.

## BLOK – ANTIBIOTICKÁ REZISTENCE, ŠÍŘENÍ Z ODPADNÍCH VOD A Z ČISTĚNÍ ODPADNÍCH VOD DO POVRCHOVÝCH VOD

S výskytem bakterií fekálního původu a jejich hygienickým rizikem pro člověka souvisí i případná možnost šíření bakteriální rezistence vůči antibiotikům. Šíření rezistence na antibiotika patří dle Světové zdravotnické organizace mezi hlavní světové hrozby dnešní doby. Hygienická opatření v technologii vody jsou nezbytná pro zachování životního prostředí a lidského zdraví. Bakterie nesoucí geny rezistence k antibiotikům putují v odpadních vodách na čistírnu odpadních vod (ČOV). Na ČOV dochází ke značné eliminaci patogenů, nicméně i environmentální bakterie nesoucí tyto geny, popř. geny antibiotické rezistence vyskytující se extracelulárně, mohou představovat riziko pro životní prostředí a člověka. Stanovení genů antibiotické rezistence není zatím standardizováno, tato problematika je stále ve fázi výzkumu. Je potřeba získat dostatečné množství dat o tom, co se děje na ČOV, a vyhodnotit, zdali ČOV zatěžuje životní prostředí geny antibiotické rezistence. O faktorech, které řídí strukturu a dynamiku bakteriálního rezistomu v ČOV, je však málo známo. Značné riziko mohou představovat nemocniční odpadní vody, které obsahují větší množství bakterií rezistentních na antibiotika než komunální odpadní vody. V poslední době roste veřejné i vládní vnímání úlohy čistění odpadních vod (ČOV) a jejich mikrobiomů jako domnělých problematických míst pro šíření antibiotické rezistence, což vyvolává potřebu nových kritérií kvality vody, jejich standardizaci a modernizaci zařízení. Vzhledem k nedostatkům používaných metodologií však naše znalosti o emisích, osudu a faktorech podporujících šíření nebo odstranění bakterií rezistentních na antibiotika (ARB) a genů antibiotické rezistence (ARG) napříč ČOV zůstávají omezené. Existuje naléhavá potřeba vyvinout standardizované metody

a databázi pro přesnou identifikaci, charakterizaci a kvantifikaci antibiotických rezistencí v komplexních maticích ČOV, jako je např. aktivovaný či vyhnitý kal. Tuto potřebu bude řešit projekt REPARES prostřednictvím spolupráce VŠCHT s mezinárodně uznávanými odborníky a předními evropskými inovátory (viz referát D. Vejmelkové).

Výskytu koliformních bakterií rezistentních vůči antibiotikům v povrchových vodách na Slovensku se věnoval příspěvek **M. Krahulcové**. Vysoké počty gramnegativních bakterií byly zaznamenány v sedimentech v řece Hron a vodní nádrži Tajch. Přítomné bakterie vykazovaly sníženou citlivost na ampicilin a gentamicin. Majoritní skupinu koliformních bakterií představovali zástupci *Escherichia coli*, *Citrobacter freundii*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Lelliottia*, *Raoultella*, *Cronobacter*, *Kluyvera*, *Leclercia* a *Salmonella*. **I. Kutilová** prezentovala výsledky studie zaměřené na antibiotickou rezistenci v městských a odpadních vodách a vodě z řeky ve městě Brno pomocí celogenomového sekvenování kmenů *Escherichia coli*, produkující beta-laktamázy a metagenomické analýzy DNA z vodního prostředí. Kultivačně založený přístup se ukázal být vhodnějším pro sledování dynamiky kmenů *E. coli*, zatímco metagenomická analýza poukázala na rozdílné složení genů antibiotické rezistence a vysokou bakteriální diverzitu mezi jednotlivými vzorky vod. V rámci studie byly městské a nemocniční odpadní vody potvrzeny jako zdroj multirezistentních *E. coli* a genů antibiotické rezistence pro životní prostředí. **T. Stachurová** informovala o výsledcích monitoringu relativní abundanci beta-laktamových rezistenčních genů (*bla*TEM, *bla*NDM-1, *bla*KPC, *bla*OXA48) v nitrifikačních a sedimentačních nádržích ČOV. Výsledky ukázaly, že ve všech vzorcích z obou ČOV se nejčastěji vyskytoval gen *bla*TEM. Bakterie ze sedimentační nádrže vykazovaly také vyšší hodnoty minimální inhibiční koncentrace (MIC) pro ampicilin, což činí sedimentační fázi čistění odpadních vod nejkritičtější pro shromažďování bakterií s vysokou rezistencí vůči beta-laktamu. Detekci vybraných genů antibiotické rezistence v nemocničních odpadních vodách pomocí (q)PCR se zabýval příspěvek **K. Škodákové**. Cílem této práce je optimalizovat postupy průkaznosti přítomnosti vybraných genů rezistence v odpadních vodách z nemocnice a zjistit, jaký vliv na výskyt těchto genů má chlorace a pasterizace. Extracelulární DNA (eDNA), která se podílí na přenosu genů antibiotické rezistence (eARG) a na šíření antibiotické rezistence obecně, se řadí mezi nově zkoumané kontaminanty životního prostředí. Metodika její detekce je tedy zásadní (viz referát S. Gajdoše).

**Důležité sdělení:** zveme Vás na **37. ročník konference Vodárenská biologie 2021**, který se bude konat v prostorách hotelu Olympik v Praze v únoru 2021.

### Literatúra:

Vodárenská biologie 2020, 5. až 6. února 2020, Praha, Česká republika, Řihová Ambrožová Jana, Petraková Kánská Klára (Edit.), str. 218, ISBN 978-80-88238-18-8, © Vodní zdroje EKOMONITOR, spol. s r.o., Chrudim 2020.



# Dunaj v centre pozornosti – zážitkové vzdelávanie

<sup>1</sup>Mgr. Karolína Sobeková, PhD., <sup>2</sup>Mgr. Katarína Goffová, PhD.

<sup>1</sup> Bratislavské regionálne ochranárske združenie (BROZ)

<sup>2</sup> Prírodovedecká fakulta UK v Bratislave

Dunaj – rieka ovplyvňujúca najväčšie množstvo ľudí v Európe – prináša našej krajine aj nejednen bonus – nádhernú vnútrozemskú deltu, obrovské zásobárne pitnej vody, rozsiahlu úrodnú oblasť Žitného ostrova, možnosti neopakovateľnej rekreácie na dunajských plážach a v lužných lesoch.

Napriek tomu povedomie obyvateľov Slovenska o našej najväčšej rieke a o tom, čo Slovensku prináša, má stále veľké rezervy. Pozitívny vzťah je potrebné u ľudí budovať na základe informácií, poznania súvislostí, a predovšetkým zážitkov.

Široká odborná verejnosť sa zhoduje, že jedným z najväčších úderov pre prírodu na našom území za posledných 100 rokov bola regulácia vodných tokov a odvodňovanie mokradi. A aj napriek tomu, že naša krajina je už z veľkej časti pozmenená činnosťou človeka, územie pozdĺž Dunaja stále predstavuje z ekologického hľadiska unikátny priestor – nachádzajú sa tu jedinečné lužné lesy, riečne ramená a mokrade s vysokou ekologickou hodnotou. Oblasť bola v roku 2008 vyhlásená za chránené vtáčie územie a územie európskeho významu – patrí do sústavy chránených území NATURA 2000. Táto sústava predstavuje mozaiku vzácných biotopov naprieč všetkými členskými štátmi Európskej únie. Mnohí však vôbec netušia, čo sústava NATURA 2000 je a aké sú jej ciele. Dokonca si väčšina ľudí ani nespája degradáciu biodiverzity s klimatickými zmenami a so zhoršením významných ekosystémových služieb, ako sú zadržiavanie vody v krajine, protipovodňová ochrana, zdroj pitnej vody či rozvoj regiónu prostredníctvom turizmu.

Pre Bratislavské regionálne ochranárske združenie (BROZ) je práve ochrana biodiverzity nosnou témou. Už viac ako 20 rokov sa aktívne venuje obnove riečnych systémov, pasienkov či lužných lesov. Ruka v ruke s revitalizačnými opatreniami sa snažíme zaujať verejnosť pre tému ochrany prírody Podunajska a tiež zábavnou formou vzdelávať všetky vekové kategórie. Dôležité sú najmä deti, ktoré budú o našej krajine v budúcnosti rozhodovať.

Na informovanie, vzdelávanie, zvýšenie povedomia, nadchnutie a vybudovanie si pozitívneho vzťahu k dunajskej prírode a rieke samotnej sa snažíme využiť možnosti, ktoré poskytujú projekty LIFE, ako aj ďalšie projektové schémy. Súčasne intenzívne vnímame pozitíva zážitkového vzdelávania a usilujeme sa jeho princípy pretaviť i do konkrétnych aktivít.

## INTERAKTÍVNE VÝSTAVY O DUNAJI – ZÁBAVA, VZDELANIE, PREKVAPENIE

Formu osvetu sa snažíme voliť tak, aby nielen informovala, ale aj bavila. Jednou z úspešných možností, ako priťahovať predovšetkým deti a mládež, sú interaktívne výstavy – v rámci LIFE

projektov už Slovenskom putovali tri. Prvou bola výstava Život vtákov v Dunajských luhoch (LIFE07 NAT/SK/000707), na ktorej sa mali aj veľkí návštevníci ocitli zoči-voči nášmu najväčšiemu dravcovi – orliakovi morskému, hravo, názorne a s vlastným príspevom zostavili panely o sile rieky počas povodní a procese tvorby a premeny riečnej krajiny. Druhú výstavu si každý návštevník musel trochu zaslúžiť. Až keď sa kolenačky dostal do „nory“, z ktorej sa pozeral na kráľovstvo druhu, ktorý sa u nás zachoval ako pozostatok doby ľadovej – nášho najväčšieho hraboša viazaného výhradne na mokrade – hraboša severského panónskeho (LIFE08 NAT/SK/000239). Aktuálne je možné zažiť a vychutnať si ďalšie dve interaktívne výstavy. Výstava *Kolmý riečny breh – najlepšie miesto na život* (LIFE12 NAT/SK/001137) dovolí pozrieť sa na riečny ekosystém očami troch vtáčích druhov – rybárika, včelárika a brehule. Návštevníci si môžu na vlastnej koži vyskúšať napríklad rozhodovanie a nástrahy pri migrácii zo subsaharskej Afriky až k nám na Slovensko. Druhou výstavou je expozícia s názvom *Okná do prírody* (LIFE14 NAT/SK/001306), venujúca sa Dunaju, vnútrozemskej delte a jej zaujímavým obyvateľom. Obe výstavy je možné navštíviť priamo pri Dunaji na Ekofarme Ostrov v osade Veľký Lél, kde sú sprístupnené v zrekonštruovanej budove bývalej sýpku.

## VZDELÁVAŤ SA MOŽNO AJ NA VÝLETE BICYKLOM ALEBO PEŠO

Na výlete aj na prechádzke sú vynikajúcim prostriedkom na osvetu verejnosti informačné panely. Nech už sa vyberiete popri Dunaji alebo aj v jeho širšom okolí ktorýmkoľvek smerom, je vysoko pravdepodobné, že narazíte na niektorý z vyše 50 informačných panelov, ktoré sme v spolupráci s projektovými partnermi inštalovali na území Dunajských luhov a mnohé sú aj priamo na území hlavného mesta. Venované sú zaujímavým miestam, chráneným územiám, vzácnym druhom živočíchov a rastlín, procesom prebiehajúcim v riečnej krajine, uskutočneným revitalizačným aktivitám, ale aj minulosti nádhernej a divokej vnútrozemskej delty Dunaja.

## INFORMÁCIE O DUNAJI PRINÁŠAME DO ŠKÔL I ŠIROKEJ VEREJNOSTI

Jedným zo základných nástrojov na osvetu sú prednášky a exkurzie. Osobný kontakt a možnosť pýtať sa odborníkov z BROZ alebo Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského je nenahraditeľná. Len počas doterajšej realizácie projektu *Ochrana brehule hnedej, rybárika riečneho a včelárika zlateho* v dunajsko-moravskom regióne, ktorého spoluriešiteľmi sú

aj Vodohospodárska výstavba, š. p. a Výskumný ústav vodného hospodárstva, sa uskutočnilo približne 75 takýchto aktivít pre viac ako 1 750 účastníkov. Ak je to časovo možné, prednášky sú pre dospelých okorenené premietaním filmu a pre deti sú pripravené interaktívne enviro-hry alebo iné zábavné aktivity. Najlepšia kombinácia a pre deti či študentov najatraktívnejšia forma je spojenie prednášky a exkurzie v jednom dni. Takéto prepojenie predstavuje väčší zážitok, ktorý sa najmä mladšej generácii lepšie dostane pod kožu. Dýchať čerstvý vzduch a naživo pozorovať prírodu je oveľa lepšie, ako si prezerať fotografie v triede. V niektorých prípadoch ide o prvý kontakt detí s divokou prírodou. Vychádzka do Pečnianskeho lesa alebo prechádzka po štrkovej pláži Dunaja je niečo úplne iné ako návšteva zoo.

## DOKUMENTÁRNY FILM – ODDYCH A POZNANIE V PRÍJEMNEJ PODOBE

Dokumentárny film dokáže oslovíť naozaj širokú verejnosť a všetky vekové kategórie. Krásu, zvuky a vzácne druhy zblízka vie ukázať aj ľuďom, ktorí nemajú možnosť spoznať dunajské tajomstvá na vlastnej koži. Je to spôsob propagácie, ktorým aj BBC nadchla naozaj obrovské množstvo ľudí pre ochranu tých najvzácnejších biotopov a druhov našej planéty.

V koprodukcii s BROZ už vznikli 2 filmy s tematikou Podunajska: (1) *Tajomný obyvateľ mokradi pri Čiližskom potoku – Hraboš severský panónsky* a (2) *Bratislava – mesto uprostred prírody*. Všetky filmy sú prístupné aj na kanáli YouTube. Dokument *Bratislava – mesto uprostred prírody* sa viackrát objavil aj v celoštátnej televízii. Za tento film dostal autor Branislav Molnár ocenenie V 4 PRIX (cena za najlepší film z krajín V 4) na festivale *Hory a mesto 2017*. Porota ocenila iný pohľad na hlavné mesto v čase výrazného developerského boomu. Dostal aj cenu prezidenta na 34. medzinárodnom festivale *Agrofilm 2018*. V súčasnosti je vo finálnej fáze aj tvorba filmu o brehuľiach, rybárikoch a včelárikoch, ktorých prirodzené hniezdné a potravné biotopy boli bežné aj v Dunajských luhoch.

## DUNAJSKÉ PÁTRAČKY NA VEĽKOLÉLSKOM OSTROVE

Pre tých, ktorí nemajú radi organizované akcie, ale radi by si pozreli nádhernú krajinu Dunajských luhov, je tu možnosť navštíviť Veľkolélsky ostrov. Táto samostatná časť CHKO aj CHVÚ Dunajské luhy sa nachádza v katastrálnom území obcí Zlatná na Ostrove a Veľké Kosihy (pri Komárne). Toto krásne zákutie Žitného ostrova s rozlohou 328,65 ha predstavuje posledný veľký riečny ostrov, ktorý je ešte súčasťou vnútrozemskej delty Dunaja. Celý ostrov je zaradený aj do zoznamu mokradi medzinárodného významu v rámci Ramsarského dohovoru. Na prehliadku ostrova je možné ísť pešo, lodkou, na koni, v záprahu na koči a, samozrejme, aj na bicykli. Možno tu vidieť pôvodnú divokú dunajskú prírodu, ako aj výsledky viacerých typov revitalizačných opatrení vrátane tradičného obhospodarovania lužnej krajiny.

A práve na tomto úzasmom ostrove môžete teraz prežiť a vyskúšať si celkom nové **PÁTRAČKY**.

Pre deti, a to aj tie staršie, je poklad veľkým lákadlom. V prípade dunajských pátračiek je cesta k pokladu fantastickou zábavou a súčasne poznaním mnohých zaujímavosti

o prírode Dunajských luhov. Celá pátračka je spojená s prechádzkou krásnymi trasami Veľkolélskeho ostrova. Pre starších, nebojácnych a adrenalinuchtivých je tu aj nočná verzia pátračky. V nej či už osamote, alebo v skupinke môže každý účastník prežiť a vychutnať si zvuky a tieň nočného ostrova na vlastnej koži. Pátrači hľadajú cestu vďaka správnym odpovediam a nakoniec sa musia dopátrať až k samotnému pokladu. Mnohí rodičia túto voľnočasovú aktivitu pestujú spolu so svojimi deťmi, ktoré by inak trávili čas za počítačom alebo tabletom. Počas pátračky vidieť obnovené riečne ramená, pôvodné druhy stromov, kosné lúky či pasienky, ktoré patria medzi tradičné formy hospodárenia a odporúčajú sa ako nevyhnutné manažmentové opatrenia na ochranu tohto územia. V nepriaznivom počasi možno zakotviť v zrenovovanej sýpke, ktorá slúži ako priestor na už spomínanú interaktívnu výstavu s tematikami *Dunajské luhy – okná do prírody* a *Kolmý riečny breh – najlepšie miesto na život*. V tesnej blízkosti ostrova môžete plnohodnotne stráviť pokojne celú dovolenku s rodinou, priateľmi či kolegami, napr. v kempe. Informácie o tom, ako sa dostanete na Veľkolélsky ostrov a čo všetko ponúka, nájdete na stránke [www.ekofarma.sk](http://www.ekofarma.sk).

## NA ZÁVER NOVINKA – VEDECKÝ MIKROBUS

Ako súčasť projektu LIFE Microtus II (LIFE17 NAT/SK/000621), ktorý sa venuje obnove biotopov pre hraboša severského panónskeho, sa aktuálne dokončuje **vedecký mikrobús**. Hraboš severský panónsky je čosi ako „panda strednej Európy“, pretože je to kriticky ohrozený cicavec, ktorý nežije nikde inde na svete, len vo vybraných mokradiach severozápadnej časti Panónskej panvy, prevažne v blízkosti rieky Dunaj. Ide o lokality na Slovensku, v Rakúsku a Maďarsku. Prežil tu ako glaciálny relikv od poslednej doby ľadovej. Jeho život viazaný výhradne na mokrade priblíži študentom, ako aj širokej verejnosti laboratórium na kolesách. Tento unikátny mikrobús je vybavený rôznymi pomôckami a technológiami na výskum. Malí objavitelia si môžu s našim lektorom priamo v teréne vyskúšať určovanie hmyzu a rastlín pochádzajúcich z mokradi pomocou mikroskopu a veľkoplošnej obrazovky, zahrať si rôzne tematické hry, monitorovať čistotu vody, rozlúštiť potravné refazce a mnohé iné aktivity. Laboratórium podporené z projektu LIFE bude postupne navštevovať školy, centrá voľného času, kultúrne akcie na Podunajsku a približovať tak fascinujúci svet mokradi širokej verejnosti.

Vzdelávanie je dôležitým nástrojom, prostredníctvom ktorého vieme odovzdať mnoho poznatkov o Dunaji, dunajskej prírode a dôležitosti jej zachovania pre človeka. Zážitkové vzdelávanie umožňuje okrem faktov sprostredkovať našim deťom aj intenzívny pocit, ktorý dokáže fakty dokresliť. Tento typ vzdelávania pomáha ľahšie pochopiť súvislosti a utvoriť u detí vzťah a obraz na celý život – a navyše zábavnou formou. Zdieľanie informácií a pozitívnych pocitov viažuce sa na Dunaj a riečny ekosystém, je dôležitým krokom na to, aby sa nádherná príroda v okolí Dunaja zachovala pre ďalšie generácie.



# Zhrnutie výsledkov hodnotenia kvality vôd SR z aspektu implementácie dusičnanej smernice

Ing. Roman Cibulka<sup>1</sup>, Ing. Elena Rajczyková, PhD.<sup>1</sup>, RNDr. Andrea Májovská<sup>2</sup>,  
Ing. Renáta Grófová<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Výskumný ústav vodného hospodárstva, <sup>2</sup> Slovenský hydrometeorologický ústav,

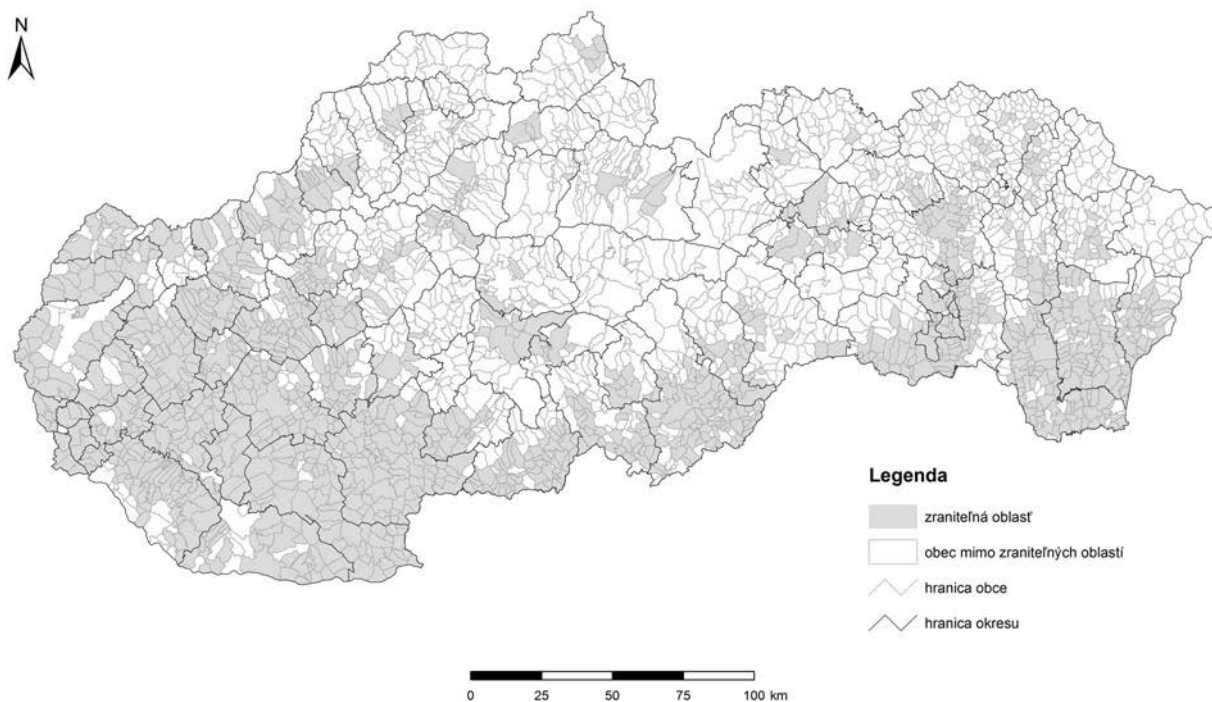
<sup>3</sup> Slovenská agentúra životného prostredia

Cieľom smernice Rady 91/676/EHS o ochrane vôd pred znečistením následkom dusičnanov z poľnohospodárskych zdrojov (dusičnanej smernice) [1] je zníženie znečistenia vôd pochádzajúceho z poľnohospodárskych zdrojov a zabránenie ďalšiemu takémuto znečisťovaniu. Kroky na dosiahnutie tohto cieľa vychádzajú z efektívneho monitorovania kvality vôd, na základe ktorého sa identifikujú vody, ktoré sú alebo by mohli byť takýmto znečistením zasiahnuté v prípade, ak sa nebudú realizovať príslušné opatrenia. Územia, kde sa takéto vody nachádzajú, sa označujú ako zraniteľné oblasti a v záujme ochrany vôd v nich platia prísnejšie podmienky hospodárenia.

Slovenská republika vykonala poslednú **revíziu zraniteľných oblastí** [2] v roku 2016. Jej výsledkom bolo zníženie počtu obcí zaradených do vymedzených zraniteľných oblastí

z pôvodného počtu 1 561 na 1 344. Hlavným dôvodom na vyradenie týchto obcí zo zraniteľných oblastí boli najmä dokumentované veľmi nízke koncentrácie dusičnanov v monitorovacích objektoch v katastrálnych územiach týchto obcí, ako aj vykazovanie dlhodobo klesajúceho alebo stabilného trendu vývoja dusičnanov v monitorovacích objektoch. Na základe výsledkov revízie v roku 2016 boli zraniteľné oblasti identifikované nielen vo vzťahu k podzemným, ale aj k povrchovým vodám. Aktualizovaný zoznam zahŕňa 1 344 obcí, ktoré reprezentujú zraniteľné oblasti Slovenskej republiky, je uvedený v nariadení vlády SR č. 174/2017 Z. z., ktorým sa ustanovujú citlivé oblasti a zraniteľné oblasti, s účinnosťou od 1. 7. 2017 [3] (obr. 1). V roku 2019 sa v zraniteľných oblastiach nachádzalo cca 61,6 % z rozlohy využívananej poľnohospodárskej pôdy v Slovenskej republike.

## Mapa zraniteľných oblastí



Obr. 1 Mapa zraniteľných oblastí, stav platný od 1. 7. 2017

Za účelom ochrany vôd pred znečisťovaním z poľnohospodárskych zdrojov sú poľnohospodárske subjekty hospodáriace vo vymedzených zraniteľných oblastiach povinné s účinnosťou od 1. januára 2016 dodržiavať **podmienky hospodárenia** definované zákonom č. 136/2000 Z. z. o hnojivách v znení neskorších predpisov [4] (zosúladenie s právom EÚ sa zrealizovalo novelizáciou zákona o hnojivách zákonom č. 394/2015 Z. z. [5]). **Dodržiavanie podmienok hospodárenia** dotknutých subjektov v SR kontroluje Ústredný kontrolný a skúšobný ústav poľnohospodársky.

**Výsledky monitorovania vôd** predstavujú základ na zhodnotenie úrovne dosahovania cieľov dusičnanej smernice a zároveň slúžia ako jeden zo zásadných podkladov na nastavenie opatrení. Na účely vyhodnotenia aktuálneho stavu implementácie dusičnanej smernice sa výsledky monitorovania podzemných vôd zhodnotili za 4-ročné obdobie 2016 – 2019 a povrchových vôd za roky 2016 – 2018. V tomto čase sa sledovalo 1 788 monitorovacích objektov pre kvalitu podzemných vôd (z toho 1 185 v zraniteľných oblastiach) a 842 monitorovacích miest pre kvalitu povrchových vôd (z toho 764 miest v tečúcich vodách a 78 miest vo vodných nádržiach). V zraniteľných oblastiach sa hodnotilo 411 miest (z toho 399 miest v tečúcich vodách a 12 miest vo vodných nádržiach). V prípade podzemných vôd sa koncentrácie dusičnanov vyhodnocovali v 5 a v prípade povrchových vôd v 6 triedach kvality, v zmysle metodického príručky EK [6]. Vyhodnotenie eutrofizácie bolo založené na 5-triednej klasifikácii trofie vôd, do ktorej vstupovali relevantné výsledky analýz vzoriek odobraných na 776 monitorovaných miestach (z toho 754 miest v tečúcich vodách a 22 vodných nádrží). V zraniteľných oblastiach sa hodnotilo 407 miest (z toho 398 miest v tečúcich vodách a 9 vodných nádrží).

## HODNOTENIE KONCENTRÁCIE DUSIČNANOV V PODZEMNÝCH VODÁCH

**Prehľad výsledkov monitorovania podzemných vôd** je prezentovaný v tab. 1 a na obr. 2.

Tab. 1 Hodnotenie priemerných koncentrácií dusičnanov v podzemných vodách za obdobie 2016 – 2019

Trieda kvality NO <sub>3</sub> (mg/l)	Slovenská republika		Zraniteľné oblasti	
	Počet objektov	Podiel	Počet objektov	Podiel
0 – 24,99	1 340	74,9 %	749	63,2 %
25 – 39,99	159	8,9 %	148	12,5 %
40 – 49,99	74	4,1 %	73	6,2 %
≥ 50	215	12,0 %	215	18,1 %

**V zraniteľných oblastiach** sa vo väčšine monitorovacích objektov (63,2 %) hodnotila priemerná koncentrácia dusičnanov v prvej triede kvality, t. j. v rozmedzí od 0 do 24,99 mg/l. Priemerná koncentrácia dusičnanov nad hranicu 50 mg/l sa zistila v 18,1 % monitorovacích objektov a maximálna koncentrácia nad touto hranicou v 26,0 % objektov. Pri hodnotení trendov (porovnanie súčasného reportovacieho obdobia 2016 – 2019 s predchádzajúcimi rokmi 2012 – 2014) podľa priemernej koncentrácie bol najviac zastúpený trend klesajúci (42,1 %), pričom významne menší podiel sa zaznamenal pri rastúcom (31,8 %) a stabilnom trende (26,1 %).

V rámci hodnotenia priemerných koncentrácií dusičnanov **pre celé územie SR** bolo takmer 75 % monitorovacích objektov zaradených do prvej triedy kvality. Pri hodnotení vývoja priemerných koncentrácií dusičnanov v porovnaní s predchádzajúcim obdobím 2012 – 2014 mali najväčšie zastúpenie monitorovacie objekty so stabilným trendom vývoja (39,4 %). Zastúpenie klesajúceho (31,3 %) a rastúceho (29,3 %) trendu bolo takmer vyrovnané.

Z hľadiska **prognózy budúceho vývoja kvality podzemných vôd** možno konštatovať, že kvalita podzemných vôd v rámci územia SR je v štádiu stagnácie súčasnej úrovne. Približne 70 % vyhodnotených objektov monitorovania podzemných vôd v SR vykazuje úroveň znečistenia dusičnanmi pod limitnou hodnotou 50 mg/l a zároveň je táto úroveň stabilná, či dokonca klesajúca. V budúcnosti bude potrebné venovať zvýšenú pozornosť najmä oblastiam s monitorovacími objektmi (21,4 % objektov), kde je narastajúci trend vývoja obsahu dusičnanov alebo kde je koncentrácia vyššia ako 50 mg/l a bude sa znižovať dlhší čas.

## HODNOTENIE KONCENTRÁCIE DUSIČNANOV V POVRCHOVÝCH VODÁCH

**Výsledky monitorovania kvality povrchových vôd – tečúce vody** sú zhrnuté v tab. 2 a zobrazené na obr. 3.

Tab. 2 Hodnotenie priemerných koncentrácií dusičnanov v tečúcich vodách za obdobie 2016 – 2018

Trieda kvality NO <sub>3</sub> (mg/l)	Slovenská republika		Zraniteľné oblasti	
	Počet miest	Podiel	Počet miest	Podiel
0 – 1,99	22	2,9 %	5	1,3 %
2 – 9,99	582	76,2 %	256	64,2 %
10 – 24,99	134	17,5 %	113	28,3 %
25 – 39,99	17	2,2 %	16	4,0 %
40 – 49,99	2	0,3 %	2	0,5 %
≥ 50	7	0,9 %	7	1,8 %

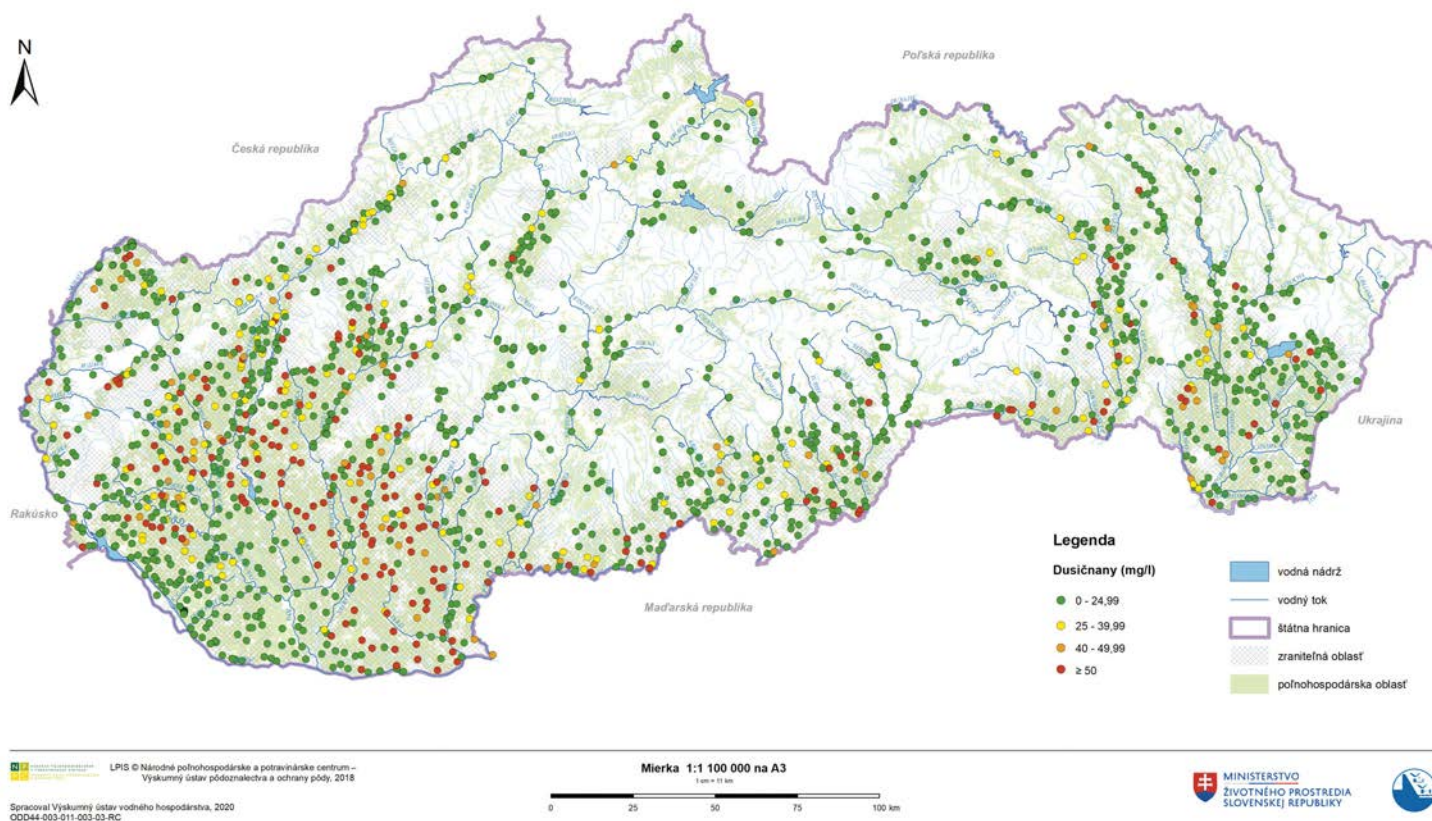
**V zraniteľných oblastiach** v prípade hodnotenia priemernej koncentrácie dusičnanov v tečúcich vodách (riekach) vzrástlo zastúpenie počtu miest v prvej triede kvality (t. j. v kategórii do 2 mg/l) na 1,3 % a najväčší podiel miest monitorovania (64,2 %) sa vyskytoval v druhej triede kvality (t. j. v rozmedzí od 2 do 10 mg/l), čo možno hodnotiť ako priaznivý stav. Do najhoršej triedy kvality, t. j. s koncentráciou nad hranicou 50 mg/l, bolo zaradených 1,8 % miest monitorovania. Rovnako priaznivo možno hodnotiť aj situáciu **na úrovni celej SR**, pretože až 99,4 % z celkového počtu analýz dusičnanov nepresiahlo limitnú úroveň 50 mg/l (obr. 3).

V porovnaní s predchádzajúcim obdobím (2012 – 2014) možno **vývoj kvality v riekach** hodnotiť na základe priemernej koncentrácie dusičnanov pozitívne. Dôvodom tohto konštatovania je fakt, že na takmer 75 % miestach monitorovania vodných tokov v zraniteľných oblastiach, podobne ako aj na 78 % miestach monitorovania vodných tokov v celej SR, bol vývoj stabilný alebo klesajúci. Najvyšší podiel miest monitorovania (51,6 %) zaznamenalo stabilný vývoj trendu priemernej koncentrácie dusičnanov.

V prípade **vodných nádrží** v zraniteľných oblastiach všetky miesta monitorovania (100 %) boli v ukazovateli priemernej

### Podzemná voda

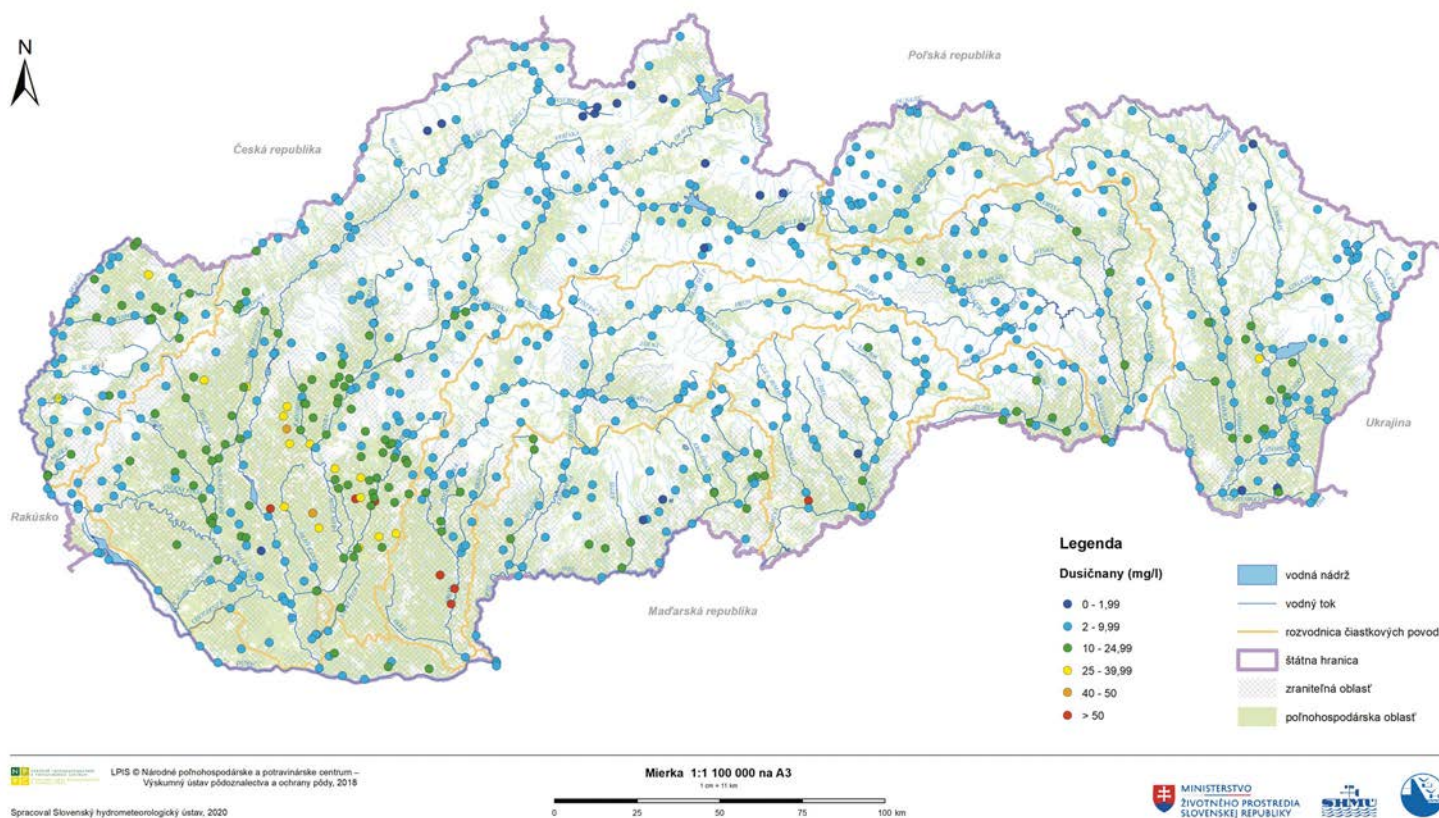
#### Priemerné koncentrácie dusičnanov (2016 - 2019)



Obr. 2 Mapa priemernej koncentrácie dusičnanov v podzemných vodách za obdobie 2016 – 2019

### Povrchová voda

#### Priemerné koncentrácie dusičnanov (2016 - 2018)



Obr. 3 Mapa priemernej koncentrácie dusičnanov v povrchových vodách za obdobie 2016 – 2018

koncentrácia dusičnanov zaradené do druhej triedy kvality. Pri hodnotení vývoja kvality vo vodných nádržiach rovnako ako v riekach prevažovala trieda stabilného trendu priemerých koncentrácií dusičnanov (55,6 % miest monitorovania).

Z uvedeného vyplýva, že pri hodnotení tried dusičnanov, ako aj pri hodnotení ich trendov v povrchových vodách prevažuje na úrovni nielen celej SR, ale aj v zraniteľných oblastiach pozitívny vývoj.

**Prognoza budúceho vývoja koncentrácie dusičnanového dusíka v povrchových vodách** naznačuje pokračovanie trendu stanoveného za obdobie 2013 – 2018, ktorý bol v prevažnej väčšine záverových miest čiastkových povodií správneho územia povodia Dunaja určený ako ustálený [7].

## HODNOTENIE EUTROFIZÁCIE

**Prehľad hodnotenia eutrofizácie** v povrchových vodách – tečúce vody za obdobie 2016 – 2018 je uvedený v tab. 3 a na obr. 4.

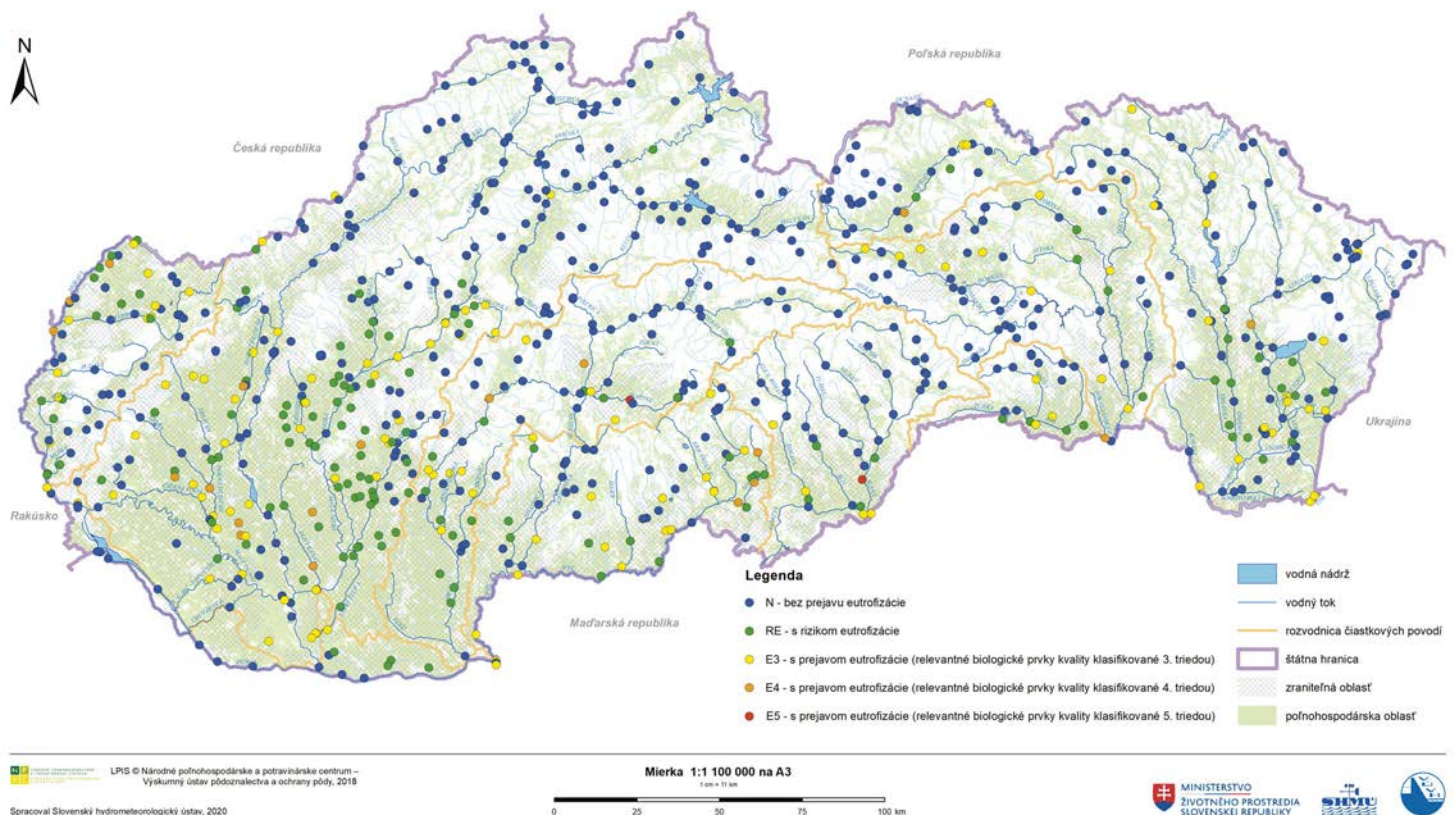
Tab. 3 Hodnotenie eutrofizácie v tečúcich vodách za obdobie 2016 – 2018

Eutrofizácia	Slovenská republika		Zraniteľné oblasti	
	Počet miest	Podiel	Počet miest	Podiel
Bez prejavu alebo rizika eutrofizácie (N)	478	63,4 %	186	46,7 %
S rizikom eutrofizácie (RE)	141	18,7 %	117	29,4 %
S prejavom eutrofizácie (E3)	115	15,3 %	79	19,8 %
S prejavom eutrofizácie (E4)	18	2,4 %	14	3,5 %
S prejavom eutrofizácie (E5)	2	0,3 %	2	0,5 %

Na základe vykonaného hodnotenia **eutrofizácie** sa podiel eutrofných miest v riekach v celej SR, ako aj samostatne v zraniteľných oblastiach zvýšil. Podiel eutrofných miest na tokoch v zraniteľných oblastiach dosiahol 23,8 %.

Naopak, vo vzťahu k vodným nádržiam sa zistil percentuálny pokles nádrží so zhoršeným trofickým stavom, pričom v zraniteľných oblastiach sa eutrofizácia zaznamenala v 66,7 % vodných nádrží.

### Povrchová voda - toky Eutrofizácia (2016 - 2018) - Metodika SR



Obr. 4 Mapa eutrofizácie v povrchových vodách za obdobie 2016 – 2018

Nepriaznivejší **vývoj trofického stavu tokov** v zraniteľných oblastiach potvrdzuje hodnotenie trendov, ktorého výsledky poukazujú, že v 35,3 % miest sa zistil nárast trendu trofie oproti predchádzajúcemu hodnotenému obdobiu. V 50,6 % monitorovaných miest sa prejavila stagnácia, avšak pozitívne možno hodnotiť, že významná väčšina týchto miest bola bez prejavu alebo rizika eutrofizácie. Vo vodných nádržiach v zraniteľných oblastiach došlo k výraznému poklesu trendu (t. j. zlepšení vývoja) v 44,4 % vodných nádrží a v ostatných sa prejavila stagnácia trendu.

Vzhľadom na výsledky hodnotenia eutrofizácie a zaznamenané trendy v hodnotených miestach povrchových vôd v SR možno konštatovať, že väčšina miest, v ktorých boli vyhodnotené prejavy eutrofizácie (69,7 %), a taktiež väčšina miest s rizikom eutrofizácie (68,7 %) sa nachádzala v zraniteľných oblastiach. V zmysle toho, pri aktuálnej revízii zraniteľných oblastí (2020), sa spresňuje identifikácia dominantných zdrojov živín do povrchových vôd vrátane biologicky dostupných foriem fosforu, ktorý je limitujúcim faktorom eutrofizácie

v tokoch. To umožní návrh a implementáciu environmentálne účinnejších a nákladovo efektívnejších opatrení na zamedzenie eutrofizácie a zlepšenie kvality povrchových vôd.

## ZÁVER

**Prezentované výsledky hodnotenia kvality vôd** sú detailne uvedené vo forme textu, tabuliek, máp a grafov v *Správe o stave implementácie smernice Rady 91/676/EHS v SR, 2020* [7], ktorú SR v súlade s požiadavkami čl. 10 smernice 91/676/EHS predložila Európskej komisii v júni 2020. Správa je dostupná verejnosti na Enviroportáli – informačnom portáli MŽP SR. Výsledky hodnotenia vôd budú zároveň slúžiť ako jeden z podkladov na nasledujúcu revíziu zraniteľných oblastí SR v zmysle požiadaviek dusičnanovej smernice [1].

### Literatúra:

- [1] Smernica Rady 91/676/EHS týkajúca sa ochrany vôd pred znečistením spôsobeným dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov.
- [2] Cibulka, R., Májovská, A., Patschová, A., Rajczykova, E. 2016: *Revízia zraniteľných oblastí pre smernicu Rady 91/676/EHS*. Bratislava : VÚVH, SHMÚ 2016.
- [3] Nariadenie vlády SR č. 174/2017 Z. z., ktorým sa ustanovujú citlivé oblasti a zraniteľné oblasti.
- [4] Zákon č. 136/2000 Z. z. o hnojivách v znení neskorších predpisov.
- [5] Zákon č. 394/2015 Z. z., ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 136/2000 Z. z. o hnojivách v znení neskorších predpisov.
- [6] EK.2020. Nitrates Directive (91/676/CEE). Status and trends of aquatic environment and agricultural practice. Development guide for Members States reports. 2020.
- [7] MŽP SR. 2020. *Správa o stave implementácie smernice Rady 91/676/EHS týkajúcej sa ochrany vôd pred znečistením spôsobeným dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov v Slovenskej republike 2020*. Bratislava : MŽP SR, jún 2020. On-line: <https://www.enviroportal.sk/spravy/spravy-o-zp/spravy-ek/detail/1247>

### Zdroje dát pre mapy:

- [1] ZBGIS®, Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky
- [2] LPIS © Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, 2017.
- [3] Výskumný ústav vodného hospodárstva.
- [4] Slovenský hydrometeorologický ústav.





# Environmentálne dane a finančné stimuly na znižovanie difúzneho znečisťovania vôd z poľnohospodárstva a ich aktuálnosť na Slovensku

**Ing. Radoslav Bujnovský, CSc.**

Výskumný ústav vodného hospodárstva

Environmentálne dane a finančné stimuly patria do kategórie ekonomických nástrojov, ktoré prispievajú k zlepšeniu stavu životného prostredia [1], oblasť vôd nevynímajúc. Vzhľadom na kvalitu vôd to znamená znižovanie vnosu živín alebo pesticidov z difúznych zdrojov. Kým pri environmentálnych daniach je snahou uplatňovať princíp znečisťovateľ platí (polluter pays principle), v prípade finančných stimulov je to platenie znečisťovateľovi (pay to polluter) za aktivity/opatrenia, ktoré zlepšujú stav životného prostredia (vôd).

## ENVIRONMENTÁLNE DANE Z PRIEMYSELNÝCH HNOJÍV A PESTICIDOV

Implementácia environmentálnych daní a poplatkov v poľnohospodárstve, v porovnaní s inými odvetvami hospodárstva, nie je veľmi rozšírená. Podľa aktuálnych informácií environmentálna daň z hnojív, ktorou sú zafarbení výrobcovia hnojív, sa v rámci škandinávskych krajín uplatňuje len v Dánsku. Spotreba hnojív v agrosektore tejto krajiny je okrem toho regulovaná aj prostredníctvom individuálnych kvót [2]. Rakúsko túto daň zrušilo v roku 1997, a to tak z dôvodu podpory konkurencieschopnosti rakúskeho poľnohospodárstva v EÚ, ako aj možného zlyhania politiky znižovania spotreby priemyselných hnojív v dôsledku relatívne nízkej dane [3]. Napriek tomu možno konštatovať, že Rakúsko dosiahlo zníženie spotreby hnojív (aj pesticidov) prostredníctvom základných a doplnkových opatrení v zmysle rámcovej smernice o vode.

Z analýzy efektu zavedenia dane z hnojív v podmienkach Fínska [4] vyplýva, že zavedením 15% dane na dusikaté hnojivá by sa ich spotreba, ako aj emisie dusíka (N) znížili len o niekoľko percent. Environmentálne významný efekt (zníženie spotreby o 22 – 34% a zníženie strát dusíka o 28 – 32%) by bolo reálne až pri zavedení 100% dane s dosahom na významnú stratu príjmov poľnohospodárov. Podobne, z analýzy obmedzenia aplikácie fosforu (P) v priemyselných hnojivách v Kanade [5] vyplýva, že dostatočne vysoká environmentálna daň by síce prispela k znižovaniu nadbytku tejto živiny v oblastiach s najvyšším rizikom vnosu P do vôd, no jej zavedenie by vyvolalo zníženie úrod zrnovín na celom území, pretože zavedenie dane tohto typu má celoplošný, a nie selektívny charakter.

Množstvo živín v aplikovaných priemyselných hnojivách je len jeden z faktorov, ktorý ovplyvňuje emisie živín do vôd.

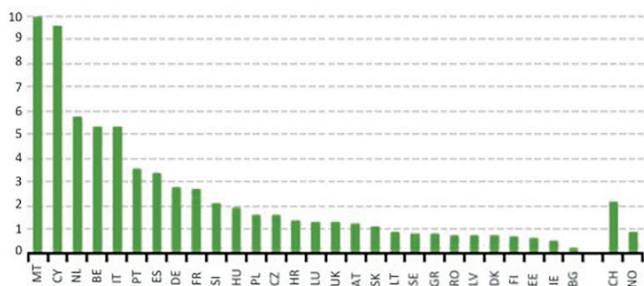
Na Slovensku spotreba dusíkatých hnojív po roku 1990 výrazne klesla a jej postupný nárast málo ovplyvňuje bilanciu tejto živiny (vyjadrovanú N v kg.h<sup>-1</sup>) [6]. V rámci EÚ sa Slovensko zaraďuje ku krajinám s nízkym prebytkom dusíka a spravidla bilančným deficitom fosforu [7]. Z uvedeného dôvodu, s ohľadom aj na skúsenosti zo susedného Rakúska [3], zavedenie environmentálneho poplatku, resp. dane z priemyselných hnojív (najmä N) na Slovensku nepovažujeme za vhodný nástroj na znižovanie difúzneho znečisťovania vôd z poľnohospodárskej pôdy, pretože tento problém je potrebné riešiť predovšetkým v oblastiach, ktoré sa v rozhodujúcej miere podieľajú na vnose živín do vôd, a nie celoplošne.

Environmentálna daň z pesticidov sa v súčasnosti uplatňuje v Dánsku, vo Francúzsku, v Nórsku a vo Švédsku a jej zavedenie je predmetom diskusie aj v iných krajinách, ako napríklad v Nemecku a Holandsku [2, 8]. Vo Švédsku sa pozornosť v poslednom období viac sústreďovala na znižovanie environmentálneho rizika spojeného s používaním prípravkov na ochranu rastlín [9]. V ďalšom období bude environmentálna daň zohľadňovať aj stupeň toxicity jednotlivých pesticidov [10].

V Dánsku, ktoré je priekopníkom environmentálnej dane z pesticidov v Európe, je environmentálne zdaňovanie pesticidov naďalej aktuálne [11]. Pri určovaní dane za konkrétny pesticídny prípravok sa zohľadňujú tak rizikové faktory pre zdravie a životné prostredie, ako aj množstvo účinnej látky v konkrétnom pesticide. Zavedenie tejto dane prispelo k tomu, že Dánsko sa zaraďuje medzi krajiny EÚ s najnižším predajom pesticidov v prepočte na hektár využívanej poľnohospodárskej pôdy. Efekt environmentálnej dane sa však väčšmi prejavuje na znížení predaja než na znížení reálnej spotreby. Ako uvádza Pedersen [12], viacerí dánski farmári sa, v dôsledku vysokých cien pesticidov na domácom trhu, uchýľujú k ich ilegálnemu dovozu zo zahraničia.

Odlíšna situácia je zatiaľ vo Francúzsku, ktoré prostredníctvom environmentálnej dane z pesticidov plánovalo znížiť ich spotrebu o 50% [13]. Ako však vyplýva zo zistení autorov Hosard et al. [14], v rokoch 2008 – 2013 sa zníženie spotreby pesticidov nespozorovalo. Belgicko, kde sa spotreba pesticidov zaraďuje k najvyšším v Európe, daň z pesticidov zrušilo v roku 2007 a nahradilo ju prísnejšími regulačnými opatreniami [1].

Podľa autorov Finger et al. [15] pomerne malá cenová elasticita dopytu po pesticídoch znamená, že daňové sadzby pre nadmerne toxické pesticídy musia byť vysoké, aby



Obr. 1 Predaj pesticídov v roku 2014 v prepočte kg na 1 ha využívanej poľnohospodárskej pôdy [7 – upravené]

vyvolali významné zníženie ich dopytu. Zavedenie daňového systému na pesticídy by malo byť len súčasťou portfólia koherentných opatrení, ktoré neznamenajú zníženie úrovne výroby (napr. lepšie aplikačné technológie a lepšia nechemická ochrana rastlín). Podobne, ako uvádzajú Skevas et al. [16], optimálne používanie pesticídov sa nemusí dosahovať len pomocou trhových nástrojov, ako sú dane a podpory, podporujúce zmeny správania prostredníctvom signálov trhu.

Čo sa týka Slovenska, spotrebou pesticídov na hektár využívanej poľnohospodárskej pôdy je približne na úrovni Rakúska (pozri obr. 1). Takže znížovanie spotreby pesticídov prostredníctvom environmentálnej dane nie je nateraz opodstatnené. Znižovanie spotreby pesticídov, o ktoré sa viaceré krajiny EÚ s intenzívnym poľnohospodárstvom usilujú, sa na Slovensku dosiahlo, takpovediac, skokom, v dôsledku extenzifikácie agrosektora po roku 1990 (podobne, ako v prípade spotreby živín v priemyselných hnojivách). Na ilustráciu možno uviesť, že kým celková spotreba prípravkov na ochranu rastlín sa v rokoch 2014 – 2018 pohybovala v rozpätí od 4,6- do 5,4-tis. ton [17], v roku 1980 predstavovala až 19-tis. ton [18].

## SPOPLATNENIE VNOSU ŽIVÍN DO VÔD (EMISNÉ LIMITY)

Ako uvádzajú viacerí autori [napr. 19, 20], účinnosť nástrojov na reguláciu strát dusíka klesá v poradí emisné poplatky > štandardy aplikácie dusíka > daň z používania priemyselných dusíkatých hnojív. Uvedené platí aj pre pesticídy. Skevas [21] porovnával tri druhy opatrení, a to jednotná daň na pesticídy (v súčasnosti uplatňovaná v niektorých krajinách), daň zo znečisťovania podzemných vôd a kvantitatívne obmedzenie spotreby pesticídov. Daň zo znečisťovania podzemných vôd sa ukázala ako najvhodnejšia, lebo okrem iných aspektov ako jediná spĺňala kritérium „znečisťovateľ platí“.

Zavádzanie environmentálnych daní by malo prinášať aj konkrétne environmentálne výsledky. Preto sa v Holandsku, kde je najvyšší bilančný prebytok živín v rámci krajín EÚ, uvažovalo aj so splatnením bilančného prebytku N, čo malo slúžiť ako nástroj na dosiahnutie cieľa dusičnanej smernice pri znížených nákladoch. Ako uvádza Scott [22], v roku 2003 limit akceptovateľného bilančného prebytku N na zrnitostne ťažkých pôdach bol  $100\text{kg ha}^{-1}$  na ornej pôde a  $180\text{kg ha}^{-1}$  na pasienkoch. Na zrnitostne ľahkých pôdach to bolo o 40kg menej. Napriek tomu, ako uvádzajú Wright a Mallia [23], zo strany Európskej komisie tento prístup nebol akceptovaný a na odporúčanie Európskeho dvora audítorov ho v roku 2006

nahradili zavedením štandardov na aplikáciu priemyselných a hospodárskych hnojív v súlade s požiadavkami dusičnanej smernice týkajúcej sa tak N, ako aj P (čo spadá do kategórie regulačných nástrojov, resp. základných opatrení v zmysle rámcovej smernice o vode). Ďalším z problémov tohto nástroja bol nárast byrokracie a administratívnych nákladov.

Namiesto emisnej dane z emisií živín do vôd (z difúzných zdrojov), ktorá sa v súčasnosti neuplatňuje, sa prístupuje k zmenám štandardov aplikácie živín a k úprave limitov záťaže prostredia živinami úpravou národnej legislatívy s príslušnými sankčnými postihmi [24, 25, 26]. Na Slovensku nie sú maximálna hodnota bilančného prebytku N na úrovni poľnohospodárskeho podniku a jej dodržiavanie dosiaľ zahrnuté do národnej legislatívy (zákon č. 136/2000 Z. z. o hnojivách v znení neskorších predpisov).

## PLATBY POĽNOHOSPODÁROM ZA ENVIRONMENTÁLNE ORIENTOvané AKTIVITY (VO VZŤAHU K VODE)

V mnohých krajinách sa namiesto zavedenia environmentálnych daní uplatňujú platby poľnohospodárom za environmentálne orientované aktivity (vo vzťahu k vode).

Kompenzačné platby farmárom za udržiavanie/zlepšenie kvality vody v pásmach hygienickej ochrany vodných zdrojov [27] predstavujú špecifický, cielene využívaný ekonomický nástroj. Na Slovensku majú uvedené kompenzácie charakter úhrady za majetkovú ujmu, ktorú vodárenské spoločnosti uhrádzajú relevantným poľnohospodárskym subjektom.

Platby poľnohospodárom sú častokrát realizované z programu rozvoja vidieka. A hoci agroenvironmentálne schémy môžu zlepšiť kvalitu vôd prostredníctvom zníženia emisií znečisťujúcich látok [28], efektívnosť schém/opatrení je ťažké preukázať. Jednou z príčin je to, že vplyv opatrení na úroveň difúzneho vnosu znečisťujúcich látok do vody nemožno merať, len modelovať [29]. Ďalšou príčinou je, ako uvádza Bujnovský [30], že niektoré opatrenia v rámci Programu rozvoja vidieka SR síce môžu prispievať k zníženiu záťaže prostredia živinami, resp. pesticídmi (napr. ekologické poľnohospodárstvo alebo integrovaná produkcia v ovocných sadoch, vinohradoch a pri pestovaní zeleniny), ale ich alokácia nebýva primárne smerovaná do rizikových/zraniteľných oblastí. Na tento nedostatok poukazuje aj Ribaudo [31], pripomínajúc, že opatrenia na znížovanie difúzneho znečisťovania vôd (vzhľadom na ich environmentálnu účinnosť a nákladovú efektívnosť) je potrebné orientovať do tých oblastí, ktoré sa vo významnej miere podieľajú na znečisťovaní pôd.

Na druhej strane, operácia v rámci agroenvironmentálno-klimatického opatrenia *Ochrana vodných zdrojov v rámci CHVO Žitný ostrov* (Program rozvoja vidieka SR na roky 2014 – 2020) síce utvára predpoklady na zníženie difúzneho znečistenia vôd Žitného ostrova, ale dobrovoľný charakter tohto opatrenia nie je zárukou jeho cielenej realizácie a dosiahnutia príslušného environmentálneho efektu. Je to preto, že zapojenie malého/nedostatočného počtu farmárov hospodáriacich v príslušnej CHVO nemôže priniesť očakávaný environmentálny efekt. Na problém dobrovoľnosti vstupu do opatrení poukazujú aj Shortle et al. [29].

Odmeňovanie výkonu poľnohospodárov za ochranu vôd pred znečistením (*pay for performance*) namiesto kompenzácie nákladov (ušlého zisku) za realizáciu opatrení (v súčasnosti bežne používaný postup) je ďalšou cestou zvýšenia environmentálnej účinnosti realizovaných opatrení [32, 33]. S príchodom modelovacích nástrojov v teréne by platby mohli byť založené na odhadovanom znížení zafarbenia znečisťujúcimi látkami.

Širší pohľad v tomto smere ponúkajú autori Okumah et al. [34], podľa ktorých dôkladné pochopenie a analýza refazca „zvysovanie *environmentálneho povedomia farmárov* → *zmeny správanía* → *zmena kvality vôd*“ je dôležité pre návrh a implementáciu efektívnych stratégií na zabezpečenie najlepšej poľnohospodárskej praxe, a nakoniec zlepšenia kvality vôd.

Záverom treba znovu pripomenúť, že zavádzanie environmentálnych daní na priemyselné hnojivá a pesticídy za účelom znížovania ich spotreby a následne znížovania neproduktívnych strát príslušných látok do vôd nie je v podmienkach

Slovenska nateraz opodstatnené. Potvrdzujú to aj poznatky z viacerých krajín Európy, kde sa tejto problematike venuje zvýšená pozornosť. V súčasnosti sa znižovanie/regulácia strát živín a pesticídov (vrátane ich reziduí) do vôd rieši prostredníctvom zmien limitov záfaže a štandardov ich aplikácie, čo spadá do portfólia základných opatrení v zmysle rámcovej smernice o vode. Kým environmentálne dane predstavujú „reštrikčný“ nástroj, cieľom poskytovania finančných stimulov farmárom je podpora pro-environmentálnych činností, zvyčajne nad rámec zákonných požiadaviek, čo v zmysle rámcovej smernice o vode je záležitosťou doplnkových opatrení. V oboch prípadoch treba mať na zreteli, že efektívnosť realizovaných opatrení je významne podmienená ich lokalizáciou do oblastí, ktoré najviac prispievajú k znečisťovaniu vôd, pretože environmentálna účinnosť a nákladová efektívnosť opatrení v týchto oblastiach budú najvyššie.

#### Literatúra:

- [1] Vojtech, V. 2010: Policy measures for addressing agri-environmental issue. *OECD Food, Agriculture, and Fisheries Paper*, No. 21. Paris: OECD. ISBN 978-92-64-08684-5.
- [2] Sverningsen, L.S., Hansen, L.L., Sørensen, M.M., von Bahr, E., Bragadóttir, H., Uggeldahl, K.Ch., Søiland, H., Lone, Ø., Schou, J., Hansen, T. 2019: The use of economic instruments in Nordic Environmental Policy 2014 – 2017. Nordic Council of Ministers.
- [3] Nam, Ch.W., Parsche, R., Radulescu, D.M., Schöpe, M. 2007: Taxation of fertilizers, pesticides and energy use for agricultural production in selected EU countries. *European Environment*, 17, p. 267 – 284. ISSN 1099-0976.
- [4] Lankoski, J., Ollikainen, M. 2013: Innovations in nonpoint source pollution policy – European perspectives. *Choices*, 28, No. 3, p. 1 – 5. ISSN 0886-5558.
- [5] Reid, K., Schneider, K., Joosse, P. 2019: Addressing imbalances in phosphorus accumulation in Canadian agricultural soils. *Journal of Environmental Quality*, 48, p. 1 156 – 1 166. ISSN 0047-2425.
- [6] Bujnovský, R., Koco, Š. 2019: Záfaž poľnohospodárskej pôdy živinami vo vzťahu k difúznemu znečisťovaniu vôd v podmienkach Slovenska – aktuálny pohľad/ The load of agricultural land by nutrients in relation to diffuse water pollution in Slovakia – actual view. In *Elektronický zborník z medzinárodnej konferencie OCHRANA VODNÝCH ZDROJOV 2019 Od environmentálnych cieľov ku kvalitej pitnej vode/ The Electronic Proceedings of the International Conference WATER RESOURCES PROTECTION 2019 From Environmental Goals towards Drinking Water Quality*, Banská Bystrica : SAŽP, p. 38 – 43. ISBN 978-80-8213-005-1.
- [7] EUROSTAT 2016: *Agriculture, forestry, and fishery statistics*. Brussels : European Union. ISBN 978-92-79-63351-5.
- [8] Böcker, Th., Finger, R. 2016: European pesticide tax schemes in comparison: An analysis of experiences and developments. *Sustainability*, 8, No. 4, p. 1-22. ISSN 2071-1050.
- [9] Landsbygdsdepartementet (Ministry of Rural Affairs) 2013: National Action Plan for the sustainable use of plant protection products for the period 2013–2017. Stockholm : Landsbygdsdepartementet.
- [10] Sweden's National Action Plan for the sustainable use of plant protection products for the period 2019-2022. Dostupné na [https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/plant/docs/pesticides\\_sup\\_nap\\_swe-rev\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/plant/docs/pesticides_sup_nap_swe-rev_en.pdf).
- [11] MEF 2017: *Danish national action plan on pesticides 2017 – 2021*. Facts, caution and consideration. Copenhagen : MEF.
- [12] Pedersen, A.B. 2017: Pesticide tax in Denmark. Aarhus University – DCE. Dostupné na <https://ieep.eu/uploads/articles/attachments/504788d7-db01-4dd8-bece-ee7b9e63979e/DK%20Pesticide%20Tax%20final.pdf?v=63680923242>.
- [13] Baramoglu, B., Chakir, R. 2016: The impact of high crop prices on the use of agro-chemical inputs in France: A structural econometric analysis. *Land Use Policy*, 55, p. 204 – 211. ISSN 0264-8377.
- [14] Hossard, L., Guichard, L., Pelosi, C., Makowski, D. 2017: Lack of evidence for a decrease in synthetic pesticide use on the main arable crops in France. *Science of the Total Environment*, 575, p. 152 – 161. ISSN 0048-9697.
- [15] Finger, R., Mohring, N., Dalhaus, T., Böcker, Th. 2017: Revisiting pesticide taxation schemes. *Ecological Economics*, 134, p. 263 – 266. ISSN 0921-8009.
- [16] Skevas, Th., Lansink, A.G.J.M.O., Stefanou, S.E. 2013: Designing the emerging EU pesticide policy: A literature review. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 64 – 65, p. 95 – 103. ISSN 1573-5214.
- [17] ŠÚ SR 2020: *Štatistická ročenka SR 2019*. Bratislava : VEDA SAV. ISBN: 978-80-224-1792-1.
- [18] Klinda, J. et al. 1994: *Správa o stave životného prostredia Slovenskej republiky v roku 1992 – 1993*. Bratislava : MŽP SR.
- [19] Martinez, Y., Calvo, E., Albiac, J. 2007: A dynamic analysis of nonpoint pollution control instruments in agriculture. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, 6, No. 1, p. 60 – 78. ISSN 1462-4605.
- [20] Söderholm, P., Christiernsson, A. 2008: Policy effectiveness and acceptance in the taxation of environmentally damaging chemical compounds. *Environmental Science and Policy*, 11, p. 240 – 252. ISSN 1462-9011.
- [21] Skevas, Th. 2019: Evaluating alternative policies to reduce pesticide groundwater pollution in Dutch arable farming. *Journal of Environmental Planning and Management*, 63, No. 4, p. 733 – 750. ISSN 0964-0568.
- [22] Scott, S. 2005: *Fertilizer taxes – Implementation issues. Final report*. Wexford: EPA.
- [23] Wright, S., Mallia, C. 2008: The Dutch approach to the implementation of the Nitrate Directive: Explaining the inevitability of its failure. *The Journal of Transdisciplinary Environmental Studies*, 7, No. 2, p. 1 – 16. ISSN 1602-2297.
- [24] Barreau, S., Mgnier, J., Alcouffe, Ch. 2018: *Agricultural phosphorus regulation in Europe – experience-sharing for 4 European countries*. Paris : International Office for Water.
- [25] Stubenrauch, J., Garske, B., Ekhardt, F. 2018: Sustainable land use, soil protection and phosphorus management from a cross-national perspective. *Sustainability*, 10, No. 6, 1805 doi: 10.3390/su10061988. ISSN 2071-1050.
- [26] Van Grinsven, H.J.M., Tiktak, A., Rougoor, C.W. 2016: Evaluation of the Dutch implementation of the nitrates directive, the water framework directive and the national emission ceilings directive. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 78, p. 69 – 84. ISSN 1573-5214.
- [27] EEA 2013: Assessment of cost recovery through water pricing. *EEA Technical report*, No. 13/2013. Copenhagen : EEA. ISBN 978-92-9213-409-9.
- [28] Jones, J.I., Murphy, J.F., Anthony, S.G., Arnold, A., Blackburn, J.H., Duerdoth, Ch.P., Hawczak, A., Hughes, G.O., Pretty, J.L., Scarlett, P.M., Gooday, R.D., Zhang, Y.S., Fawcett, L.E., Simpson, D., Turner, A.W.B., Naden, P.S., Skates, J. 2017.: Do agri-environment schemes result in improved water quality? *Journal of Applied Ecology*, 54, p. 537 – 546. ISSN 1365-2664.
- [29] Shortle, J.S., Ribaudo, M., Horan, R.D., Blanfoed, D. 2012: Reforming agricultural nonpoint pollution policy in an increasingly budget-constrained environment. *Environmental Science and Technology*, 45, p. 1 316 – 1 325. ISSN 0013-936X.
- [30] Bujnovský, R. 2016: Efektívne znižovanie difúzneho znečisťovania vôd živinami z poľnohospodárskej pôdy v podmienkach Slovenska. *Vodohospodársky spravodajca*, 59, č. 3 – 4, s. 10 – 13. ISSN 0322-886X.
- [31] Ribaudo, M. O. 2009: Non-point pollution regulation approaches in the US. In Albiac, J., Dinar, A., (Eds.), *The Management of Water Quality and Irrigation Technologies Earthscan*: London, p. 83 – 101. ISBN 978-1-84407-670-3.
- [32] Iho, A., Ribaudo, M., Hyytiäinen, K. 2015: Water protection in the Baltic Sea and the Chesapeake Bay: Institutions, policies and efficiency. *Marine Pollution Bulletin*, 93, p. 81 – 93. ISSN 0025-326X.
- [33] Talberth, J., Selman, M., Walker, S., Gray, E. 2015: Pay for performance: Optimizing public investments in agricultural best management practices in the Chesapeake Bay watershed. *Ecological Economics*, 118, p. 252 – 261. ISSN 0921-8009.
- [34] Okumah, M., Chapman, P.J., Martin-Ortega, J., Novo, P. 2019: Mitigating agricultural diffuse pollution: Uncovering the evidence base of the awareness – behaviour – water quality pathway. *Water*, 11, No. 1, 29. <https://doi.org/10.3390/w11010029>. ISSN 2073-4441.

# Kvalita sedimentov vo vodárenských nádržiach na Slovensku

Ing. Pavel Hucko, CSc., Ing. Vladimír Roško, Ing. Ladislav Babej  
Výskumný ústav vodného hospodárstva

## ÚVOD

Cieľom systematického sledovania kvality sedimentov má byť identifikácia časových zmien prítomných látok v sedimentoch a zhodnotenie potenciálneho rizika ohrozenia prírodzenej rovnováhy vo vodnom ekosystéme. Zmena environmentálnych podmienok, či už prírodných, alebo antropogénnych, môže silne ovplyvniť správanie toxických prvkov a organických látok, pričom ich synergický účinok môže následne negatívne pôsobiť na celý vodný ekosystém.

Význam riešenia kvalitatívnych vlastností sedimentov podporila aj Európska únia, keď Európsky parlament a Rada vydali 16. decembra 2008 smernicu 2008/105/ES o environmentálnych normách kvality v oblasti vodnej politiky [1]. Podľa tejto smernice by mali členské štáty zlepšiť informovanosť a dostupné údaje o zdrojoch prioritných látok a spôsoboch znečisťovania s cieľom identifikovať možnosti cielených a účinných opatrení. Okrem iného by mali členské štáty podľa potreby a s primeranou frekvenciou monitorovať sediment a biotu a zabezpečiť tak dostatok údajov na vykonanie spoľahlivej analýzy dlhodobého trendu výskytu takých prioritných látok, ktoré majú tendenciu akumulovať sa v sedimente a/alebo v biote.

Na obdobie rokov 2016 – 2021 sa vypracoval *Rámcový program monitorovania vôd Slovenska na roky 2016 – 2021* [2] (ďalej Program). „Program“ nadväzuje na predchádzajúce rámcové programy monitorovania (2008 – 2010, 2010 – 2015) a bol vypracovaný v súlade s požiadavkami národnej a medzinárodnej legislatívy. Vytvára sa tak dostatočná informačná báza na splnenie požiadaviek uvedenej legislatívy. V roku 2016 sa do „Programu“ monitoringu zaradilo sledovanie sedimentov z 23 vodných nádrží [3], medzi ktorými je aj 7 vodárenských nádrží (VN). Tak sa „Program“ dopĺňa o každoročné sledovanie trendov v sedimentoch vodných nádrží. Na sledovanie sa odoberá 1 zmiešaná vzorka sedimentov z odberového miesta, spravidla lokalizovaného pri priehradnom múre (vrchných 10 cm vrstvy sedimentov) z každej nádrže.

Príspevok je zameraný na hodnotenie výsledkov monitorovania kvality sedimentov akumulovaných vo vodárenských nádržiach na Slovensku. Hodnotenie sa urobilo za roky 2016 – 2018 v skupine ukazovateľov stopové prvky a špecifické organické látky.

## MATERIÁL A METÓDY

### ODBERY VZORIEK SEDIMENTOV

Samotný odber vzoriek sedimentov sa riadil požiadavkami noriem ISO 5667 časť 1, 4, 12, 14 a 15 a Guidance document No. 25 [4]. Monitorovanie kvality sedimentov sa vykonávalo

v súlade s článkom 3 ods. 2 smernice 2008/105/ES o environmentálnych normách kvality v oblasti vodnej politiky [1], transponovanej do našej právnej úpravy nariadením vlády SR č. 270/2010 Z. z. [5] a vyhlásky Ministerstva pôdohospodárstva, životného prostredia a regionálneho rozvoja Slovenskej republiky č. 418/2010 Z. z., § 4, ods. 5, bod f [6].

Na účely monitoringu kvality sedimentov vo VN sa odoberala jedna zmiešaná vzorka z miesta lokalizovaného čo najbližšie k priehradnému múru (na úrovni jeho stredu). Zmiešaná vzorka sa vytvorila zo štyroch jednoduchých vzoriek z vrchných 10 cm vrstvy sedimentu. Na odber vzoriek sedimentov sme použili odberové zariadenie CORER 90 od firmy UWITEC v súlade s STN EN 5667-12: 2001 [7]. Zoznam sledovaných VN je zrejmy z tabuliek 1 a 2.

## Spracovanie vzoriek a sledované ukazovatele

Vzorky sedimentov sa odoberali do zodpovedajúcich vzorkovníc. Počas transportu boli vzorky uschované v autochladničke, resp. v izotermnom boxe. Vzhľadom na to, že na analýzu sedimentu sa použila iba frakcia  $\leq 63 \mu\text{m}$ , dovezené vzorky sme precedili zamokra na site veľkosti  $63 \mu\text{m}$ . Získaná frakcia sedimentu sa vysušila pri laboratórnej teplote, rozdrvila v trecej miske a takto pripravená vzorka sa ďalej analyzovala.

Vo vzorkách sedimentov odobraných zo sledovaných VN sa stanovili stopové prvky: arzén (As), kadmium (Cd), celkový chróm ( $\text{Cr}_{\text{celk}}$ ), meď (Cu), ortuť (Hg), nikel (Ni), olovo (Pb), zinok (Zn) a organické látky (polycyklické aromatické uhľovodíky, priemyselné polutanty a prípravky na ochranu rastlín: benzo(a)pyrén, fluorantén, polybromované difenylétery (BDE-28, BDE-47, BDE-99, BDE-100, BDE-153, BDE-154), di-(2-etylhexyl)ftalát (DEHP), dikofol, hexabromcyklododekán (HBCDD), hexachlórbenzén (HCB), heptachlór, heptachlór epoxid, lindan, hexachlórbutadién, polychlóvané bifenyly (kongenéry PCB-8, PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-118, PCB-138, PCB-153, PCB-180, PCB-203, suma PCB), pentachlórbenzén, kyselina perfluóroktán-1-sulfónová a jej deriváty (PFOS), tributylcínový kation (TBT)).

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

### Stopové prvky

Výsledky stanovenia vybraných stopových prvkov v sedimentoch sledovaných VN vo frakcii  $63 \mu\text{m}$  sú uvedené v tabuľke 1. Na účely výpočtov priemernej hodnoty v prípade hodnôt menej ako limit kvantifikácie (LOQ) kadmia sa použila polovica detekčného limitu.

Hodnotenie kvality sedimentov je uvedené len vo vzťahu k absolútnemu obsahu daného prvku a navzájom sú porovnané zistené výsledky. Dôvodom takéhoto hodnotenia je to, že na Slovensku nie sú pre uvedené prvky v sedimentoch stanovené environmentálne normy kvality (ENK).

**Arzén** sa vo vzorkách sedimentov v sledovaných VN vyskytoval v rozsahu od 2,96 mg/kg do 409,0 mg/kg, s priemernou hodnotou 41,99 mg/kg. Najvyššia hodnota arzénu 409,0 mg/kg sa zistila v sedimente z VN Bukovec v roku 2018. Priemernú hodnotu As prekročili aj vzorky sedimentov z VN Bukovec v rokoch 2016 a 2017.

**Kadmium** sa vo vzorkách sedimentov sledovaných VN vyskytovalo v rozsahu od limitu kvantifikácie 0,34 mg/kg (na výpočet pri hodnotách nižších ako LOQ sa použila jeho polovica) do 2,87 mg/kg, s priemernou hodnotou 0,58 mg/kg. Najvyššia hodnota 2,87 mg/kg sa zistila v sedimente z VN Bukovec. Priemernú hodnotu prekročili aj vzorky sedimentov z tejto VN v rokoch 2016 a 2017.

**Celkový chróm** sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytoval v rozsahu od 23,3 mg/kg do 63,0 mg/kg, s priemernou hodnotou 36,63 mg/kg. Maximálna hodnota 63,0 mg/kg sa zistila v sedimente z VN Nová Bystrica v roku 2018. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili ešte sedimenty z VN Starina (všetky tri roky), Nová Bystrica v roku 2016, Turček v roku 2017 a Klenovec v rokoch 2016 a 2017.

**Meď** sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytovala v rozsahu od 19,7 mg/kg do 496,0 mg/kg, s priemernou hodnotou 103,2 mg/kg. Najvyššia hodnota 496,0 mg/kg sa zistila v sedimente z VN Starina v roku 2017. Priemernú hodnotu zo

všetkých VN prekročili ešte sedimenty z VN Bukovec, Turček, Klenovec a Málinec, všetky v roku 2017.

**Ortuť** sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytovala v rozsahu od 0,11 mg/kg do 0,73 mg/kg, s priemernou hodnotou 0,24 mg/kg. Najvyššia hodnota 0,73 mg/kg sa namerala v roku 2016 v sedimente z VN Bukovec. Priemernú hodnotu prekročili výsledky z VN Bukovec v rokoch 2017 a 2018 a sedimenty z VN Turček a Klenovec, obidva v roku 2017.

**Nikel** sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytoval v rozsahu od 25,1 mg/kg do 750,0 mg/kg, s priemernou hodnotou 145,23 mg/kg. Najvyššia hodnota 750,0 mg/kg bola v sedimente z VN Hriňová v roku 2017. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili sedimenty z VN Starina, Bukovec, Turček, Klenovec a Málinec, všetky v roku 2017.

**Olovo** sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytovalo v rozsahu od 20,0 mg/kg do 109,0 mg/kg, s priemernou hodnotou 39,34 mg/kg. Najvyššia hodnota 109,0 mg/kg sa zistila v sedimente z VN Bukovec v roku 2018. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili sedimenty z VN Bukovec v rokoch 2016 a 2017 a Málinec v roku 2017.

**Zinok** sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytoval v rozsahu od 129,0 mg/kg do 1 700,0 mg/kg, s priemernou hodnotou 445,14 mg/kg. Najvyššia hodnota 1 700,0 mg/kg bola v sedimente z VN Turček v roku 2017. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili sedimenty z VN Hriňová v rokoch 2017 a 2018, ďalej Starina, Bukovec, Klenovec a Málinec, všetky v roku 2017.

Maximálne hodnoty sledovaných stopových prvkov sa zistili v 5 vodárenských nádržiach, a to VN Starina (meď), VN

Tab. 1 Výskyt stopových prvkov v sedimentoch VN v rokoch 2016 – 2018

Vodárenská nádrž/rok	As	Cd	Cr <sub>celk</sub>	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Jednotka	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Starina 2016	8,64	< 0,35	39,3	47,6	0,12	54,8	20,9	132,0
Starina 2017	9,65	< 0,34	62,7	<b>496,0</b>	0,16	178,0	21,9	1 071,0
Starina 2018	9,52	0,30	48,4	87,9	0,16	82,1	21,8	254,0
Bukovec 2016	121,0	2,35	24,2	39,6	<b>0,73</b>	98,6	98,6	232,0
Bukovec 2017	185,0	1,98	23,3	230,0	0,65	243,0	93,2	1 192,0
Bukovec 2018	<b>409,0</b>	<b>2,87</b>	23,6	54,6	0,68	112,0	<b>109,0</b>	339,0
Nová Bystrica 2016	5,29	< 0,35	54,3	47,9	0,14	51,8	25,4	129,0
Nová Bystrica 2017	7,48	< 0,34	31,9	54,4	0,18	47,5	20,0	171,0
Nová Bystrica 2018	7,72	0,34	<b>63,0</b>	85,5	0,11	54,6	20,8	195,0
Turček 2016	6,0	0,44	23,7	25,7	0,16	37,9	33,2	167,0
Turček 2017	11,7	0,45	42,3	234,0	0,25	397,0	38,2	<b>1 700,0</b>
Turček 2018	7,47	0,43	30,4	52,9	0,12	90,4	23,5	218,0
Hriňová 2016	2,96	< 0,35	25,7	19,7	0,12	25,1	30,4	147,0
Hriňová 2017	7,06	< 0,34	28,3	87,0	0,18	<b>750,0</b>	24,9	661,0
Hriňová 2018	8,54	0,44	24,9	65,9	0,17	59,7	32,6	458,0
Klenovec 2016	8,24	< 0,34	41,3	23,7	0,13	48,2	35,8	138,0
Klenovec 2017	13,2	< 0,34	41,5	218,0	0,30	378,0	35,2	690,0
Klenovec 2018	13,7	0,37	35,0	30,7	0,12	59,60	28,0	357,0
Málinec 2016	12,7	< 0,34	35,2	25,0	0,17	40,6	31,0	165,0
Málinec 2017	11,9	< 0,34	35,4	183,0	0,17	199,0	43,2	585,0
Málinec 2018	15,1	0,49	34,8	58,2	0,14	42,0	38,6	347,0
Minimum	2,96	0,34	23,3	19,7	0,11	25,1	20,0	129,0
<b>Maximum</b>	<b>409,0</b>	<b>2,87</b>	<b>63,0</b>	<b>496,0</b>	<b>0,73</b>	<b>750,0</b>	<b>109,0</b>	<b>1 700,0</b>
Priemer	41,99	0,58*	36,63	103,2	0,24	145,23	39,34	445,14

Poznámka: \*Pri výpočte priemerných hodnôt sa použila hodnota polovice limitu kvantifikácie.

Bukovec (arzén, kadmium, ortuť a olovo), VN Nová Bystrica (celkový chróm), VN Turček (zinok) a VN Hriňová (nikel).

## Organické látky

Výsledky stanovenia vybraných organických látok v sedimentoch sledovaných VN vo frakcii  $\leq 63 \mu\text{m}$  sú uvedené v tab. 2. Rovnako ako pri stopových prvkoch sa pri výpočte priemernej hodnoty v prípade hodnôt menej ako limit kvantifikácie použila polovica tohto limitu.

**Fluorantén** sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytoval v rozsahu od limitu kvantifikácie  $<0,02 \text{ mg/kg}$  do  $1,911 \text{ mg/kg}$ , s priemernou hodnotou  $0,206 \text{ mg/kg}$ . Maximálna hodnota  $1,911 \text{ mg/kg}$  bola v sedimente z VN Nová Bystrica v roku 2018. Priemernú hodnotu prekročili sedimenty z VN Nová Bystrica v roku 2017 a Bukovec v roku 2018.

**DEHP (di-(2-etylhexyl)ftalát)** sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytoval v rozsahu od limitu kvantifikácie  $<0,4 \text{ mg/kg}$  do  $7,223 \text{ mg/kg}$ , s priemernou hodnotou  $2,064 \text{ mg/kg}$ . Maximálna hodnota  $7,223 \text{ mg/kg}$  sa zistila v sedimen-

Tab. 2 Výskyt organických látok v sedimentoch VN rokoch 2016 – 2018

Vodárenská nádrž/rok	Benzo(a)pyrén (mg/kg)	Fluorantén (mg/kg)	DEHP (di-(2-etylhexyl)ftalát) (mg/kg)	Dikofol ( $\mu\text{g/kg}$ )	Hexachlórbenzén ( $\mu\text{g/kg}$ )	Heptachlór ( $\mu\text{g/kg}$ )	Lindan ( $\mu\text{g/kg}$ )	Pentachlórbenzén ( $\mu\text{g/kg}$ )	TBT ( $\mu\text{g/kg}$ )
Starina 2016	< 0,02	< 0,02	0,861	< 0,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 0,1
Starina 2017	0,043	0,073	< 0,4	< 0,5	< 2,5	3,8	< 2,5	< 2,5	< 0,1
Starina 2018	0,021	0,095	1,116	N	19,7	30,7	15,9	4,1	< 0,1
Bukovec 2016	< 0,02	< 0,02	5,627	2,76	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 0,1
Bukovec 2017	0,061	0,106	0,420	< 0,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 0,1
Bukovec 2018	0,057	0,222	1,943	N	< 2,5	5,7	7,2	< 2,5	< 0,1
Nová Bystrica 2016	0,184	0,056	1,570	1,35	< 2,5	32,1	< 2,5	8,6	< 0,1
Nová Bystrica 2017	0,328	0,750	0,598	< 0,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 0,1
Nová Bystrica 2018	<b>0,782</b>	<b>1,911</b>	< 0,4	N	<b>20,0</b>	<b>60,0</b>	<b>39,4</b>	<b>16,5</b>	< 0,1
Turček 2016	0,041	< 0,02	1,180	1,58	< 2,5	14,4	5,1	< 2,5	< 0,1
Turček 2017	0,046	0,126	4,118	< 0,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	<b>0,52</b>
Turček 2018	0,021	0,108	2,531	N	5,0	6,2	7,4	9,7	< 0,1
Hriňová 2016	0,051	< 0,02	< 0,4	1,40	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 0,1
Hriňová 2017	0,040	0,124	3,715	< 0,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	0,21
Hriňová 2018	0,022	0,093	3,867	N	3,7	19,1	21,3	7,4	< 0,1
Klenovec 2016	0,037	< 0,02	< 0,4	1,71	< 2,5	4,2	7,4	< 2,5	< 0,1
Klenovec 2017	0,034	0,086	1,647	< 0,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	8,8	< 0,1
Klenovec 2018	< 0,02	0,070	<b>7,223</b>	N	5,9	< 2,5	6,6	5,7	< 0,1
Málinec 2016	0,036	< 0,02	0,860	2,41	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	0,20
Málinec 2017	0,026	0,156	3,190	<b>3,60</b>	< 2,5	< 2,5	< 2,5	7,4	0,40
Málinec 2018	0,023	0,097	2,079	N	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 0,1
Minimum	< 0,02	< 0,02	< 0,4	< 0,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 0,1
<b>Maximum</b>	<b>0,782</b>	<b>1,911</b>	<b>7,223</b>	<b>3,60</b>	<b>20,0</b>	<b>60,0</b>	<b>39,4</b>	<b>16,5</b>	<b>0,52</b>
Priemer*	0,090	0,206	2,064	1,183	3,538	9,105	6,026	4,021	0,104
Limit kvantifikácie	< 0,02	< 0,02	< 0,4	< 0,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 0,1

Poznámka: \*Pri výpočte priemerných hodnôt sa použila hodnota polovice limitu kvantifikácie N – nestanovené.

Hodnotenie kvality sedimentov v sledovaných VN je uvedené len vo vzťahu k absolútnemu obsahu danej organickej látky, navzájom sú porovnané zistené výsledky. Neuvádzame látky, ktoré sa počas celého obdobia sledovania vyskytovali pod limitom kvantifikácie.

**Benzo(a)pyrén** sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytoval v rozsahu od limitu kvantifikácie  $<0,02 \text{ mg/kg}$  do  $0,782 \text{ mg/kg}$ , s priemernou hodnotou  $0,090 \text{ mg/kg}$ . Maximálna hodnota  $0,782 \text{ mg/kg}$  sa zistila v sedimente z VN Nová Bystrica v roku 2018. Priemernú hodnotu prekročili ešte výsledky zistené v tejto VN v rokoch 2016 a 2017.

te z VN Klenovec v roku 2018. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili sedimenty z VN Bukovec v roku 2016, Turček, Hriňová a Málinec, všetky v rokoch 2017 a 2018.

**Dikofol** sa v sedimentoch VN sledoval v rokoch 2016 a 2017. Vyskytoval sa v rozsahu od limitu kvantifikácie  $<0,5 \mu\text{g/kg}$  do  $3,60 \mu\text{g/kg}$ , s priemernou hodnotou  $1,183 \mu\text{g/kg}$ . Maximálna hodnota  $3,6 \mu\text{g/kg}$  bola v sedimente z VN Málinec v roku 2017. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili sedimenty z VN Málinec, Bukovec, Nová Bystrica, Turček, Hriňová, Klenovec a Málinec, všetky v roku 2016.

**Hexachlórbenzén** sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytoval v rozsahu od limitu kvantifikácie <2,5 µg/kg do 20,0 µg/kg, s priemernou hodnotou 3,538 µg/kg. Maximálna hodnota 20,0 µg/kg sa namerala v sedimente z VN Nová Bystrica v roku 2018. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili sedimenty z VN Starina, Hriňová a Klenovec, všetky v roku 2018.

**Heptachlór** sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytoval v rozsahu od limitu kvantifikácie <2,5 µg/kg do 60,0 µg/kg, s priemernou hodnotou 9,105 µg/kg. Maximálna hodnota 60,0 µg/kg bola v sedimente z VN Nová Bystrica v roku 2018. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili sedimenty z VN Nová Bystrica v roku 2016, Starina v roku 2018, Turček v roku 2016 a Hriňová v roku 2018.

**Lindan** sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytoval v rozsahu od limitu kvantifikácie <2,5 µg/kg do 39,4 µg/kg, s priemernou hodnotou 6,026 µg/kg. Maximálnu hodnotu 39,4 µg/kg mal sediment z VN Nová Bystrica v roku 2018. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili sedimenty z VN Klenovec v rokoch 2016 a 2018, ďalej Starina, Bukovec, Turček a Hriňová, všetky v roku 2018.

**Pentachlórbenzén** sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytoval v rozsahu od limitu kvantifikácie <2,5 µg/kg do 16,5 µg/kg, s priemernou hodnotou 4,021 µg/kg. Maximálna hodnota 16,5 µg/kg sa zistila v sedimente z VN Nová Bystrica v roku 2018. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili sedimenty z VN Bukovec v roku 2018, Nová Bystrica v roku 2016, Turček v roku 2018, Hriňová v roku 2018, Klenovec v rokoch 2017 a 2018 a Málinec v roku 2017.

**Tributylcínový kation (TBT)** sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytoval v rozsahu od limitu kvantifikácie <01 µg/kg do 0,52 µg/kg, s priemernou hodnotou 0,104 µg/kg. Maximálna hodnota 0,52 µg/kg bola v sedimente VN Turček v roku 2017. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili sedimenty z VN Hriňová v roku 2017 a Málinec v rokoch 2016 a 2017.

Z hľadiska výskytu **maximálnych hodnôt** sme zistili, že maximálne hodnoty sledovaných organických látok mali štyri

vodárenské nádrže, a to VN Nová Bystrica (benzo(a)pyrén, fluorantén, hexachlórbenzén, heptachlór, lindan a pentachlór), Turček (TBT), Klenovec (DEHP) a Málinec (dikofol).

## ZÁVER

V predložennom príspevku sú vyhodnotené výsledky monitoringu sedimentov akumulovaných vo vodárenských nádržiach, zaradených do *Rámcového programu monitorovania vôd Slovenska na obdobie rokov 2016 – 2021* z hľadiska výskytu stopových prvkov a organických látok na sledovanie trendov.

V zmysle prijatej metodiky sa odobrala jedna zmiešaná vzorka sedimentov z odberového miesta spravidla pri priehradnom múre (vrchných 10cm vrstvy sedimentov) z každej vodárenskej nádrže. Z odobranej vzorky sa odseparovala frakcia ≤63 µm, ktorá sa následne analyzovala.

Vzhľadom na absenciu environmentálnych noriem kvality (ENK) pre sedimenty na Slovensku zatiaľ vychádza hodnotenie získaných výsledkov z ich vzájomného porovnania.

Výskyt **maximálnych hodnôt** sledovaných stopových prvkov ukazuje, že maximálne hodnoty malo 5 vodárenských nádrží, a to VN Starina (meď), Bukovec (arzén, kadmium, ortuť a olovo), Nová Bystrica (celkový chróm), Turček (zinok) a Hriňová (nikel).

Výskyt **maximálnych hodnôt** sledovaných organických látok ukazuje, že maximálne hodnoty sa zistili v štyroch vodárenských nádržiach, a to VN Nová Bystrica (benzo(a)pyrén, fluorantén, hexachlórbenzén, heptachlór, lindan a pentachlór), Turček (TBT), Klenovec (DEHP) a Málinec (dikofol).

## POĎAKOVANIE

Sledovanie sedimentov sa uskutočnilo v rámci projektu Výskumného ústavu vodného hospodárstva v Bratislave *Monitorovanie a hodnotenie stavu vôd Slovenska – III. etapa* (kód projektu 310011A3665001) z Operačného programu kvalita životného prostredia.

## Literatúra:

- [1] Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2008/105/ES zo 16. decembra 2008 o environmentálnych normách kvality v oblasti vodnej politiky, o zmene a doplnení a následnom zrušení smerníc Rady 82/176/EHS, 83/513/EHS, 84/156/EHS, 84/491/EHS a 86/280/EHS a o zmene a doplnení smernice Európskeho parlamentu a Rady 2000/60/ES (Ú. v. EÚ L 348, 24.12.2008, s. 84).
- [2] Košovský, P. a kol.: *Rámcový program monitorovania vôd Slovenska na obdobie rokov 2016 – 2021*. Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava, december 2015. [http://www.vuvh.sk/rsv2/download/02\\_Dokumenty/26\\_Ramcovy\\_program\\_monitorovania\\_vod/RPM\\_2016\\_2021.pdf](http://www.vuvh.sk/rsv2/download/02_Dokumenty/26_Ramcovy_program_monitorovania_vod/RPM_2016_2021.pdf).
- [3] Košovský, P. a kol.: *DODATOK k Rámcovému programu monitorovania vôd Slovenska na obdobie rokov 2016 – 2021 na rok 2017*. Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava, december 2016. <http://www.vuvh.sk/rsv2/default.aspx?pn=RPMV2PODOD2016>.
- [4] Guidance document No: 25 on Chemical monitoring of sediment and biota under the Water Framework Directive. Technical Report – 2010.3991. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2010.
- [5] Nariadenie vlády SR č. 270/2010 Z. z. z 25. mája 2010 o environmentálnych normách kvality v oblasti vodnej politiky.
- [6] Vyhláška Ministerstva pôdohospodárstva, životného prostredia a regionálneho rozvoja Slovenskej republiky č. 418/2010 Z. z. z 14. októbra 2010 o vykonaní niektorých ustanovení vodného zákona.
- [7] STN EN 5667-12: 2001 Kvalita vody. Odber vzoriek. Časť 12: Pokyny na odber dnových sedimentov.







# Optimální návrh zásobního objemu nádrže v podmínkách nejistot vstupních dat

Ing. Stanislav Paseka

Ústav vodního hospodářství krajiny Vysoké učení technické v Brně

## Anotácia

Cílem příspěvku je nalézt optimální zásobní objem nádrže Vír pro předem stanovenou zabezpečenost podle trvání v podmínkách nejistot a také, jak zohlednit výsledné nejistoty při prezentaci výsledků. Nejistoty datových vstupů (přítoky vody do nádrže, batygrafie, výpar z vodní hladiny a průsak hrází) byly aplikovány metodou Monte Carlo. Dále byl vytvořen simulačně-optimalizační model nádrže a použita mřížková metoda. Výsledky jsou prezentovány na základě statistických charakteristik.

## ÚVOD

Změna klimatu a přerozdělení ročních srážek jsou příčinou častějšího výskytu hydrologických extrémů v podobě povodní a především sucha. Nejnaléhavějším problémem však je, že hodnoty dlouhodobých průměrných toků se v řekách snižují, stejně jako kapacita zdrojů podzemních vod. Suchá období se u nás ve větší míře začala objevovat přibližně od roku 2011 [29] a přetrvávají, ba dokonce prohlubují se dodnes. Necitlivé zásahy do krajiny v kombinaci s působením klimatické změny, která s sebou přináší zvýšené riziko výskytů dlouho trvajícího období sucha, mají negativní vliv na vodní režim v krajině. V budoucnu se předpokládá, že hodnota dlouhodobého průměrného průtoku může klesnout k hodnotě 0,8 až 0,6  $Q_a$  [13]. Mimoto, další vývoj do následujících let s ohledem na četnosti a délky suchých období není příliš optimistický, a to ani v případě, kdyby se odhady z klimatických modelů plně neprojeví. Současná změna klimatu je vážným tématem a její dopad na hospodaření s vodou v Česku musí být podrobně řešen. Tato otázka se stává stále více a více diskutována ve veřejných sdělovacích prostředcích, mezi odborníky i na politické úrovni.

Je známo, že úhrny srážek jsou jediným zdrojem vody pro naši krajinu, protože z pohledu odtokových poměrů jsme označovány za střechu Evropy. Do Česka tedy nepřítékají žádné významnější vodní toky, a proto Česko musí hospodařit s velmi omezenými vodními zdroji. V našich podmínkách se musíme zaměřit na zvyšování retenční schopnosti vody v krajině. Vláda České republiky vydala několik strategických dokumentů o adaptaci na změnu klimatu [8], [9] a [10], které vznikly spoluprací výzkumných ústavů s Ministerstvem životního prostředí ČR. Tyto dokumenty ukazují na dosažení cílů ochrany před negativními dopady sucha. Jedním z nich je např. adaptační opatření vedoucí k optimalizaci objemů stávajících vodních nádrží. Jinými slovy, je nezbytné navyšovat nebo přerozdělovat stávající prostory vody v nádržích, resp. provádět revize manipulačních řádů nádrží novelizací normy ČSN 75 2405 [4]. Právě při probíhajících suchých obdobích byly vodní toky pod nádržemi s dostatečným zásobním prostorem výrazně dotovány a byl zajištěn alespoň minimální zůstatkový průtok.

V současné praxi se při vodohospodářských výpočtech ať už s nejistotami změn klimatu nebo s nejistotami měření příliš neseťkáváme. Zohlednění nejistot však může výsledky ovlivňovat, protože při řešení deterministickou metodou nastávají značné ztráty přesnosti na úkor jednoduchosti řešení. Proto výzkumy vedoucí ke zdokonalování návrhů u plánovaných nebo přerozdělení stávajících prostorů vody u nádrží v podmínkách nejistot jsou žádané, důležité, ale hlavně aktuální. Nejistoty z pohledu dnešního poznání byly nejprve popsány v práci *Risk, uncertainty, and Profit* [16]. Koncept nejistoty je v současné době vnímán z více hledisek, a to jako nejistoty, rizika a nejistoty měření. Nejistotu také lze klasifikovat do dvou kategorií [14] z anglického aleatoric uncertainty, v ČR uvažovanou jako nejistota, a epistemic uncertainty jako neurčitost.

Nejistoty měření se do běžné praxe kalibračních laboratoří dostaly až v roce 1990 vydáním dokumentu WECC 19/90 Západoevropským kalibračním sdružením [28], ve kterém jsou definovány předpisy pro nejistoty. Po něm následovaly další předpisy, jako *Směrnice pro vyjadřování nejistoty při měření* [6], kde je položena základní definice a teorie nejistoty měření, dále *Metodika vyjadřování nejistot při kalibracích* [5] nebo rozšiřující dokument [7], který se věnuje distribuci a propagaci nejistot měření využitím simulace Monte Carlo. Vstupem do Evropské unie se ČR zavázala dodržet zmíněné dokumenty, které definovaly zcela nový pohled na chyby vzniklé měřením a také jejich nové pojetí. Základem bylo nahrazení názvosloví novým pojmem nejistoty měření. Z dokumentů byly sestaveny mezinárodní směrnice a normové předpisy, které jsou pro EU včetně ČR závazné. Český překlad má název *Stanovení nejistot při měřeních* [11]. Aplikace nejistot v hydrologii byly popsány metodou GLUE [1]. Teorii na aplikaci nejistot do obecných vodohospodářských výpočtů je mnoho a jsou zkoumány po celém světě. Zavedení nejistot vstupních hydrologických a technických parametrů do výpočtů lze provádět např. metodou Monte Carlo.

V nejnovějších publikacích zkoumajících rizika a vliv nejistoty na zásobní objem nádrže s využitím Monte Carlo simulace, chronologicky viz [27], [21], [3], [18], [24] a [20], bylo potvrzeno, že vstupní nejistoty mají vliv na velikosti zásobního prostoru, ale i na výslednou zabezpečenost nalepšeného odtoku.

Cílem příspěvku je nalézt optimální zásobní objem nádrže Vir 1 pro předem stanovený zabezpečený odtok vody z nádrže za podmínek nejistoty měření. Příspěvek se zabývá nejistotami měření na vstupních hydrologických, morfologických a provozních dat. Pro tento účel byl vyvinut simulačně-optimizační model nádrže a byla použita zabezpečenost podle trvání. V modelu byla použita optimalizační mřížková metoda. Použitím vhodné metodiky a aktualizovaných vstupních dat tato metoda umožní navrhnout optimální zásobní objem nádrže za podmínek nejistoty vstupních dat včetně ztrát vody z nádrže.

## METODY

### Metoda Monte Carlo

Pro generování nejistotou zatížených vstupních hydrologických a provozních parametrů je pro zavedení nejistoty všech vstupních veličin do výpočtů použito metody Monte Carlo, která je metodou stochastickou. Metoda Monte Carlo potřebuje pro generování dat generátor pseudonáhodných čísel, který je základem simulačních programů. Kvalitní generátory mají konstantní hustotu pravděpodobnosti generovaných pseudonáhodných čísel, tzv. bílý šum. Mezi vygenerovanými náhodnými čísly potom neexistuje žádná závislost, to znamená, že je nulová autokorelační funkce. Náhodná čísla jsou generována se stejnou pravděpodobností. Obecný postup pro

$X$ , vzniklé z měření naprosto náhodně a nezávisle na sobě. Veličina  $X_i$  je tedy náhodnou a nezávislou na hodnotě  $X_{i-1}$  a  $X_{i+1}$ . Náhodné generované veličiny  $X_i$  jsou výsledkem většího počtu vzájemně nezávislých jevů, což umožňuje popsat vstupní hodnotu odpovídajícím normálním rozdělení pravděpodobnosti  $N(\mu(X), \sigma(X))$ . Zavedení normálního rozdělení pravděpodobnosti umožňuje zadávat v okolí výsledné hodnoty náhodné veličiny pomocí střední hodnoty  $\mu(X)$  jako naměřená hodnota a směrodatné odchylky  $\sigma(X)$  jako standardní nejistota. Při výpočtech je uvažováno pouze s tzv. standardní nejistotou měření typu B  $u_B X$ . Na závěr je zavedeno zjednodušení, kdy je standardní nejistota měření  $u_B X$  zaváděna pomocí relativní hodnoty tzv. koeficientu variace  $C_v(X)$ , viz rovnice (1)

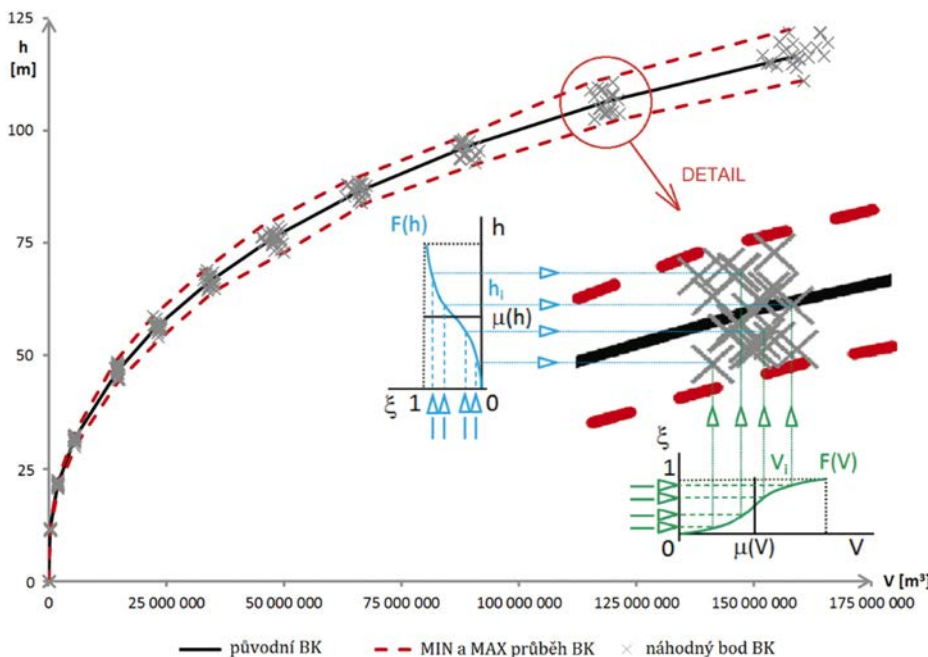
$$C_v(x) = \frac{\sigma(x)}{\mu(x)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - \mu(x))^2}{(n-1)}}, \quad \text{pro } k_i = \frac{x_i}{\mu(x)}, \quad (1)$$

kde  $x_i$  jsou prvky náhodného výběru a  $n$  je počet prvků náhodného výběru.

Podstatou generátoru náhodných řad je opakované použití metod Monte Carlo. Následně jsou ke každé střední hodnotě  $m_i(X)$  vytvořeny distribuční křivky  $F_i(X)$  normálního normovaného rozdělení pravděpodobnosti  $N(\mu(X), \sigma(X))$  pro  $t = 1, 2, \dots, PP$ , kde  $PP$  je celkový počet prvků (např. celkový počet průměrných měsíčních přítoků nebo celkový počet bodů čar zatopených objemů  $V(h)$ ). Použitím generátoru pseudonáhodných čísel, který generuje náhodná čísla z intervalu  $\xi \in (0,1)$ , jsou opakovaně generovány náhodné průběhy řady prvků  $X_{t,i}$  označovány jako náhodné polohy hodnot  $NX_{t,i}$  v intervalu zadané nejistoty pro  $i = 1, 2, \dots, PO$ , kde  $PO$  je celkový počet opakování (generování).

Tento pospaný postup generování náhodných prvků lze uplatnit na všech veličinách vstupujících do vodohospodářského řešení zásobního prostoru nádrže s výjimkou batygrafických křivek nádrže. Pro tento případ, kdy se jedná o 2D souřadnicový systém, je přístup generování částečně odlišný. Základní princip generování náhodných poloh bodů ( $NX_{t,i}, NY_{t,i}$ ) je shodný s teorií popsanou výše. Odlišnost je dána pouze sestavením bodu, který vyžaduje sestavení dvou na sobě nezávislých Monte Carlo generátorů.

Každý generátor sestrojí náhodnou polohu bodu  $NX_{t,i}$  (např. výška vodní hladiny  $Nh_{t,i}$ ) a k ní náhodnou hodnotu  $NY_{t,i}$  (např. objem vody v nádrži  $NV_{t,i}$ ). Společně náhodné polohy dvou bodů pak vytvoří náhodnou souřadnici bodu ( $NX_{t,i}, NY_{t,i}$ ) (např. náhodná souřadnice bodu čáry zatopených objemů ( $NV_{t,i}, Nh_{t,i}$ )). Série náhodných bodů ( $NV_{t,i}, Nh_{t,i}$ ) pak tvoří náhodné čáry zatopených objemů zatížené nejistotami. Na obr. 1 je znázorněn princip generovaných náhodných



Obr. 1 Schéma principu generování náhodných poloh bodů ( $V, h$ ) křivky zatopených objemů pro 2D souřadnicový systém

generování nejistoty metodou Monte Carlo na přítoku vody do nádrže, batygrafických křivkách nádrže, výparu vody z vodní hladiny a na průsaku tělesem hráze je následující.

Pro vytvoření algoritmu, který generuje náhodné řady se zatížením nejistot, jsou zavedeny následující předpoklady. Obecná vstupní hodnota  $X$  vzniklá z měření je považována za náhodnou (stochastickou) veličinu. Tento předpoklad umožňuje generovat nové hodnoty  $X_i$  okolo vstupní hodnoty

2D poloh bodů aplikovaných právě na křivce zatopených objemů.

Tyto generované náhodné soubory slouží jako vstupní hodnoty pro simulační model nádrže, který použitím modeluje chování zásobníku v podmínkách nejistot. Výsledkem opakovaných výpočtů je soubor optimálních zásobních objemů nádrže pro předem stanovenou zabezpečenost podle trvání  $P_T$ .

## Simulačně-optimalizační model nádrže

Tento problém nelze řešit přímo v jedné variantě. Pro stanovení optimálního zásobního objemu nádrže, který je funkcí požadovaného odtoku  $O_p$  a předem známé zabezpečenosti menší než 100%, lze formulovat jako  $V_z = f(O_p, P_T)$  pro  $P_T < 100\%$ , slouží opakované výpočty stanovení zabezpečenosti  $P_T = f(O_p, V_z)$  pro předem daný požadovaný odtok  $O_p$  a zásobní objem  $V_z$ . Pro tuto úlohu byl naprogramován simulačně-optimalizační model nádrže. Software je napsán v programovacím jazyce FORTRAN [22] a k němu bylo vytvořeno uživatelské rozhraní v programu Delphi 7 [2], které uživateli umožní jednoduše nahrávat vstupy, zadávat vstupní nejistoty, nastavovat a provádět výpočty a také přehledně zobrazovat výstupy.

Hledaným parametrem je tedy zásobní objem  $V_z$ , a kritériem je zabezpečenost nádrže, která je stanovena dle manipulačního řádu, ale nižší než 100%. Pro každou volenou hodnotu parametru  $V_z$  se řeší dílčí úloha  $P_T = f(O_p, V_z)$ . Pro tento typ vodohospodářského řešení jsou povoleny poruchy vody z nádrže dle významnosti nádrže. Počáteční podmínkou je plná nádrž v začátku testovaného období a okrajovou podmínkou je řada přítoků vody do nádrže v příslušném časovém kroku a v každém kroku je prováděna bilance mezi požadovaným odtokem  $O_p$  a přítokem vody do nádrže  $Q$ . Dále se testuje omezující podmínka  $\sum(O_p - Q)$ , neboli zda nedojde na konci každého měsíce k vyprázdnění nádrže, resp. voleného objemu nádrže. Pokud ano, tak nastane porucha odtoku vody z nádrže. To znamená, že ve všech měsících, kdy odtok vody  $O_i$  je menší než požadovaný odtok  $O_p$ , nastane porucha v dodávce vody z nádrže. Zaznamená se celkový součet všech poruchových měsíců, celkové množství nedodané vody oproti plánované hodnotě a je vypočtena příslušná zabezpečenost. Jsou známy zabezpečenosti podle opakování, podle trvání a podle množství nedodané vody [26]. Nejpoužívanější u nás je zabezpečenost podle trvání  $P_T$ , která je udávána i v manipulačních řádech nádrží. Obecnou definici zabezpečenosti vodohospodářských systémů postupně popsali [17], poté [15] a [12]. Základem simulačního modelu dílčí úlohy  $P = f(O_p, V_z)$  je upravená rovnice nádrže v součtovém tvaru převedená do následující nerovnosti (2) [26]

$$0 \leq \sum_{i=0}^{k-1} (O_i - Q_i) \Delta t + (O_k - Q_k) \Delta t \leq V_{z,max} \quad (2)$$

kde  $O_i$  je odtok vody z nádrže [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ] v daném měsíci pro  $i = 1, \dots, k$ ;  $Q_i$  je přítok vody do nádrže [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ] v daném měsíci pro  $i = 1, \dots, k$ ;  $\Delta t$  je časový krok výpočtu jeden měsíc a  $V_{z,max}$  je zásobní objem nádrže [ $m^3$ ]. V kroku  $i+1$  hodnota  $O_{i+1}$  nejprve nahrazena hodnotou požadovaného nalepšeného odtoku  $O_p$ . Časový průběh vyčíslované sumy simuluje průběh prázdnění zásobního objemu nádrže po časových krocích

$i = 1, \dots, k$ . Pro  $i = 0$  je třeba za hodnotu sumy zadat počáteční podmínku řešení.

Nerovnost (3) je zleva i zprava omezená. Z levé strany je omezena hodnotou 0, která značí plný zásobní objem a z pravé strany hodnotou  $V_{z,max}$ , která v tomto případě charakterizuje prázdný zásobní objem. Vypočtením hodnoty výrazu je získáno aktuální prázdnění zásobního objemu, které je následně testováno, zda leží v daném intervalu. Pokud ne, je třeba nalézt hodnotu  $O_{i+1}$  tak, že se buď položí výraz pod sumou rovný nule, a tím vznikne jalový odtok, nebo výraz pod sumou se položí rovno  $V_{z,max}$ , kdy tudíž vznikne porucha [26]. Klasifikace poruchy zásobního objemu nádrže pro výpočet zabezpečenosti podle trvání je následující [12]

$$Z_{t,i} = \begin{cases} Z_{t,i} = 1, & O_i > O_p \\ Z_{t,i} = 0, & O_i < O_p \end{cases} \quad (3)$$

kde  $Z_{t,i} = 1$  popisuje stav  $V_z$  nádrže v bezporuchovém (vyhovujícím) časovém kroku výpočtu a  $Z_{t,i} = 0$  popisuje stav  $V_z$  nádrže v poruchovém (nevyhovujícím) časovém kroku výpočtu.

Míra zabezpečenosti nalepšeného odtoku  $O_p$  jako výsledek řízení odtoku je pravděpodobnost, že skutečný odtok z nádrže neklesne pod hodnotu nalepšeného odtoku  $O_p$ . Aplikována je zabezpečenost dle trvání  $P_T$  odvozením z Čegodajeva, kterou lze dopočítat z hodnot  $Z_{t,i}$  (4) [25]

$$P_T = \frac{(\sum_{i=1}^k Z_{t,i}) - 0,3}{k + 0,4} \cdot 100, [\%] \quad (4)$$

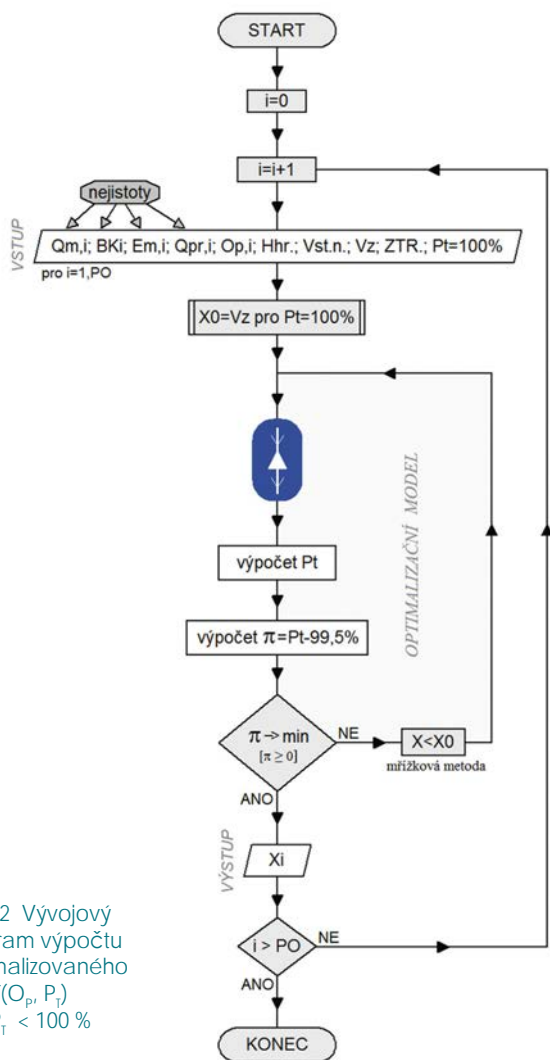
kde je součet záznamů poruchových a bezporuchových měsíců,  $k$  je počet všech měsíců.

Vstupní hodnotou pro řešení úlohy  $V_z = f(O_p, P)$  pro  $P < 100\%$  je nejprve výsledný zásobní objem z úlohy pro stanovení  $V_z$  pro zabezpečenost 100%, tedy bez vzniku poruchy. Poté je volena hodnota parametru (zásobní objem) a opakovaně simulována nová varianta provozu nádrže dle rovnice (2) a následně je vyhodnoceno sledované kritérium  $\pi$  (pokles zabezpečenosti) dle rovnic (3) a (4). Řešením je varianta, ve které se kritérium shoduje s požadovanou hodnotou. V této variantě se volený parametr stává výsledkem řešení. Úloha vede na optimalizaci, ve které je neznámou řešený parametr a kritériem je rozdíl mezi vypočtenou a požadovanou zabezpečeností, který se minimalizuje [26]. Princip výpočtu  $V_z = f(O_p, P_T)$  pro  $P_T < 100\%$  ( $P_T = 99,5\%$  pro významnost nádrže A) je na obr. 2.

Optimalizace je v optimalizačním modelu provedena mřížkovou metodou, viz kapitola 2.3. Vstupním parametrem  $X_0$  je hodnota  $V_z$  pro  $P_T = 100\%$ . Pro urychlení výpočtu byly při snižování parametru  $X$  voleny 4 kroky parametru (4 rozlišovací úrovně). Kritérium  $\pi$ , které je minimalizováno, se určí z aktuálně vypočtené zabezpečenosti podle trvání, od kterého se odečte příslušná zabezpečenost, tedy 99,5%. Abychom zajistili alespoň právě zabezpečenost 99,5%, tak kritérium  $\pi$  musí být  $\geq 0$ .

## Optimalizace mřížkovou metodou

Pro hledání optimálního zásobního objemu nádrže byla použita jednoduchá optimalizační metoda, tzv. jednotná mřížková metoda (klasický simulační model), kdy jsou



Obr. 2 Vývojový diagram výpočtu optimalizovaného  $V_z = f(O_p, P_t)$  pro  $P_t < 100\%$

na přípustných intervalech voleny parametry s pevným krokem. Řešených variant je pak konečný počet, který si lze předem určit. Kombinace hodnot parametrů tak vytváří pravidelnou mřížku v určeném prostoru. Každá kombinace možných parametrů určuje jednu variantu řešení. Výhodou mřížkové metody je to, že je systematicky prohledávaná celá oblast řešení, což umožňuje nalézt vždy globální extrém kritériální funkce. Na druhou stranu je nevýhodou velký počet řešených variant. Přesnost závisí na velikosti kroku změn parametrů. Za účelem snížení času výpočtu (počtu variant) se řešení může provádět nejprve s většími kroky parametrů (na hrubší rozlišovací úrovni), čímž se vymezi přibližně oblast hledaného řešení. Následně se na této vymezené oblasti provede řešení s menšími kroky parametrů (na jemnější rozlišovací úrovni).

### Zavedení ztráty vody z nádrže do vodohospodářského řešení zásobního objemu

Simulační model vodohospodářského řešení zahrnuje ztráty vody výparem z vodní hladiny a průsakem tělesa hráze. K efektivnímu zavedení ztrát do řešení jsou ztrátové průtoky započítány pomocí opakované simulace, jinými slovy,

ve dvou krocích, při kterých je respektována počáteční podmínka řešení simulačního modelu v podobě plné nádrže. Nejprve je proveden výpočet zásobního objemu při požadovaném odtoku  $O_p$  bez uvažování ztrát vody z nádrže. Tím je nalezen maximální objem vody v nádrži vstupující do druhého kroku, který je tvořen z objemu stálého nadržení a zásobního.

Z maximálního objemu vody z prvního kroku se stává počáteční objem pro stanovení počáteční zatopené plochy a výšky vodní hladiny v nádrži. Tyto hodnoty jsou odečteny z batygrafických křivek. Pomocí počáteční hladiny, zatopené plochy a velikosti měsíčního výparu v počátečním měsíci je do počítána hodnota objemu odpařené vody v daném měsíci, která je následně převedena na ztrátový odtok. Dále je k výšce vodní hladiny zjednodušeně stanovena potenciální průsaková plocha tělesa hráze, která slouží ke stanovení ztrátového odtoku průsakem hráze. Výsledné hodnoty ztrátového odtoku vody jsou následně odečteny od hodnoty přítoku vody do nádrže v počátečním měsíci řešení.

Takto upravená hodnota přítoku vody do nádrže, která je snížena o celkový ztrátový odtok, znovu ve druhém kroku vstupuje při daném  $O_p$  do opakovaného výpočtu simulace nádrže. Tím vzniká postupná bilance, kdy je do výpočtu po sobě zahrnuto snižování aktuální hladiny vody v nádrži v každém měsíci vlivem ztrát vody. Uvedený postup je postupně opakován pro všechny měsíce řešeného období.

### Metody pro vyhodnocení

Vygenerované vstupní nejistoty na podkladech do vodohospodářského řešení nádrže poskytují spektra velikostí zásobních objemů obdobně jako spektra odtoků vody z nádrže. Pro vhodnou prezentaci dosažených výsledků jsou výpočty statisticky vyhodnoceny. V této práci byly pro prezentaci výsledků použity střední hodnoty se směrodatnými odchylkami a kvantily na základě [25].

**Střední hodnota** je hodnota prvního obecného momentu značena jako  $\mu(x)$  a patří k tzv. charakteristikám polohy. Metodou momentů je odhad střední hodnoty vyjádřen vztahem (5)

$$\mu(x) \approx \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (5)$$

kde je střední hodnota,  $x_i$  je prvky náhodného výběru a  $n$  je počet prvků náhodného výběru.

**Směrodatná odchylka** se vyjadřuje jako odmocnina z disperse  $D(x)$  neboli rozptylu. Směrodatná odchylka taktéž vychází z druhého centrálního momentu, značí se  $\sigma(x)$  a je vyjádřena jako odmocnina z rozptylu. Metodou momentů je směrodatná odchylka vyjádřena vztahem (6)

$$\sigma(x) = \sqrt{D(x)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu(x))^2}{(n-1)}}. \quad (6)$$

**Kvantil** udává míru polohy rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny. Jinými slovy, kvantily popisují body, ve kterých distribuční funkce náhodné proměnné prochází danou hodnotou. V případě spojitého rozdělení, které má distribuční funkci  $F_x(x)$ , je  $p$ -kvantil  $x_p$  taková hodnota náhodné veličiny  $X$ , pro niž platí, že výskyt hodnot menších než  $x_p$  nastane

pouze s pravděpodobností  $p$ , tj. pro niž je distribuční funkce  $F_x(x_p)$  rovna pravděpodobnosti  $p$  (7)

$$P(X < x_p) = F_x(x_p) = p. \quad (7)$$

## PRAKTICKÁ APLIKACE

Případová studie je aplikována na vodní nádrži Vir I, která leží v povodí řeky Svratky. Tato nádrž, jejímž správcem je Povodí Moravy, s. p., slouží převážně k akumulaci povrchové vody k vodárenským a hydroenergetickým účelům, nalepšení průtoků pro závlahu pod Brnem, zajištění minimálních průtoků a k protipovodňové ochraně. Těleso hráze nádrže Vir I je betonové tížní složené z 26 bloků. Délka hráze v koruně hráze je 390 m. Ode dna vypustě po korunu hráze je celková výška 69 m. Šířka hráze v koruně je 9 m. Celkový objem nádrže  $V$  je 56,193 mil.  $m^3$ . Z toho zásobní objem nádrže  $V_z$  je 44,056 mil.  $m^3$ . Uvedené parametry vychází z platného manipulačního řádu k vodnímu dílu Vir I [19]. Jako podklad sloužila historická časová řada průměrných měsíčních přítoků vody za posledních 66 let, průměrný roční výpar z vodní hladiny je 613 mm, aktuální údaje batygrafických křivek a hodnota průsaku betonové přehrady, která byla odvozena z empirického pozorování od podobných nádrží, konkrétně 0,15  $l \cdot s^{-1}$  na 1 000  $m^2$ .

Dle významnosti nádrže klasifikovaných v ČSN 75 2405 [4] nádrž spadá do kategorie A. Podle manipulačního řádu nádrže Vir I [19] je pro tuto zabezpečení požadovaný odtok  $O_p = 2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Nejprve bylo nutné pro danou zabezpečení najít vyhovující odběry (požadované odtoky) pro aktualizované řady přítoků vody do nádrže.

## VÝSLEDKY A DISKUZE

V tab. 1 jsou nejprve deterministicky a bez vstupních nejistot spočítána zabezpečení podle trvání  $P_T$  včetně uvažování ztrát vody z nádrže pro uvedený požadovaný odtok  $O_p$

Tab. 1 Výsledky zabezpečení  $P_T$  pro měnící se vstupní  $O_p$  na aktualizovaných vstupních datech

$P_T = f(O_p, V_z)$		
$O_p$		$P_T$ se ztrátami
2,5	>>>	98,7759
2,4		99,0283
<b>2,3</b>		<b>99,5331</b>
2,31		99,4036

a stávající zásobní objem nádrže  $V_z$ , tedy úloha typu  $P_T = f(O_p, V_z)$ . Můžeme vidět, že díky aktuální řadě přítoků vody do nádrže je zabezpečení nádrže  $P_T$  výrazně pod hranicí 99,5 %. Z tohoto důvodu byl  $O_p$  postupně snižován, abychom zabezpečili požadovanou zabezpečení  $P_T$  na zmiňovaných 99,5 %.

V tab. 2 je deterministicky a bez nejistot spočítán zásobní objem nádrže  $V_z$  včetně ztrát vody z nádrže pro vypočtený požadovaný odtok  $O_p$  na základě aktuálních dat a pro zabezpečení  $P_T \geq 99,5 \%$ , tedy úloha typu  $V_z = f(O_p, P_T)$  pro  $P_T = 99,5 \%$ . Výsledný optimalizovaný zásobní objem nádrže  $V_z$  by se měl blížit skutečnému objemu nádrže Vir, který je 44,056 mil.  $m^3$ . Na základě optimalizovaného  $V_z$  se skutečným  $V_z$  byl ještě měněn  $O_p$ . Z tab. 2 poté plyne hodnota  $O_p$  pro další výpočty.

Poté byly provedeny analýzy plnění a prázdnění nádrže Vir pro celou řadu přítoku vody do nádrže, jak je znázorněno na obr. 3 pro vstupní konstantní nejistoty  $u_b$  na všech vstupech o velikostech  $u_b = \pm 1$  do  $\pm 7 \%$  a rozdílně dle očekávání. Konkrétně  $u_b$  na přítoku  $\pm 3 \%$ , batygrafických křivkách  $\pm 5 \%$ , na výparu  $\pm 4 \%$  a průsaku hráze  $\pm 3 \%$ . Počet opakování byl vždy nastaven na 300 opakování.

Na průběhách plnění a prázdnění nádrže na obr. 3 jde pěkně vidět nárůst rozptylu možných řešení s rostoucími vstupními nejistotami. Očekávané nastavení vstupních nejistot ovlivnilo průběhy plnění a prázdnění nádrže přibližně jako jednotné nastavení vstupních nejistot  $u_b = \pm 3 \%$ .

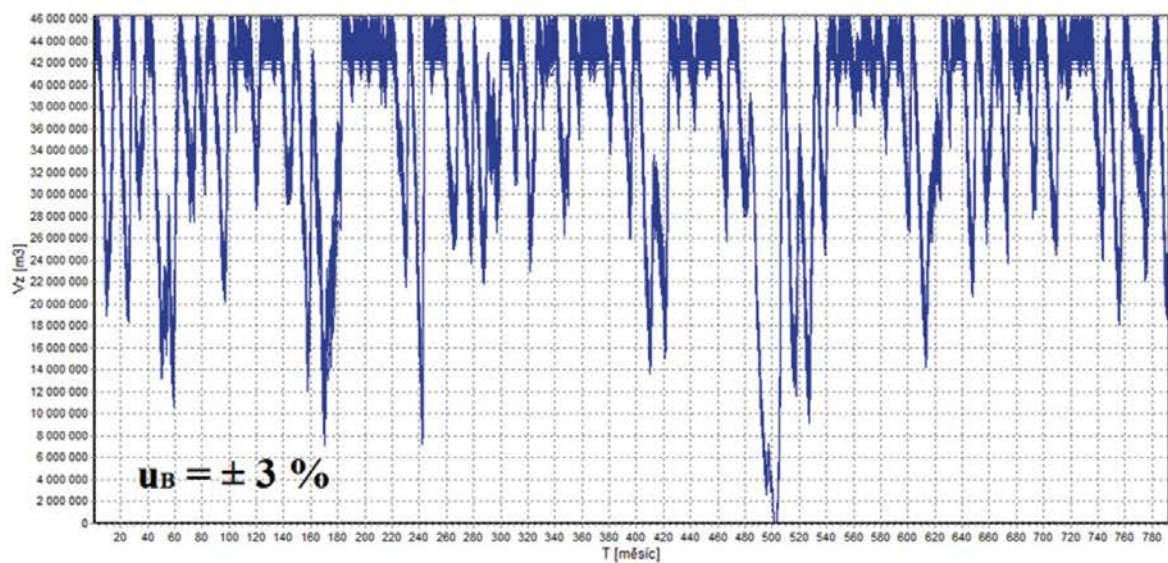
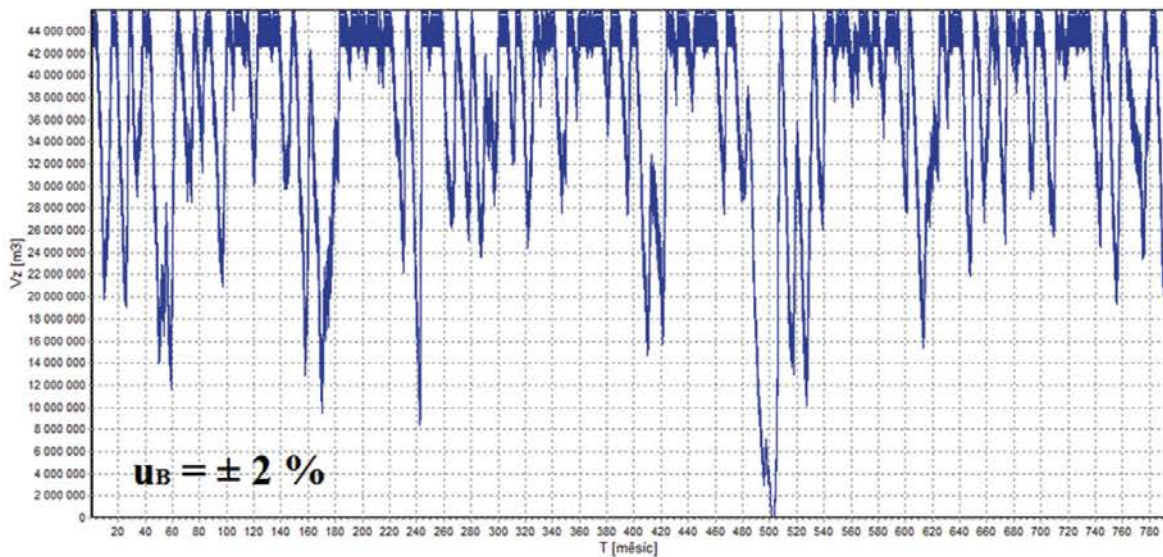
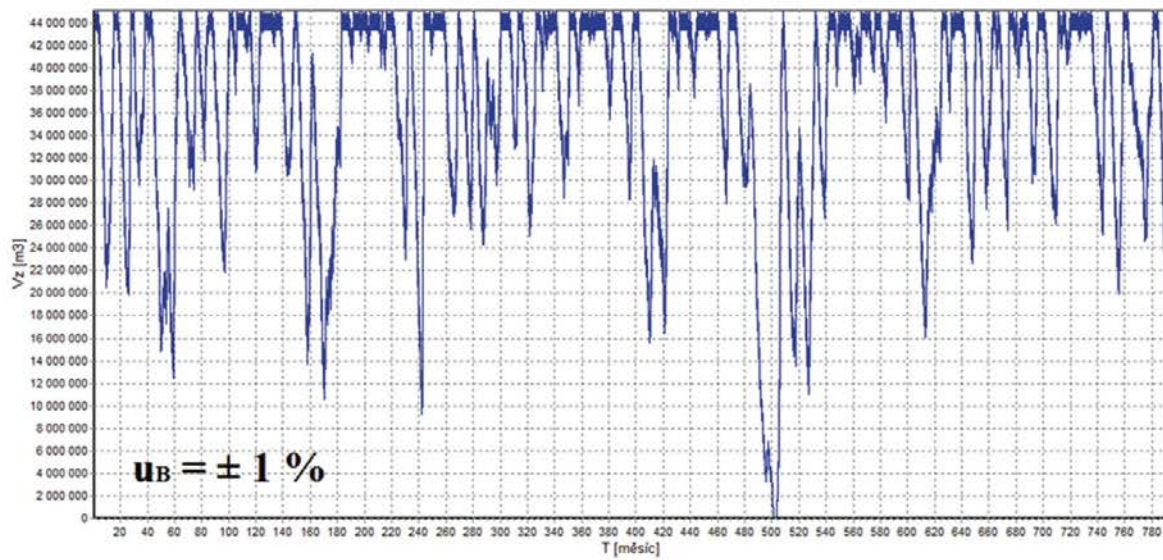
Pro lepší prezentaci byly výsledky statisticky vyhodnoceny. Střední hodnota  $\mu$  pro každý náhodný soubor je považována za výsledek a směrodatná odchylka  $\sigma$  se považuje za standardní nejistotu týkající se konkrétního výsledku. Byla použita celková rozšířená nejistota typu  $U_a$ , která pokrývá 95 % výskytů a odpovídá  $\mu \pm 2\sigma$ . V tab. 3 jsou vypočtené střední hodnoty optimalizovaných zásobních objemů včetně směrodatných odchylek. Dále jsou tyto výsledky vyhodnoceny formou přičtení horní a dolní meze koeficientem rozšíření  $k = 2,0$ . V posledním řádku je ještě uveden 95 % kvantil optimalizovaného zásobního objemu nádrže Vir.

Tab. 2 Výsledky  $O_p$  pro měnící se vstupní  $O_p$  a  $P_T \geq 99,5 \%$  na aktualizovaných vstupních datech

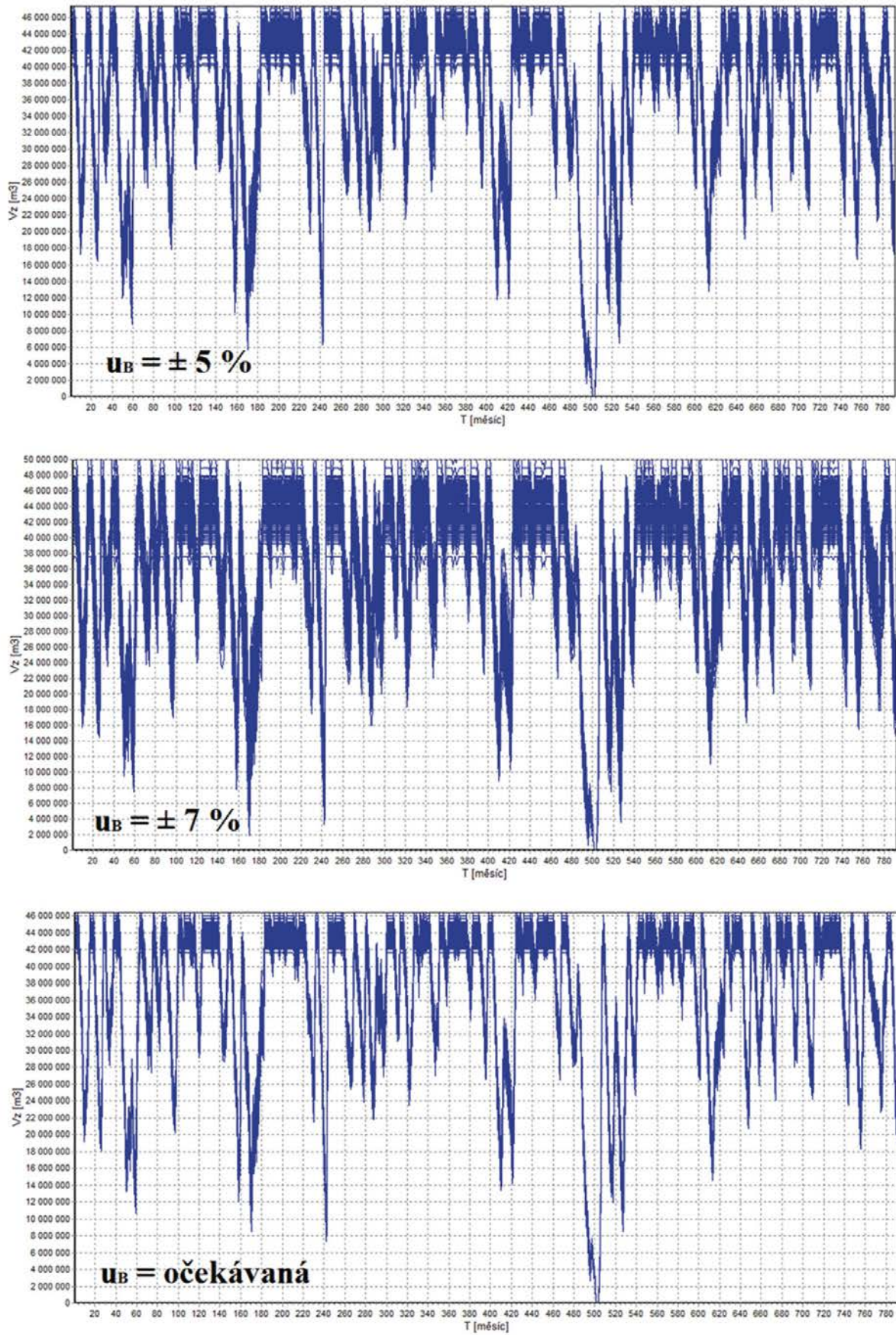
$V_z = f(O_p, P_T)$ pro $P_T \geq 99,5 \%$		
$O_p$		$V_z$ se ztrátami
2,3	>>>	43 657 000
2,31		44 371 700
<b>2,305</b>		<b>44 069 000</b>

Tab. 3 Výsledky analýzy optimálních zásobních objemů  $V_z$  nádrže Vir

[ $m^3$ ]	$u_b = \pm 0 \%$	$u_b = \pm 1 \%$	$u_b = \pm 2 \%$	$u_b = \pm 3 \%$	$u_b = \pm 5 \%$	$u_b = \pm 7 \%$	$u_b$ očekávaná
$\mu$ ( $V_z$ )	44 069 000	44 098 652	44 121 960	44 154 544	44 010 168	44 078 572	44 148 504
$\pm 1\sigma$ ( $V_z$ )	0	272 673	568 784	813 790	1 287 298	1 979 462	810 862
$\pm 2\sigma$ ( $V_z$ )	0	545 346	1 137 567	1 627 581	2 574 596	3 958 923	1 621 724
$V_z$ dolní $2\sigma$ ( $V_z$ )	44 069 000	43 553 306	42 984 393	42 526 963	41 435 572	40 119 649	42 526 780
$V_z$ horní $2\sigma$ ( $V_z$ )	<b>44 069 000</b>	<b>44 643 998</b>	<b>45 259 527</b>	<b>45 782 125</b>	<b>46 584 764</b>	<b>48 037 495</b>	<b>45 770 228</b>
95% kvantil $V_z$	<b>44 069 000</b>	<b>44 673 900</b>	<b>45 114 800</b>	<b>45 496 700</b>	<b>46 569 400</b>	<b>47 560 700</b>	<b>45 628 200</b>

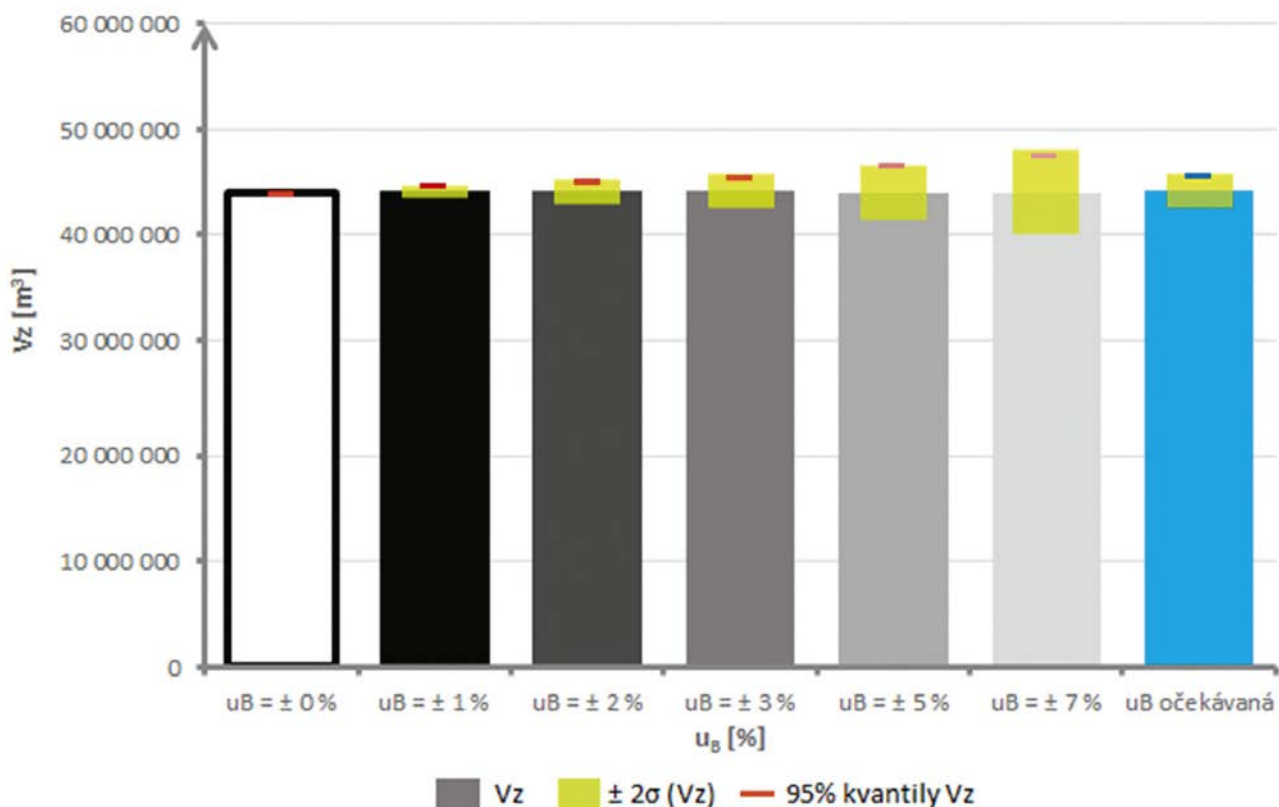


Obr. 3a Průběhy plnění a prázdnění optimalizovaného zásobního objemu  $V_z$  nádrže Vir pro  $u_b = \pm 1, \pm 2, \pm 3$



Obr. 3b Průběhy plnění a prázdnění optimalizovaného zásobního objemu  $V_z$  nádrže Vir pro vstupní nejistotu  $u_B$  očekávanou a konstantní  $\pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 5, \pm 7\%$





Obr. 4 Sloupcový graf výsledných optimalizovaných zásobních objemů  $\mu(V_z)$  nádrže Vír pro  $\pm 2\sigma$  ( $V_z$ ) a 95 % kvantilů testovaných vstupních nejistot  $u_B$

Pro očekávané nejistoty vstupních dat je výsledný optimalizovaný zásobní objem nádrže  $44,1485 \text{ mil. m}^3 \pm 1,6217 \text{ mil. m}^3$  pro 95 % pravděpodobnostní pokrytí neboli výsledek leží v intervalu  $\{42\,526\,780; 45\,770\,228\}$ . Na stranu bezpečnou je žádoucí při stochastickém řešení uvažovat s výsledným horním intervalem, tedy s vyšším zásobním objemem. Vyjádření 95 % kvantilem je výsledný optimalizovaný objem  $45,6282 \text{ mil. m}^3$ , v porovnání s horním kvantilem je tato hodnota  $V_z$  o 0,31 % nižší. Relativně bezpečná, a tedy doporučena výsledná hodnota zásobního objemu Vír z této analýzy, je  $45,770 \text{ mil. m}^3$ . Na základě aktualizované vstupní řadě přítoků vody do nádrže a zavedení vstupních nejistot včetně uvažování ztrát vody z nádrže je doporučeno navýšení stávajícího zásobního objemu nádrže Vír o téměř 3,9 %, přesně o  $1,714 \text{ mil. m}^3$ .

Na obr. 4 jsou pro shrnutí provedených analýz vykresleny výsledné optimalizované  $V_z$  formou sloupcového grafu pro všechny testované vstupní nejistoty. Žlutě jsou vyznačeny dolní a horní meze pro  $\pm 2$  směrodatné odchytky  $V_z$  a červeně pak řešení 95 % kvantilů. V posledním modrém sloupci jsou výsledky  $V_z$  s pravděpodobně očekávanými vstupními nejistotami. Dosažené výsledky v tomto sloupci byly použity pro bezpečný návrh zásobního objemu. Můžeme vidět, že střední hodnoty výsledných  $V_z$  jsou těsně nad  $44 \text{ mil. m}^3$ , což je obdobně jako u deterministického řešení. Získané výsledky potvrzují správnost generátoru náhodných čísel a vhodné použití metody Monte Carlo.

## ZÁVĚR

Výsledky ukazují, že se testovaná vodní nádrž Vír nedokázala vypořádat s aktualizovanými přítoky vody do nádrže, protože aktualizovaná data způsobila vyšší poruchy v nedodávce vody. Jinými slovy, nádrž nemohla zaručit  $P_T \geq 99,5\%$ . Z tohoto důvodu musel být  $O_p$  nejprve snížen. Pak na tento  $O_p$  byl pro nádrž vypočítán optimální zásobní objem  $V_z$  včetně vstupních nejistot a ztrát vody z nádrže, které způsobily potřebu navýšit stávající  $V_z$  nádrže.

V části výsledky a diskuze jsou doporučeny optimální hodnoty  $V_z$ , které by se vyrovnaly s aktualizovanou řadou přítoku vody do nádrže a s uvažováním vstupních nejistot. Existuje zde prostor pro budoucí přezkoumání manipulačních řádů nádrží a také případná změna normy ČSN 75 2405 (ČSN 75 2405, 2017), která by měla brát v úvahu nejistoty vstupních dat. V takovém případě bude nutné vzít v úvahu výsledné hodnoty optimalizovaných zásobních hodnot  $V_z$  pro horní mez výsledného intervalu nebo 95 % kvantil daných výsledků, a tím se přiklonit na bezpečnou stranu daného řešení.

Vyvinutý simulačně-optimalizační model nádrže a použité metody prokázaly svoji funkčnost při řešení optimálního zásobního objemu nádrže Vír v podmínkách vstupních nejistot. Zdrojový kód programu je napsán obecně a software se dá rychle využít k testování i jiných nádrží. Nakonec je třeba konstatovat, že předložená analýza byla provedena pouze pro

jednu nádrž, a tudíž výsledky v současné době nelze zobecnit. Je zde ale předpoklad, že pro jiné nádrže s různými vstupními nejistotami budou získány výsledky  $V_z$  taktéž zatíženy a ovlivněny vstupními nejistotami. Je tedy jasné, že i další případové studie budou mít dopad na stávající  $V_z$  se zavedením vstupních nejistot, což potvrzuje význam této problematiky. Navíc se tento software dá v návaznosti využít i s programem TRANSFORM\_WEVE [23] na stanovení retenčního

objemu nádrže v podmínkách nejistot. Potom by šel celý problém víceúčelových nádrží v podmínkách nejistot pojmout komplexněji. Otázkou spíše zůstává, jak velké vstupní nejistoty aplikovat do vodohospodářských řešení.

#### PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek je výsledkem výzkumu FAST-S-20-6346 *Efektivní nakládání s vodními zdroji na jižní Moravě*.

#### Literatura:

- [1] Beven, K.J. and Binley, A.M. 1992: The future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction, *Hydrological Processes*, 6, p. 279 – 298.
- [2] Borland Delphi Enterprise, Version 7.0. [software] 2002. Borland Software Corporation. Dostupné z: <https://www.borland.com>.
- [3] Campos, J.N.B., Souza Filho, F.A., and Lima, H.V.C., 2014: Risks and uncertainties in reservoir yield in highly variable intermittent rivers: case of the Castanhão Reservoir in semi-arid Brazil. *Hydrological Sciences Journal*, 59 (6), 1 184 – 1 195
- [4] Česká technická norma ČSN 75 2405 *Vodohospodářské řešení vodních nádrží* Český normalizační institut, Hradec Králové, 2017.
- [5] Dokument: *Expression of the Uncertainty in Measurement in Calibration* (Metodika vyjadřování nejistot při kalibracích) EA 4/02, 1997 (v ČR ALE-R2, 1997).
- [6] Dokument: *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (Směrnice pro vyjadřování nejistoty při měření), BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 1993.
- [7] Dokument: ISO GUM Suppl. 1 (DGUIDE 99998) *Guide to the expression of uncertainty in measurement* (GUM) — Supplement 1: Numerical methods for the propagation of distributions, ISO 2004.
- [8] Dokument: *Národní akční plán adaptace na změnu klimatu*. Ministerstvo životního prostředí [online]. 2015 [cit. 2019-10-15]. Dostupné na [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/$FILE/OEOK-NAP_cely_20170127.pdf).
- [9] Dokument: *Příprava realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody*. Meziřesortní komise VODA-SUCHO [online]. 2015 [cit. 2019-10-15]. Dostupné na: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/negativni\\_dopad\\_sucha\\_opatreni/\\$FILE/OOV-Sucho\\_20150806.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/negativni_dopad_sucha_opatreni/$FILE/OOV-Sucho_20150806.pdf).
- [10] Dokument: *Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR*. Ministerstvo životního prostředí [online]. 2015 [cit. 2019-10-15]. Dostupný na [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zmena\\_klimatu\\_adaptacni\\_strategie/\\$FILE/OEOK-Adaptacni\\_strategie-20151029.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zmena_klimatu_adaptacni_strategie/$FILE/OEOK-Adaptacni_strategie-20151029.pdf).
- [11] Dokument: TPM 0051-93 *Stanovení nejistot při měřeních, podnikové normy ÚNMZ – TPM*, Český metrologický institut, 1993.
- [12] Hashimoto, T., Stedinger, J. R., Loucks, D. P.: Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria For Water Resource System Performance Evaluation, *Water Resources Research*, Vol 18, NO 1, pages 14-20, February 1982.
- [13] Kašpárek, L.: *Odhad objemu nádrží potřebného pro kompenzaci poklesu odtočkovlivem klimatické změny*. VÚV Praha, 2005, Praha.
- [14] Kiureghiana, A. D., Ditlevsen, O.: Aleatory or epistemic? Does it matter? *Structural Safety*, Volume 31, Issue 2, 2009.
- [15] Klemeš, V.: Reliability estimates for a storage reservoir with seasonal input. *J. Hydrol.* 7, 198-216, 1967.
- [16] Knight, F.H.: *Risk, Uncertainty, and Profit*. Boston, Hart, Schaffner & Marx: Houghton Mifflin Company, Boston 1921.
- [17] Kritskiy, S. N. & Menkel, M. F.: *Water Management Computations* (in Russian). 1952, GIMIZ, Leningrad.
- [18] Kuriša, F.W. and Vogel, R.M.: A Global Reservoir Water Supply Yield Model With Uncertainty, *Environmental Research Letters*, 9 095006 doi:10.1088/1748-9326/9/9/095006, 2014.
- [19] *Manipulační řád pro vodní dílo Vir I na řece Svatce*. Brno: Povodí Moravy, s. p., 2011.
- [20] Marton, D.; Paseka, S.: Uncertainty Impact on Water Management Analysis of Open Water Reservoir. *Environments*, 4, 2017, č. 1.
- [21] Marton, D., Starý, M., Menšík, P.: The Influence of Uncertainties in the Calculation of Mean Monthly Discharges On Reservoir Storage, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. November 2011, Volume 59, Issue 4, Pages 228-237, ISSN (Print) 0042-790X, DOI: 10.2478/v10098-011-0019-3.
- [22] Open Watcom FORTRAN 77. *Documentatiton: User's Guide*. [online]. Dostupné na <http://www.openwatcom.org>.
- [23] Paseka, S.: Stanovení retenčního prostoru nádrže v podmínkách nejistot. In *Zborník súťažných prác mladých odborníkov*. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav, 2018. s. 1-12. ISBN: 978-80-88907-98-5.
- [24] Paseka, S.; Marton, D.; Menšík, P.: *Uncertainties of reservoir storage capacity during low water period*. In SGEM Conference Proceedings. International multidisciplinary geoconference SGEM. *Hydrology and Water Resources*. 51 Alexander Malinov Blvd., 1712, Sofia, Bulgaria: STEF92 Technology Ltd., 2016. s. 789 – 796.
- [25] Starý, M.: *Hydrologie (MODUL 03 Návody do cvičení)*. Brno: VUT v Brně – Fakulta stavební, 2005, 113 s.
- [26] Starý, M.: *Nádrže a vodohospodářské soustavy (MODUL 01)*. Brno: VUT v Brně – Fakulta stavební, 2006, 120 s.
- [27] Starý, M.: *Zpráva o výsledcích řešení při spolupráci na normalizačním rozborovém úkolu HDP VH 83/6 RÚ*, VUT FAST v Brně, Brno, 1984.
- [28] WECC doc. 19 – 1990: Western European Calibration Cooperation, 1990.
- [29] Zahradnické, P. Trnka, M. Brazdil, R. a kol.: The extreme drought episode of August 2011–May 2012 in the Czech Republic. *Int. J. Climatol*, 2014.



Fragment z jamskeho plesa, M. Rimarčíková

# Jubileum – Prof. Ing. Jozef Kriš, PhD.

Dňa 18. augusta 2020 sa v plnom zdraví, v životnom optimizme a pracovnom eláne dožil 75 rokov emeritný profesor Katedry zdravotného a environmentálneho inžinierstva Stavebnej fakulty Slovenskej technickej univerzity (STU) v Bratislave, prof. Ing. Jozef Kriš, PhD. Narodil sa v Záhradnom pri Prešove a po skončení stredoškolského vzdelania na SPŠ stavebnej pokračoval v štúdiu na Stavebnej fakulte SVŠT v Bratislave, odbor vodohospodárske stavby. Od 1. decembra 1969 bol pracovníkom Katedry zdravotného a environmentálneho inžinierstva Stavebnej fakulty STU, kde zastával rôzne pracovné zaradenia na pedagogických a vedeckých miestach, a bol jej dlhoročným vedúcim.

V rámci svojho pôsobenia na Katedre zdravotného a environmentálneho inžinierstva STU, kde od roku 1999 pôsobil na funkčnom mieste profesora, vyučoval v pedagogickom procese rôzne základné a výberové predmety, z ktorých sa časom vyprofiloval na oblasť vodárstva, balneotechniky a inžinierskych sietí. Aj v súčasnosti pôsobí v komisiách pre štátne záverečné skúšky a obhajoby diplomových prác na stavebnej fakulte, fakulte Chemickej a potravinárskej technológie STU v Bratislave, Stavebnej fakulte ČVUT Praha a VUT Brno, s ktorými aj naďalej úzko spolupracuje. Pôsobil ako garant a školiteľ doktorandského štúdia vodné hospodárstvo a neskôr ako školiteľ študijného programu vodohospodárske inžinierstvo. V rámci práce na stavebnej fakulte bol predsedom Akademického senátu Stavebnej fakulty STU, členom Kolégia dekana tejto fakulty, členom Vedeckej rady Stavebnej fakulty STU. Bol predsedom komisárov na vykonávanie skúšok odbornej spôsobilosti na vydávanie osvedčenia pre prevádzkovanie verejných vodovodov a verejných kanalizácií, kde teraz pôsobí ako skúšobný komisár.



Popri pedagogickej práci sa aktívne zapájal do organizovania a riešenia vedeckovýskumných úloh, z ktorých vyplynula aj jeho bohatá publikačná činnosť. Je autorom viacerých monografií a mnohých časopísenských článkov i článkov publikovaných na odborných a vedeckých podujatiach nielen na Slovensku, ale aj v zahraničí, napr. v Japonsku, USA, Izraeli, vo Francúzsku, v Taliansku, Juhoafrickej republike, Maroku, Nemecku, Rakúsku, Argentine, Austrálii, Thajsku, Číne, Poľsku, kde prezentoval najnovšie poznatky vedy a techniky získané pri riešení mnohých vedeckých projektov, ktorých bol zodpovedným riešiteľom. Profesor Kriš svoje poznatky zúročil v spolupráci s Úradom pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo

SR, odborom technickej normalizácie, kde dlhoročne pôsobil ako predseda odbornej komisie č. 1 Vodovody a kanalizácie. Stál pri kreovaní odbornej výstavy a jej sprievodných podujatiach AQUA v Trenčíne, medzinárodnej konferencie Pitná voda, konferencie vodohospodárov a iné, ktoré podporoval počas celého obdobia, keď pôsobil vo funkcii predsedu Slovenského národného komitétu IWA (International Water Association).

Pedagogická, odborná, vedecká a spoločenská práca a aktivita prof. Ing. Jozefa Kriša, PhD. sú veľmi rozsiahle a spoločensky prospešné. Všetci, ktorí poznáme nášho kolegu a priateľa a stretávame sa s ním, mu prajeme pri príležitosti tohto pekného jubilea hlavne pevné zdravie a veľa radosí zo života.

Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva,  
Stavebná Fakulta STU v Bratislave.



## In memoriam – Ing. Jozef Jambor

Dňa 1. augusta 2020 nás vo veku 81 rokov navždy opustil náš kolega vodohospodár a priateľ Ing. Jozef Jambor. Jeho bohatý kariérny a osobný život sme čitateľom Vodohospodárskeho spravodajcu priblížili v čísle 3 – 4/2019.

V mene redakcie časopisu a kolegov z vodohospodárskeho sektora vyjadrujeme rodine Ing. Jozefa Jambora úprimnú sústrasť.

Redakcia



## Informácie o nových STN

**Mgr. Daša Borovská**

Výskumný ústav vodného hospodárstva

V júli a auguste 2020 vyšli v oblasti vodného hospodárstva tieto slovenské technické normy:

**STN ISO 17995: 2020** (75 7842) Kvalita vody. Detekcia a kvantitatívne stanovenie termotolerantných baktérií rodu *Campylobacter*

*Norma vyšla v anglickom jazyku.*

*Vydanim STN ISO 17995: 2020 sa zrušilo predchádzajúce vydanie tejto normy STN ISO 17995: 2009.*

**STN EN 12897 + A1: 2020** (75 5404) Vodárenstvo. Požiadavky na nepriamo vyhrievané neodvetrávané (uzatvorené) zásobníkové ohrievače vody

*Norma vyšla v anglickom jazyku.*

*STN EN 12897 + A1: 2020 je konsolidované znenie normy STN EN 12897: 2016 so zmenami A1: 2020.*

Zveme všechny biology, hydrology, hydrochemiky, pracovníky ve vodárenském průmyslu, zástupce laboratoří, vědecké pracovníky a pracovníky vysokých škol i vysokoškolské studenty uvedených oborů k účasti na již tradiční konferenci

# VODÁRENSKÁ BIOLOGIE 2021

10. – 11. února 2021

Interhotel Olympik, OLYMPIK CONGRESS, sál Artemis  
U Sluncové 14A, 186 76 Praha 8, Česká republika

## HLAVNÍ BLOKY KONFERENCE:

- Legislativa a normy, ukazatele kvality vod
- Biologické a mikrobiologické metody, metody molekulární biologie (teorie a praxe)
- Mikroskopie, digitální fotografie, analýza obrazu v technologii vod
- Hygiena vody, rizikové organismy, nové a méně známé patogeny
- Detekční systémy a screeningové metody v hygieně vody
- Sucho a péče o zdroje vody, mikropolutanty, sinice a rizikové organismy
- Nádrže, rybníky a koupaliště, vodní toky
- Biologie ve vodárenské praxi
- Biologie v čistírenské praxi, biologie šedých vod
- Rezistentní organismy, geny rezistence
- Aplikovaná hydrobiologie a mikrobiologie
- Technologické procesy (ve vodárenství, čistírenství)
- Riziková analýza (WSP, HACCP) ve vodárenství
- Posterová sekce

Za programový výbor konference

doc. RNDr. Jana Řihová Ambrožová, Ph.D. - odborný garant konference

e-mail: jana.ambrozova@vscht.cz

## Důležité termíny

Přihlášky referátů a diskusních příspěvků	do 25. 10. 2020
Předběžné přihlášky k pasivní účasti	do 25. 10. 2020
Sdělení o přijetí referátu/příspěvku	do 15. 11. 2020
Zaslání příspěvků do sborníku	do 23. 12. 2020
Objednávka výstavního stolu, inzerce ve sborníku apod.	do 10. 1. 2021
Předběžný termín pro závazné přihlášky a úhradu vložného	do 3. 2. 2021

Informace a přihlášky: Bc. Klára Petráková Kánská

Tel. 602 141 508, e-mail: klara.kanska@ekomonitor.cz



