

VODOHOSPODÁŘSKÁ KONFERENCE
VODNÍ NÁDRŽE 2019
23.–24. ŘÍJNA 2019



vodninadrze.pmo.cz



Konferenci pořádá státní podnik Povodí Moravy ve spolupráci s Českou vědeckotechnickou vodohospodářskou společností a s ostatními státními podniky Povodí a partnery.



Záštity



MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ
ČESKÉ REPUBLIKY

Ministerstvo životního prostředí

jihomoravský kraj



Mediální partneři



Partneři



Odborní partneři



Ostatní státní podniky Povodí



Programový výbor konference

Prof. Ing. Miloš Starý, CSc., Vysoké učení technické v Brně

Doc. Ing. Josef Hejzlar, CSc., Biologické centrum AVČR

Doc. Ing. Radovan Kopp, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně

RNDr. Jakub Borovec, Ph.D., Biologické centrum AVČR, Soil & Water Research Infrastructure

RNDr. Jindřich Duras, Ph.D., Povodí Vltavy, státní podnik

RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D., Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost

Mgr. Pavel Rosendorf, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka

Ing. David Fína, Povodí Moravy, s.p.

Mgr. Dušan Kosour, Povodí Moravy, s.p.

Vydavatel

Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno

1. vydání, 300 výtisků, 188 stran

Editor

Mgr. Dušan Kosour a kolektiv

Citace

KOSOURL, Dušan et al., eds. *Vodní nádrže 2019*.

Brno: Povodí Moravy, s.p., 2019. ISBN 978-80-907141-3-7.

Tisk a grafická úprava

Tiskárna Didot, s.r.o., Brno

Za jazykovou úpravu a obsah příspěvků zodpovídají autoři.

ISBN 978-80-907141-3-7



POVODÍ MORAVY, S.P.

Správa povodí je rozdělena mezi tři závody se sídly v Náměšti nad Oslavou, Olomouci a Uherském Hradišti. Celkem podnik působí na území 7 krajů a 67 obcí s rozšířenou působností.



Povodí Moravy, s.p. zajišťuje správu, provoz a údržbu vodních toků a vodohospodářských objektů v povodí Moravy. Na území o rozloze 21 132 km² spravuje celkem:

- 10 780 km vodních toků
(z toho 3 758 km významných vodních toků)
- 1 071 km ochranných hrází
- 29 významných vodních nádrží
- 139 ostatních vodních nádrží
- 171 jezů a 95 stupňů
- 13 plavebních komor
- 15 malých vodních elektráren



POVODÍ MORAVY, S.P.

Vodohospodářské laboratoře Povodí Moravy, s.p.

Jsou zkušební laboratoři č. 1190 akreditovanou Českým institutem pro akreditaci o. p. s. dle normy ČSN EN ISO/IEC 17025 s pracovišti v Brně, Olomouci a Uherském Hradišti.



Poskytované služby:

- vzorkování pitných, podzemních, povrchových, odpadních vod a vod ke koupání, pevných matric přírodního původu (např. sediment, kal, zemina, plavenina, odpad – sedimenty ukládané na skládky, řasy, sinice, makrozoobentos, fytoobentos, makrofyta) dle platné legislativy,
- analytické, fyzikálně-chemické, biologické a mikrobiologické zkoušky pitných, podzemních, povrchových, odpadních vod a vod ke koupání, výluhů, plavenin, sedimentů, půd, kalů a biologického materiálu dle platné legislativy.

Bližší informace o činnosti a rozsahu poskytovaných služeb vodohospodářských laboratoří Povodí Moravy, s.p. jsou uvedeny na stránkách:

www.pmo.cz/cz/cinnost/vodohospodarske-laboratore

OBSAH

Optimalizace vodohospodářského řešení zásobní funkce vodohospodářské soustavy Povodí Odry <i>Břetislav Tureček, Petr Březina, Lukáš Pavlas, Pavel Fošumpaur</i>	5	Vplyv zanášania na prevádzku vodných nádrží na východnom Slovensku <i>Dušan Mydla, Lucia Hrabčáková</i>	69
Metodika pro vymezení úseků vodních toků s významným ovlivněním průtoku provozem akumulacních nádrží <i>Karel Březina, Vojtěch Sýs</i>	9	Stav sedimentov významných vodných stavieb Váhu <i>Andrej Šille, Michal Mičuda</i>	73
Dopad špičkového režimu na reprodukci bolena dravého <i>Daniel Bartoň, Allan T. Souza, Petr Blabolil, Jan Kubečka, Marek Šmejkal</i>	14	Emise dusíku a fosforu v závislosti na velikosti obce, typu vodohospodářské infrastruktury a průtoku <i>Daniel Fiala, Anna Kólová, Lenka Matoušová, Pavel Rosendorf, Lada Stejskalová, Miroslav Váňa</i>	80
Nádrže a minimální průtoky ve vodních tocích <i>Vojtěch Broža</i>	15	Povodí VN Hracholusky: fosfor a samočištění v Kosovém potoce <i>Michal Marcel, Jindřich Duras</i>	85
Úloha vodních nádrží v suchých letech <i>Marek Viskot</i>	19	Matematické modelování dopadu opatření na vnos živin do nádrže Hracholusky <i>Pavel Tachecí, Markéta Součková</i>	86
Koncepční příprava VD Vlachovice <i>Prokop Galatík, Jiří Švancara, Daniel Brázda</i>	20	Komplexní soubor opatření pro zamezení vnosu do vodní nádrže Hracholusky <i>Lukáš Vlček, Pavel Tachecí, Jindřich Duras</i>	91
Robustnost návrhu zásobního objemu nádrže Vlachovice v podmínkách nejistoty klimatické změny <i>Daniel Marton, Kateřina Knoppová, Petr Štěpánek</i>	27	Projekt Hracholusky – chování nádrže <i>Jindřich Duras, Michal Marcel</i>	96
Meteorologické podmínky výskytu sucha <i>Jaroslav Rožnovský, Jaroslav Střeščík, Petr Štěpánek, Pavel Zahradníček</i>	32	Nádrž Landštejn – od oligotrofie k eutrofii ... nevratně? <i>Rodan Geriš, Dušan Kosour</i>	97
Katalog přírodě blízkých opatření pro zadržení vody v krajině <i>Kamila Osičková, Miriam Dzuráková</i>	35	Predikce koncentrace fosforu a trofie v údolních nádržích <i>Josef Hejzlar, Jiří Kopáček, Yuliya Vystavna</i>	101
Návrh malých vodních nádrží <i>Petr Doležal, Jana Konečná, Petr Karásek</i>	39	Eutrofizace Staňkovského rybníka, aneb kde jsou příčiny zhoršující se kvality vody této významné rekreační lokality? <i>Jan Potužák, Jindřich Duras, Michal Marcel, Libor Pechar, Marek Baxa, Zdeňka Benedová, Martin Musil, Lenka Kröpfelová, Jana Šulcová</i>	107
Prevádzka a skúsenosti s MVN v správcovskom území správy povodia dolnej Nitry <i>Jozef Hudec, Miroslav Tomko</i>	47	Efektivita regeneračních zón při čištění vod na přírodních koupalištích <i>Marek Baxa, Zdeňka Benedová, Lenka Kröpfelová, Dana Vlková, Jana Šulcová</i>	113
Vliv hydrauliky vody nad sedimentem na transport látek přes rozhraní sediment–voda <i>Jakub Borovec, Felipe Bretón, Jiří Jan</i>	54	Riziko výskytu pesticidů a produktů jejich rozkladu na vodárenské nádrži Vrchlice <i>Martin Ferenčík, Václav Koza, Luděk Rederer</i>	117
Kvalita sedimentov vybraných vodných nádrží na Slovensku <i>Pavel Hucko, Vladimír Roško, Ladislav Babej</i>	57	Možnosti přístupů ke snížení zatížení povrchových vod rezidui přípravků na ochranu rostlin v povodí vodárenských zdrojů na příkladu VN Švihov <i>Marek Liška, Jakub Dobiáš, Antonia Metelková, Antonín Zajíček, Petr Fučík</i>	122
Erozní procesy v povodí vodní nádrže Brno a účinnost možných opatření <i>Josef Krása, Miroslav Bauer, Barbora Jáchymová, Jan Devátý, Tomáš Dostál</i>	65		

POSTEROVÁ SEKCE

Freshwater sediments: Linking hydrodynamics and biogeochemistry <i>Felipe Bretón, Jiří Jan, Jakub Borovec</i>	132	Adaptivní řízení zásobní funkce nádrže s využitím fuzzy modelů <i>Tomáš Kozel, Miloš Starý</i>	151
Erózne javy v povodí a ich dopad na malé vodné nádrže <i>Ladislav Glinda, Ľudmila Kočvarová, Martin Rybárik</i>	136	Vplyv vodnej nádrže Domaša na hydrologický režim Ondavy v rokoch 2017 a 2018 <i>Katarína Melová, Jana Poórová, Ľubica Lovásová, Lotta Blaškovičová, Beáta Síčová</i>	157
Opatření na vodních tocích Kösseinu a Reslavě ke zmírnění problematiky rtuti na vodní nádrži – analýza rizik na české straně <i>Jindřich Höhnig, Tomáš Bruna</i>	140	Ochranná pásma vodních zdrojů a bilanční hodnocení přítoků do nádrže Vranov <i>Petra Oppeltová, Jana Svobodová</i>	166
Atlas hydrologie – moderní nástroj pro výpočet smyvu, odtoku a dimenzování prvků protierozní ochrany <i>Barbora Jáchymová, Petr Křížek, Luděk Strouhal, Martin Landa, Jakub Jeřábek, Josef Krása, Petr Kavka</i>	143	Konkrétní technická opatření pro udržitelné řešení venkova <i>Karel Plotěný, Michal Mrkývka</i>	170
Vliv kvality sedimentu na kyslíkový režim rybníčního ekosystému <i>Jiří Jan, Jakub Borovec, Felipe Bretón</i>	147	Jakostní model povodí Svratky nad VN Brno <i>Stanislav Ryšavý, Karel Říha, Roman Hanák</i>	174
Transport nerozpustných látek, dusíku a fosforu v povodí retenční nádrže na Němčickém potoce <i>Jana Konečná, Petr Karásek, Josef Kučera, Jana Podhrázká, Svatava Křížková, Michal Pochop</i>	150	Pesticidy ve zdrojích pitné vody a možnosti jejich odstranění <i>Daniela Šíbllová, Renata Biela</i>	176
		Ekonomické aspekty znovuvyužití živin z rybníčních sedimentů v mikropovodí – příkladová studie rybník Horusický <i>Jana Šulcová, Zdeňka Benedová, Marek Baxa, Lenka Kröpfelová, Jan Pokorný, Jan Potužák, Jindřich Duras</i>	179

OPTIMALIZACE VODOHOSPODÁŘSKÉHO ŘEŠENÍ ZÁSObNÍ FUNKCE VODOHOSPODÁŘSKÉ SOUSTAVY POVODÍ ODRY

Břetislav Tureček¹, Petr Březina¹, Lukáš Pavlas¹, Pavel Fošumpaur²

¹ Povodí Odry, státní podnik, Varenská 3101/49, 701 26 Ostrava, bretislav.turecek@pod.cz

² ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Abstrakt

Povodí Odry, státní podnik jako správce Vodohospodářské soustavy povodí Odry (VHS PO) na základě mimořádného sucha 2015 – 2016 přistoupil k aktualizaci pravidel hospodaření vodních děl a podkladů pro Manipulační řád VHS PO, který byl připravován v roce 1998. Příspěvek shrnuje zpracované komplexní vodohospodářské řešení zásobní funkce VHS PO a jeho optimalizaci včetně přípravy vstupních hydrologických podkladů. V první fázi byly důkladnou analýzou limnigrafických záznamů a realizovaných povolení k nakládání rekonstruovány (očištěny) neovlivněné průtokové řady v základních 16 profilech v povodí Odry. Na jejich podkladě byly následně stochasticky namodelovány soubory syntetických 1000 letých řad průměrných měsíčních průtoků. Základní koncepce řízení zásobní funkce je založena na optimalizaci dispečerských grafů (řídící objemové čáry) pro jednotlivé vodárenské nádrže (Slezská Harta, Kružberk, Morávka a Šance) a nádrže sloužící pro zajištění průmyslové vody (Olešná a Žermanice). Sestrojený simulační model zásobní funkce VHS PO byl také využit pro posouzení dalších účelů nádrží (rekreace, využití vodní energie).

Klíčová slova: vodní nádrž; manipulační řád; dispečerský graf; syntetická průtoková řada.

Abstract

Odra River Basin, state enterprise as an administrator of the Odra River Basin Water Management System (VHS PO) on the basis of extraordinary drought period 2015–2016, has updated the rules of water management and documentation for the VHS PO Operating regulations, which were prepared in 1998. This paper summarizes complex water management solution of the storage function of VHS PO and its optimization including preparation of input hydrological data. In the first phase, unaffected flow series in the basic 16 profiles in the Odra river basin were reconstructed by thorough analysis of limnigraphic records and realized water withdrawal. Subsequently, sets of synthetic 1000-year series of average monthly flows were stochastically modeled. The basic concept of the storage function management is based on the optimization of reservoir operating curves for individual water supply reservoirs (Slezská Harta, Kružberk, Morávka and Šance) and reservoirs used for industrial water supply (Olešná and Žermanice). The constructed simulation model of the VHS PO storage function was also used to assess other purposes of reservoirs (recreation, use of hydropower).

Keywords: water reservoir; operating regulations; reservoir operating curve; synthetic flow series.

Úvod

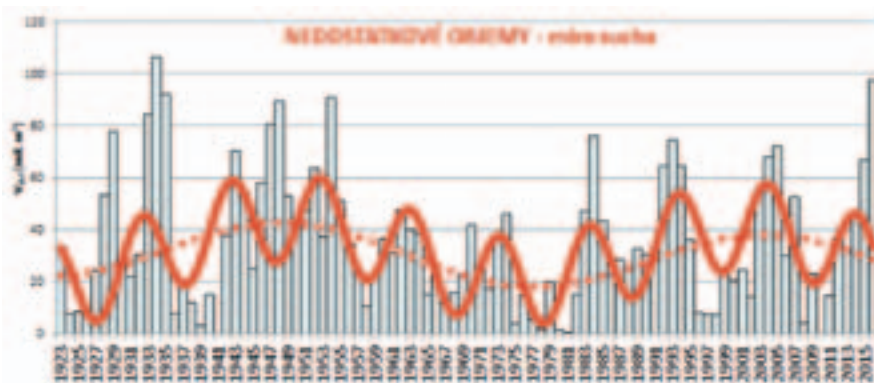
V roce 2017 přistoupil státní podnik Povodí Odry k aktualizaci pravidel pro hospodaření s vodou ve vodohospodářské soustavě povodí Odry (VHS PO) včetně přípravy podkladů pro aktualizaci manipulačního řádu. Rozhodnutí o této aktualizaci bylo vyvoláno extrémní suchou periodou z let 2015 až 2016, která svým rozsahem překonala většinu suchých období v dosavadních hydrologických podkladech. Stávající manipulační řád VHS PO [1] byl vypracován v roce 1998 a schválen v květnu 1999. Současná pravidla řízení vycházejí zejména z vodohospodářského řešení soustavy v povodí Ostravice, zpracovaného Povodím Odry v letech 1995 až 1998 [2] a z vodohospodářského řešení nádrží Slezská Harta a Kružberk vypracovaného společností Aquatis, a.s. v roce 1997 [3].

V rámci nového komplexního VH řešení byly v první fázi důkladně analyzovány vstupní reálné řady průměrných měsíčních průtoků, které byly očištěny o nakládání s vodou ve všech 16 základních profilech VHS PO. Na základě takto odvozených neovlivněných průtokových řad bylo zvoleno reprezentativní hydrologické období pro následné generování návrhových syntetických řad délky 1000 let, které vstoupily do vodohospodářského řešení.

Základní koncepce optimalizace VH řešení zásobní funkce VHS PO vychází z konstrukce dispečerských grafů pro jednotlivé nádrže, které představují minimální potřebné náplně v zásobních prostorech jednotlivých nádrží pro zajištění požadovaných účelů s danou zabezpečeností podle trvání. Jako optimální byla vybrána taková varianta dispečerských grafů a řídících pravidel, která umožňuje zajištění všech požadovaných vodárenských a průmyslových odběrů a minimálních zůstatkových průtoků s požadovanými zabezpečenostmi a minimalizuje potřebu spolupráce mezi jednotlivými zdroji.

Metodika řešení

Při optimalizaci řízení zásobní funkce nádrží a vodohospodářských soustav se uplatňují historické hydrologické podklady, které reprezentují hydrologický režim vodních toků. Řešení se pak realizuje optimalizací simulačního modelu řízení přímo v historických zaznamenaných řadách zpravidla s měsíčním časovým krokem. V současné době se dává zpravidla přednost stochastickému řešení, kdy historické průtokové řady zaznamenané v síti měrných stanic dané vodohospodářské soustavy, případně odvozené v přehradních profilech vodohospodářskou bilancí slouží pouze jako náhodný výběr vícerozměrného náhodného procesu. V další fázi jsou metodami teorie odhadu odvozeny pravděpodobnostní vlastnosti tohoto procesu volbou příslušného rozdělení pravděpodobnosti a odhadem jeho parametrů. V další fázi jsou na podkladě metod generování náhodných průtokových řad modelovány dlouhé náhodné realizace, které obsahují velké množství návrhových epizod hydrologického sucha a umožňují



Graf 1. Průběh kumulovaných nedostatkových objemů pro nadlepení $0,5Q_a$ Odra/Svinov

tak kvalitativně spolehlivější návrh prvků vodohospodářské soustavy a parametrů jejího řízení. Tento koncept vychází z aplikace stochastické metody Monte Carlo pro řízení vodních zdrojů a představuje kvalitativně sofistikovanější přístup než simulace v reálných průtokových řadách.

Výchozím souborem hydrologických dat byly řady průměrných měsíčních průtoků v povodí Odry. Jedná se o soubor 16 profilů s různými délkami pozorování. Průtokové řady byly napřed očištěny o antropogenní zásahy, kterými jsou zejména manipulace na vodních nádržích, převody vody, odběry a vypouštění. Velmi názornou představu o hydrologickém režimu z pohledu zásobní funkce nádrže získáme konstrukcí nedostatkových objemů řešených za sledované období v řadě měsíčních průtoků, viz graf 1 pro profil Odra/Svinov. V grafu je zřejmé patrný sluneční cyklus s periodou 11 let. Nedostatkové objemy jsou zkonstruovány pro nadlepení o velikosti $0,5Q_a$ pro profil Odra/Svinov.

Na základě grafu 1 nedostatkových objemů je zřejmé, že hydrologické sucho od roku 2014 není v historickém kontextu nijak ojedinělé a že v období 30. let popř. 40. a 50. let se vyskytla sucha s podobnými hodnotami nedostatkových objemů. V případě existence hydrologických řad pouze od 60. let minulého století by však jejich využití jako podkladu pro VH řešení nebylo správné, neboť současné statistické vlastnosti se významně odlišují od období 1960–1980, které se jeví jako poměrně abnormálně vodné. Proto bylo jako reprezentativní zvoleno období za hydrologické roky 1981 až 2016. Tato skutečnost velmi dobře koresponduje se současnou praxí ČHMÚ, který za účelem poskytování režimových hydrologických údajů vychází z období hydrologických let 1981 až 2010. Toto období je považováno za dostatečně reprezentativní a současně dobře popisuje aktuální hydrologický režim a hydrologický režim nejbližší budoucnosti.

Matematické modely průtokových řad v systému závislých stanic jsou proti modelům v nezávislých stanicích podstatně složitější tím, že je nezbytné do nich zahrnout kromě systému autokorelačních vazeb i systém vnějších korelačních vazeb mezi všemi kombinacemi stanic. Pro sestavení modelu byla jako nejvhodnější vybrána metoda hlavní komponenty. Výstavba modelu postupuje podle toho tak, že se nejdříve transformují závislé vektory reálných měsíčních průtoků v jednotlivých kalendářních měsících (v různých stanicích) na nezávislé (ortogonální) vektory, čímž se z modelu jakoby vyloučí systém vnějších korelací. Pak se generují řady průměrných měsíčních průtoků ve fiktivních (nezávislých) stanicích, které se v poslední fázi výpočtů zpětně transformují na syntetické řady s požadovanými vzájemnými korelacemi. Podrobně postup generování umělých průtokových řad v systému stanic popsal například Kos [4] nebo Nacházel [5].

Řídicí objemové čáry jsou využívány ve vodohospodářské praxi státního podniku Povodí Odry dlouhodobě jakožto účelná

pomůcka při rozhodování o manipulacích vodních nádrží VHS PO. Termín „řídicí objemová čára“ je v podstatě velmi výstižným překladem anglického termínu „guide curve“ používaným v zahraniční odborné literatuře. Přesto se u nás ve většině případů ujal spíše termín dispečerský graf. Pro konstrukci dispečerských grafů je v praxi Povodí Odry, státní podnik využívána metoda klouzavých průměrů. Z důvodu zahrnutí ztrát vody výparem byla pro výpočet dispečerského grafu jednotlivých nádrží využita vlastní iterativní metoda.

Výsledky řešení

Sestavený simulační model VHS PO vychází z následujících hlavních předpokladů:

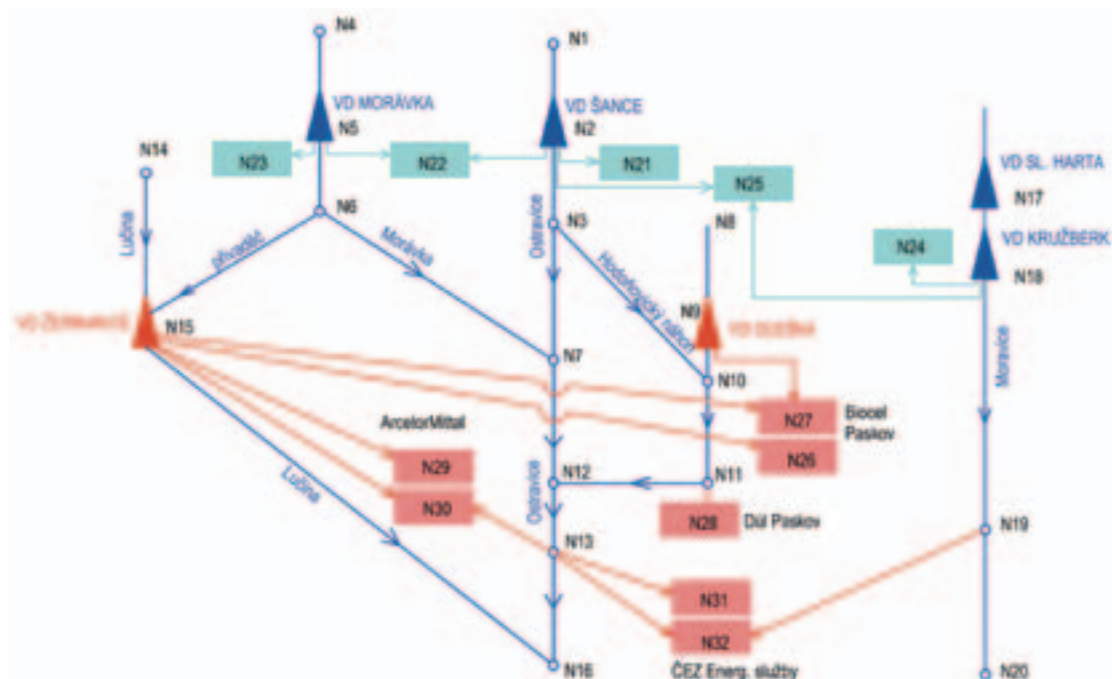
1. Model využívá jako vstupní data odvozené umělé řady průměrných měsíčních průtoků délky 1000 let. Pro kontrolu a porovnání bylo VH řešení také ověřováno na výchozím reprezentativním období 1981–2016.
2. Na základě VH řešení nádrží Slezská Harta a Kružberk [3] vyplývá, že v nádržích je dostatečný zásobní objem pro plnou zabezpečení vodárenských odběrů a také rezerva pro případné přenesení části odběrů do spotřebiště beskydských vodárenských nádrží.
3. Model zachovává nakládání s vodou do tzv. tříd významnosti. Každé nakládání s vodou (odběr, MZP, rekreační využití, energetické využití) má přiřazenu třídu významnosti a je uspokojováno v pořadí priorit podle těchto tříd. Rozdělení tříd významnosti je následující:

- I. vodárenské odběry a zajištění základních MZP pod nádržemi.
- II. průmyslové odběry a zajištění MZP v profilech mimo nádrže a kompenzace z nádrží pro zajištění těchto dvou účelů.
- III. zvýšené MZP a kompenzace z nádrží pro ně.
- IV. rekreační využití nádrží.
- V. energetické využití nádrží.

4. Kritériem pro vyhodnocování spolehlivosti je u odběrů zabezpečení plné dodávky podle trvání. Požadovaná hodnota zabezpečení dle trvání je u vodárenských odběrů 99,70 % a pro průmyslové odběry pak 99,50 %.

Koncepcí simulačního modelu vychází dle zadání z původního modelu VHS PO [2]. Model je koncipován jako orientovaný graf sestávající z uzlů a hran grafu. Výpočetní schéma modelu je znázorněno na obr. 1.

Definovaný systém na VHS PO obsahuje dle obr. 1 tyto uzly, které reprezentují klíčové prvky vodohospodářské infrastruktury zahrnuté do výpočetního modelu:



Obrázek 1. Výpočetní schéma modelu VHS PO (systém Ostravice)

- N1 přítok do VD Šance
- N2 VD Šance
- N3 jez Hodoňovice
- N4 přítok do VD Morávka
- N5 VD Morávka
- N6 jez Višň Lhoty
- N7 jez Frýdek Místek (Riviera)
- N8 přítok do VD Olešná
- N9 VD Olešná
- N10 soutok Olešné a Hodoňovického náhonu
- N11 jez Žabeň
- N12 soutok Olešné a Ostravice
- N13 jez Vítkovice
- N14 přítok do VD Žermanice
- N15 VD Žermanice
- N16 soutok Lučiny a Ostravice
- N17 VD Slezská Harta
- N18 VD Krušberk
- N19 Opava
- N21 spotřebišť VD Šance
- N22 společné spotřebišť VD Šance a VD Morávka
- N23 spotřebišť VD Morávka
- N24 spotřebišť VD Krušberk
- N25 společné spotřebišť VD Krušberk a VD Šance
- N26 Biocel – odběr z VD Žermanice
- N27 Biocel – společné spotřebišť z VD Olešná a VD Žermanice
- N28 Důl Paskov – kompenzace z VD Olešná
- N29 ArcelorMittal – odběr z VD Žermanice
- N30 ArcelorMittal – společné spotřebišť z VD Žermanice a jezu Vítkovice
- N31 Vítkovice – odběr z Ostravice z jezu Vítkovice
- N32 Vítkovice – společné spotřebišť z jezu Vítkovice a Opavy

Výsledky simulací ukázaly [6, 7] že VHS PO je schopná zajistit všechny požadované účely s dostatečnou spolehlivostí, resp. zabezpečností dle trvání, která je vyšší než požadovaná hodnota pro vodárenské odběry (pt = 99,70 %) a požadovaná hodnota pro odběry průmyslové vody (pt = 99,50 %).

Závěr

Cílem vodohospodářského řešení VHS PO bylo odvodit 1000 leté syntetické řady ve všech základních profilech soustavy, sestavit simulační model soustavy a optimalizovat spolehlivost všech účelů, které plynou ze zásobní funkce. Studie dospěla k těmto základním závěrům:

1. Jako reprezentativní pro generování syntetických průtokových řad bylo zvoleno období 1981 až 2016, které dostatečně spolehlivě reprezentuje aktuální hydrologické podmínky a podmínky nejbližší budoucnosti.
2. Sestavený simulační model zachovává dle zadání základní principy provozu VHS PO podle tzv. tříd významnosti. Každé nakládání s vodou (odběr, MZP, rekreační využití, energetické využití) má přiřazenu třídu významnosti a je uspokojováno v pořadí priorit podle těchto tříd.
3. Simulační model byl využit pro simulaci provozu VHS PO v souboru reálných řad za období hydrologických let 1981 – 2016 a pro simulaci v souboru odvozených 1000 letých řad. Z důvodu zahrnutí možného vlivu klimatické změny byl zvolen soubor syntetických řad, který vytváří nárok na zásobní objemy nádrží na úrovni horního 10 % kvantilu.
4. V rámci studie byl sestaven algoritmus pro tvorbu řídicích ob-
jemových čar (dispečerských grafů), který umožňuje zohlednit ztráty vody výparem z vodní hladiny. Současně byly pro dispečerské grafy odvozeny meze pořadnic pro určitá předem definovaná rozmezí odběrů.
5. Výsledky simulací ukázaly, že VHS PO je schopná zajistit všechny požadované účely s dostatečnou spolehlivostí, resp. zabezpečností dle trvání, která je vyšší než požadovaná hodnota pro vodárenské odběry (pt = 99,70 %) a požadovaná hodnota pro odběry průmyslové vody (pt = 99,50 %). Řešení je tak na straně bezpečnosti, neboť norma ČSN 75 2405 Vodohospodářská řešení vodních nádrží doporučuje nižší požadované zabezpečnosti.

Poděkování

Pro zpracování příspěvku byly využity některé poznatky získané v rámci řešení grantového projektu TAČR č. TL02000408.

Literatura

- [1] Manipulační řád vodohospodářské soustavy povodí Odry. *Schváleno odborem ochrany vod a půdy Magistrátu města Ostravy dne 12.5.1999 pod č.j. OVP/1479/99/Val/Vk*. Ostrava: Povodí Odry, státní podnik, změna 2017.
- [2] BŘEZINA, Petr. Důvodová zpráva k Manipulačnímu řádu vodohospodářské soustavy povodí Odry. Ostrava: Povodí Odry, státní podnik., 1998.
- [3] ŠVANCARA, Jiří. Vodohospodářské řešení VD Slezská Harta. Brno: Aquatis a.s., 1997.
- [4] KOS, Zdeněk. *Lineární regresní model a jeho aplikace v hydrologii*. Praha: Vodní toky v Praze. Práce a studie., 1969.
- [5] NACHÁZEL, Karel. *Stochastické metody ve vodním hospodářství*. Ostrava: tech. nakl. EXPERT, 1998.
- [6] FOŠUMPAUR, Pavel. *Odvození umělých průtokových řad v síti profilů v povodí Odry*. Praha: 2017.
- [7] FOŠUMPAUR, Pavel. *Vodohospodářské řešení vodohospodářské soustavy povodí Odry*. Praha: 2018.

METODIKA PRO VYMEZENÍ ÚSEKŮ VODNÍCH TOKŮ S VÝZNAMNÝM OVlivNĚNÍM PRŮTOKU PROVOZEM AKUMULAČNÍCH NÁDRŽÍ

Karel Březina, Vojtěch Sýs

Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5, tel. +420 221 401 495, karel.brezina@pvl.cz

Abstrakt

Během jednání při přípravě nařízení vlády o způsobu a kritériích stanovení minimálního zůstatkového průtoku byla pro vymezení úseků vodních toků, u nichž dochází k významnému ovlivnění průtoku provozem akumulčních nádrží, použita metodika, která využívá základní parametry vodních děl, průměrné parametry nakládání s vodou a základní parametry hydrologického režimu. Příspěvek si klade za cíl tuto metodiku představit a poukázat na její úskalí, zejména u nádrží a vodohospodářských soustav, kde dochází k významným převodům vody do jiného povodí.

Klíčová slova: MZP; akumulční nádrže; ovlivnění průtokového režimu; VD Švihov.

Abstract

The Government Decree on the method and criteria of determining of compensation water caused a requirement to find and determine the reaches of water courses, which are heavily influenced by the service of storage reservoirs. The determining method, which has been chosen, is based on the basic parameters of water works, average parameters of water management, and the basic stats of the hydrological regime. The main purpose of this article is to introduce and characterize the method and its weaknesses, especially in the relation with water reservoirs and its systems with the significant water transfers into other catchments.

Keywords: compensation water; storage reservoir; impact on flow regime; Water Work Švihov.

Úvod

Provozem velkých vodních nádrží s akumulčním (zásobním) prostorem dochází k ovlivnění hydrologického režimu řady vodních toků. K vymezení úseků vodních toků, u nichž dochází k významnému ovlivnění průtoku vybranými druhy nakládání s vodami, byla připravena metodika, jejíž vznik byl iniciován přípravami nařízení vlády o způsobu a kritériích stanovení minimálního zůstatkového průtoku.

Ačkoli tato metodika nabízí poměrně snadné a rychlé vyhodnocení nadlepšovacího efektu nádrží, svým rozsahem nepostihuje případy ovlivnění vodních toků nádržemi s významným převodem vody do povodí jiného vodního toku.

Metodika

Metodika určení významně ovlivněných úseků vodních toků je založena na jednoduché aproximační metodě. Zahrnuje základní parametry vodních děl, průměrné parametry nakládání s vodou a základní parametry hydrologického režimu. Naopak zanedbává variabilitu ovlivnění hydrologického režimu toků z hlediska dlouhodobého i z hlediska sezónního, a další podrobnější aspekty. Metodika zahrnuje nejen vyhodnocení vlivu vodních děl sloužících k akumulaci povrchových vod na hydrologický režim vodních toků, ale také případné posouzení vlivu nakládání s povrchovou vodou. Primárně je vyhodnocován vliv akumulčních nádrží. Za předpokladu, že není prokázán vliv akumulace, lze přistoupit k vyhodnocení ovlivnění vlivem nakládání. Tento příspěvek se zabývá pouze částí metodiky týkající se vlivu akumulace na hydrologický režim vodních toků.

Připravované nařízení vlády o způsobu a kritériích stanovení minimálního zůstatkového průtoku využívá jako podkladů hydrologických dat m-denních průtoků z katastru Českého hydrometeorologického ústavu za období 1980–2010. Po většinu tohoto období byla již v provozu většina stávajících akumulčních kapacit povrchových vod na tocích, tedy průtoky z tohoto historického období jsou již ovlivněny jejich provozem, a to ať už se jedná o nadlepšení, nebo o ochuzení určitých úseků toků.

Správci akumulčních nádrží se snažili prosadit, aby byly minimální zůstatkové průtoky v profilech na tocích, ovlivněných provozem akumulčních nádrží, posuzovány jinak, než profily, kde k tak značnému ovlivnění průtoků nedochází. A to zejména proto, že nadlepšovací efekt nádrží je nejvíce patrný během vodních deficitů, tedy se nejvíce projevuje právě na statistických agregátech, charakterizujících ty nejnižší průtoky. A tyto hodnoty jsou právě směrodatné pro určení minimálních zůstatkových průtoků.

Metodika se snaží určit, jakou délku toku směrem po proudu dosahuje vliv nadlepšení. V podstatě stanovuje, že je-li zásobní prostor vodního díla alespoň třemi procenty průměrného ročního proteklého množství daným profilem, je tok od vodního díla až po tento profil provozem vodního díla ovlivněn.

Vliv provozu velkých vodních nádrží

Hodnocení vlivu vodních děl sloužících pro akumulaci povrchové vody probíhá v profilech (dílčích úsecích) vodního toku, postupně se od nádrže vzdalujících. Jednotlivé úseky jsou vymezeny existujícími měrnými profily, tj. limnigrafickými stanicemi, u nichž je evidovaná hodnota dlouhodobého průměrného ročního průtoku „ Q_a “. V každém dílčím profilu se tak stanovuje parametr „ β “, který představuje koeficient nadlepšení průtoku a je dán poměrem objemu zásobního prostoru akumulční nádrže „ V_z “ a objemu „ W “, který je stanovený z dlouhodobého průměrného

ročního průtoku „ Q_a “, a reprezentuje tak celkový průměrný roční objem vody proteklý daným měrným profilem. Koeficient „ β “ lze určit z následující rovnice [7]:

$$\beta = \frac{V_z}{W} = \frac{V_z}{Q_a \cdot T}$$

kde β ... koeficient nadlepšeného průtoku (-)
 V_z ... zásobní objem akumulární nádrže (m^3)
 W ... průměrné roční odtokové množství (m^3)
 Q_a ... dlouhodobý průměrný roční průtok v měrném profilu (m^3/s)
 T ... časový úsek – rok (s)

Pokud je v daném úseku vodního toku stanovena hodnota koeficientu nadlepšeného průtoku $\beta > 0,03$, jedná se o akumulaci ovlivněný úsek vodního toku. U kaskády vodních nádrží se jejich zásobní objemy počítají. Obdobně tomu je i v případech, kdy dochází k posouzení vlivu nádrží na dvou a více vodních tocích pod jejich soutokem.

Nejednoznačnost metodiky

Použití dlouhodobého průměrného ročního průtoku „ Q_a “, pro vyhodnocení ovlivnění úseků vodního toku, není zcela ideální volbou, jelikož tento parametr dostatečně nereprezentuje současné hydrologické podmínky, které panují na celém území České republiky. V teplejších letních měsících dochází vlivem nedostatku srážek k poklesu průtoků ve vodních tocích pod hranici Q_{355d} průtoku, který je doposud stále považován za hranici počátku „administrativního“ sucha. Použití parametru „ Q_a “, případně jeho procentuální části, má své opodstatnění pouze z toho důvodu, že se jedná o nejsnáze dostupný statistický agregát průtoku v měrných profilech.

Úskalím popsané metodiky není pouze volba parametru Q_a , ale také způsob hospodaření s vodou ve vodních nádržích. U nádrží, které zajišťují nadlepšení průtoku ve vodním toku, ať už přímo pod profil hráze, nebo formou odběru a následného zpětného vypouštění do téhož vodního toku nad posuzovaný profil, je stanovení míry ovlivnění průtoku výše položenou akumulární nádrží pochopitelné. Nejednoznačné je posouzení u nádrží, u nichž dochází k významným odběrům vody a k následnému vypouštění mimo povodí posuzovaného vodního toku, nebo pod posuzovaný úsek vodního toku, na kterém se vodní nádrž nachází.

Takovým případem může být například vodní dílo Švihov na Želivce v povodí Vltavy, kde dochází k významnému odběru vody pro úpravnu vody Želivka, jehož průměrná hodnota v současné době dosahuje cca $3,2 m^3/s$. Odtud je upravená voda dopravována téměř 52 km dlouhým štolovým přiváděčem do Prahy a okolí ke koncovým uživatelům. [6] Převážná většina této vody se navrácí do povodí vodního toku Vltavy pod pražskou ČOV/ÚČOV, což lze s určitým zjednodušením chápat jako jistou formu nadlepšení průtoku ve vodním toku Vltavy z nádrže Švihov.

Obdobně jako u vodní nádrže Švihov, ne však v takové míře, dochází k převodům vody u několika dalších vodárenských nádrží v povodí Vltavy, a to například u nádrže VD Římov nebo VD Nýrsko.

VD Římov

Z hlediska objemu a velikosti odebíraného množství vody je vodní dílo Římov největší vodárenskou nádrží v jižních Čechách. Vodní dílo je situováno na říčním kilometru 21,85 toku Malše jižně od Českých Budějovic. Surová voda odebíraná pro úpravu na vodu pitnou je dopravována do Úpravný vody Plav. Jedná se o hlavní zdroj pitné vody pro oblast jižních Čech. [1]

Hlavním účelem vodního díla je zajištění odběru vody z nádrže v průměrném množství $1480 l/s$ pro účely vodárenské a provozní. Mezi další hlavní účely v pořadí patří zabezpečení MZP v toku Malše pod hrází vodního díla a zabezpečení průtoku $1,2 m^3/s$ v profilu Roudné při intervenčním nadlepšení. Hodnota sáňacího průtoku pod hrází (MZP) činí $650 l/s$. [2]

Voda, odebraná z VD Římov na Malši se navrácí zpět do povrchových vod výpustným objektem ČOV pod Českými Budějovicemi a na několika dalších místech.

VD Nýrsko

Vodní dílo Nýrsko na Úhlavě představuje zásobárnu surové vody pro zajištění odběru vody pro úpravu na vodu pitnou pro úpravnu v Milencích ($352 l/s$) k zásobení Klatovska a Domažlicka pitnou vodou. Vodárenská nádrž také v případě potřeby zajišťuje nadlepšení průtoku ve vodním toku pod hrází pro vodárenský odběr v Plzni. Mezi hlavní účely vodního díla patří zabezpečení zmíněných vodárenských odběrů a minimálního zůstatkového průtoku v hodnotě $360 l/s$ pod hrází VD. [3, 4]

VD Švihov (Želivka)

Přehradní nádrž slouží především k akumulaci povrchové vody pro vodárenské využití. Nádrž je zdrojem pitné vody pro Prahu, středočeskou oblast a část jihočeské a východočeské oblasti. Průměrný roční povolený odběr činí $5,25 m^3/s$. Mezi další účely vodního díla patří zajištění minimálního zůstatkového průtoku ve vodním toku v hodnotě $0,35 m^3/s$, a kompenzační nadlepšování v Sázavě v letním období. [5, 6]

Vodní nádrž Švihov s úpravnou vody Želivka je jedním ze tří hlavních zdrojů pitné vody pro Středočeský kraj a hl. m. Prahu, které je zároveň největším odběratelem pitné vody. Mezi další zdroje pitné vody zásobující hl. m. Prahu a okolí patří úpravny vody Káraný a Podolí. V současnosti je pro výrobu pitné vody využívána úpravna vody Želivka a Káraný. Úpravna vody Podolí byla uvedena do tzv. „studené rezervy“ a je uvažována jako náhradní zdroj pro havarijní situace. [8]

Část pitné vody vyrobené v úpravně vody Želivka je vedena samostatným systémem (HU-PE-PA) na území kraje Vysočina. Hlavní objem vody je však dopravován padesátikilometrovou štolou z úpravný vody Želivka, která je ukončena ve vodojemu Jesenice I. Z úpravný vody Káraný do Prahy zajišťují dopravu vody tři přírodní řady. Západní a východní část města, včetně centra, je zásobena pitnou vodou z Želivky, severní a severovýchodní část pak vodou z Káraného. V určitých částech distribuční vodovodní sítě na území hl. m. Prahy dochází ke smísení pitné vody z Želivky a Káraného. Počet obyvatel zásobovaných pitnou vodou z distribuční vodovodní sítě dosahuje na území hl. m. Prahy cca $1,28$ mil. Mimo území hl. m. Prahy je to pak 200 tisíc obyvatel. [8, 9]

Distribuce pitné vody z úpravny vody Želivka: [8, 9]

1. z úpravny vody Želivka – gravitačně zásobována obec Nesměřice
2. vodovod Želivka – Ledec (2 větve výtlačného řadu)
 - zabezpečení zásobení města Zruč nad Sázavou a dopravy pitné vody na Havlíčkovobrodsko
3. vodovod HU-PE-PA – samostatně veden z úpravny vody Želivka na území kraje Vysočina
 - Zásobení obcí **Humpolec**, Čechtice, Dolní Kralovice, Košetice, **Pelhřimov**, Červená Řečice, Želiv, **Pacov**, Senožaty atd.
4. ze štol (ÚV Želivka – VDJ Jesenice I.)
 - vodovod Štěpánka (Trhový Štěpánov, Vlašim)
 - vodovod Všehrapy – Divišov
 - Skupinový vodovod Benešov – Sedlčany
 - Velké Popovice, Senohraby

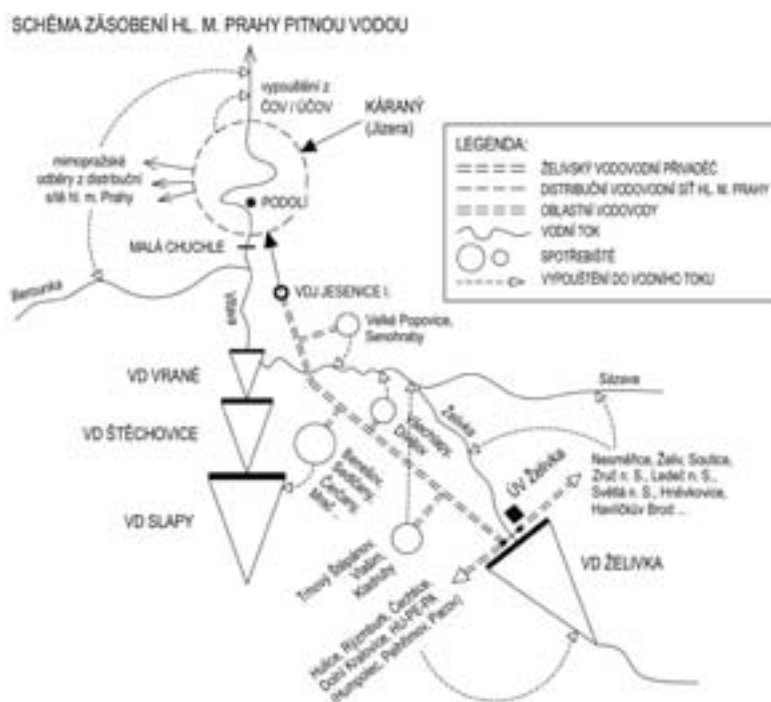
Výsledky a diskuse

V následující tabulce (Tabulka 1) jsou uvedeny průměrné roční hodnoty odtoku „O“ a průtoku „Q“ pod vybranými vodárenskými

nádržemi ve správě státního podniku Povodí Vltavy ve vztahu k minimálním zůstatkovým průtokům uvedeným v platných manipulačních řádech příslušných vodních děl. Velikost „Q“ vyjadřuje část průtoku ve vodním toku přesahující hodnotu MZP. Tabulka také znázorňuje průměrné roční hodnoty vodárenských odběrů „Oúv“, které tak ochuzují průtok ve vodním toku pod nádrží. Tuto skutečnost si lze náležitě představit na příkladu vodní nádrže Švihov na Želivce. Převod vody z ÚV Želivka je schematicky znázorněn na následujícím obrázku (Obrázek 1).

Z metodiky pro posouzení ovlivnění toku provozem výše položené akumulací nádrže vychází úsek Želivky pod VD až po soutok se Sázavou, a úsek Sázavy od soutoku s Želivkou po soutok s Vltavou, jako významně ovlivněný, což ale nereflexuje skutečnost, že z vodní nádrže dochází k nezanedbatelnému odběru vody pro úpravnu vody Želivka, a následnému „převodu“ vody mimo povodí Želivky a Sázavy. Vodárenský odběr činil v roce 2018 více než sedminásobek části průměrného průtoku ve vodním toku přesahující hodnotu MZP – „Q“ (viz. Tabulka 2)

K názornější představě provozu vodní nádrže Švihov byl sestaven graf znázorňující hodnoty průměrného denního bilančního přítoku do nádrže, odtoku z nádrže, odběru vody pro úpravnu vody, MZP a průběhu hladiny v nádrži za kalendářní rok 2018.



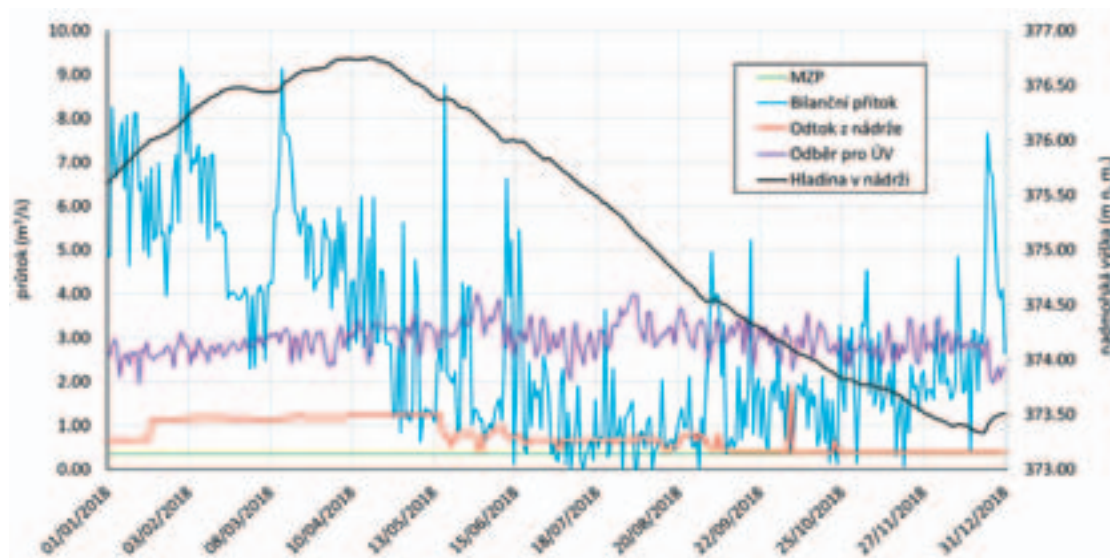
Obrázek 1. Schéma převodu vody z VD Švihov (Želivka)

Tabulka 1. Průměrné roční hodnoty průtoků a odběrů vybraných nádrží

Kalendářní rok	2017				2018		
	MZP	O	Q	Oúv	O	Q	Oúv
	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
VD Švihov (Želivka)	0.35	1.08	0.73	2.85	0.76	0.41	2.95
VD Římov	0.65	2.02	1.37	0.51	2.12	1.47	0.50
VD Nýrsko	0.36	1.08	0.72	0.35	0.94	0.58	0.35

Tabulka 2. Podíl průměrného ročního odběru Oúv / Q (%)

Vodní dílo / rok	2017	2018
VD Švihov (Želivka)	392	724
VD Římov	37	34
VD Nýrsko	49	60



Graf 1. VD Švihov (Želivka) – průběh hladiny, přítoku, odtoku a odběru – 2018

Výsledek roční bilance (2018) nádrže VD Švihov zahrnující celkový bilancovaný přítok, odtok a odběr je následující:

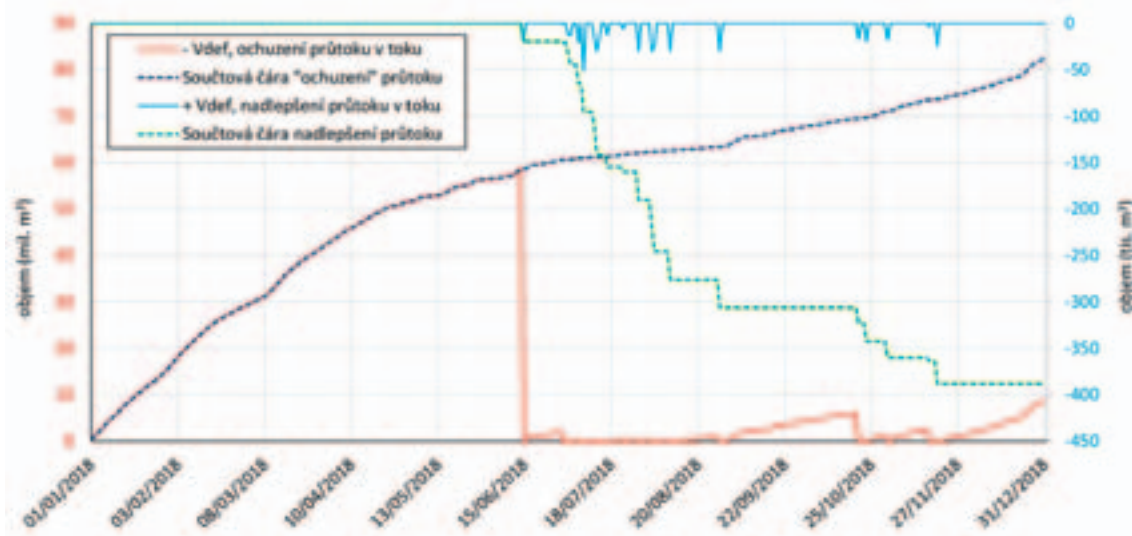
– přítok	„P“	93,08 mil. m³
– minimální zůstatkový průtok	„MZP“	11,04 mil. m ³
– část nadlepšení nad hodnotu MZP	„Q“	12,84 mil. m ³
– odtok VH částí	„O=MZP+Q“	23,88 mil. m³
– odběr pro ÚV	„Oúv“	93,02 mil. m³
– bilance objemu nádrže	„ΔV“	- 23,82 mil. m³

Z bilance je zřejmé, že během roku 2018 došlo k částečnému povypřázdnění vodní nádrže Švihov. Objem zásobního prostoru klesl o téměř 24 mil. m³, což dokládá i pokles hladiny v nádrži, který započal v druhé polovině měsíce dubna.

Ačkoliv je z grafu průběhu hladiny, přítoku, odtoku a odběru (Graf 1) a bilance zřejmé, že vodní nádrž Švihov výrazně nadlepšuje průtok pod vodním dílem, hlavním účelem vodní nádrže Švihov, tj. zajišťováním vodárenského odběru, dochází k značnému ochuzení vodního toku Želivky pod hrází vodního díla a povodí řeky Sázavy, což lze, ač nepřímě, doložit rozdílem mezi bilančním přítokem do nádrže „P“ a odtokem z nádrže „O“ za posuzovaný rok 2018, který dosáhl hodnoty 69,2 mil. m³. Kdybychom

porovnali odebrané množství vody pro vodárenské účely „Oúv“ a množství vody oteklé VH částí „O“, získali bychom jen nepatrně nižší hodnotu rozdílu, a to 69,14 mil. m³ ve prospěch odběru. Přítok do nádrže a odběr vody pro ÚV za rok 2018 byl téměř totožný. Graficky lze problematiku nadlepšení/ochuzení průtoku v toku provozem vodní nádrže Švihov demonstrovat na následujícím grafu (Graf 2), který zobrazuje vyhodnocení přítoku do nádrže vzhledem k hodnotě minimálního zůstatkového průtoku pod nádrží. Zobrazovacím parametrem byly zvoleny kumulativní deficity přítoku a to kladné pokud nádrž ve vztahu k MZP průtok v toku nadlepšuje, a záporné pokud nádrž ve vztahu k MZP svým provozem tok ochuzuje. Kumulativní křivka „ochuzení“ průtoku v toku je v grafu znázorněna červeně. Modře je pak vykreslena kumulativní křivka „nadlepšení“ průtoku v toku.

V grafu jsou kromě kumulativních křivek zobrazeny také součtové čáry nadlepšení (fialově) a ochuzení (zeleně) průtoku v toku. Z průběhu součtové čáry nadlepšení je zřejmé, že od polovina června 2018 byl místy přítok do nádrže nižší než hodnota minimálního zůstatkového průtoku v toku, což nebylo evidováno v první polovině roku ani v jednom případě. Tato skutečnost souvisí s počátkem letního období s nedostatkem srážek a výskytem vysokých teplot. Míru ovlivnění průtoku v toku nádrží



Graf 2. VD Švihov (Želivka) – vyhodnocení přítoku do nádrže – 2018

Švihov dostatečně charakterizuje rozdíl součtových čar, který činí 82,04 mil. m³ ve prospěch čáry „ochuzení“. Část takto uspořené-
ho objemu vody se v roce 2018 sice využila k navýšení průtoku
v toku nad hodnotu MZP (12,84 mil. m³), ale zbytek tohoto obje-
mu 69,2 mil. m³ byl využit pro vodárenské účely. Roční odebrané
množství pro úpravnu vody Želivka bylo v roce 2018 dokonce
dotováno objemem 24 mil. m³ z víceleté složky zásobního objemu
nádrže Švihov.

VD Švihov (Želivka) je názorným příkladem nedostatečnos-
ti metodiky pro vymezení významně ovlivněných úseků vodních
toků vlivem akumulačních nádrží. Odebraná voda z nádrže Švi-
hov, resp. upravená voda z ÚV Želivka, se z velké části navrácí
do povodí řeky Vltavy až prostřednictvím pražské ČOV na Císař-
ském ostrově na toku Vltavy pod Prahou, což představuje průtok,
o který je ochuzena značná část toku Sázavy a nezanedbatelný
úsek toku Vltavy.

Závěr

Jako řešení by se nabízelo matematicky odpočíst z historických
dat ovlivnění průtoků provozem akumulačních kapacit, což však
naráží na nedostatek vstupních dat. Neboť zatímco odtok i odběr
z vodních děl je měřen, vypouštění měřeno není. U akumulač-
ních kapacit, kde dochází prostřednictvím vodárenského odběru,
spotřeby vody a jejího následného vypouštění k velkému převodu
vody do povodí jiného toku, je prakticky nemožné určit, jak vel-
kým množstvím vody a s jakým časovým průběhem došlo k nad-
lepšení. Krom toho, vodárenské soustavy jsou různě propojené
a ne všechna vypouštěná voda pochází výhradně z dominantního
zdroje povrchové vody.

Nezbývá tedy než nalézt jinou metodiku, která určit míru
ovlivnění vodního toku tak, aby stratifikovala nejen míru ovliv-
nění, ale i jeho směr.

Použité zdroje

- [1] Povodí Vltavy, státní podnik [online]. VD Římov. [vid. 31. 7. 2019]; Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/rimov.pdf>
- [2] Povodí Vltavy, státní podnik, *Manipulační řád vodního díla Římov na Malši*. Praha, 2016.
- [3] Povodí Vltavy, státní podnik [online]. VD Nýrsko. [vid. 31. 7. 2019]; Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/nyrsko.pdf>
- [4] Povodí Vltavy, státní podnik, *Manipulační řád pro vodní dílo Nýrsko na Úhlavě*. Praha, 2007.
- [5] Povodí Vltavy, státní podnik [online]. VD Želivka – Švihov. [vid. 31. 7. 2019]; Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/svihov.pdf>
- [6] Povodí Vltavy, státní podnik, *Manipulační řád pro vodní dílo Švihov na významném vodním toku Želivka (IDVT 10100022)*. CVHD Praha, 2018.
- [7] PATERA Adolf, NACHÁZEL Karel, FOŠUMPAUR Pavel: *Nádrže a vodohospodářské soustavy 10*. Vydavatelství ČVUT, 2002. 1. vyd. 217 s. 80-01-02620-5
- [8] Ministerstvo zemědělství [online]. *Plán rozvoje vodovodů a kanalizačních území České republiky, Středočeský kraj*, říjen 2007. [vid. 10. 9. 2019]; Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/22859/CZ021_Stredocesky_kraj.pdf
- [9] Pražská vodohospodářská společnost a.s. [online]. *Trendy při zásobování pitnou vodou, Bezpečnost technické infrastruktury Prahy a velkoměst ČR*, 16. 5. 2017. [vid. 10.9. 2019]; Dostupné z: http://www.top-expo.cz/domain/top-expo/files/smart-city/smart-city-2017/praha-bezpecnost-tech-infra/prezentace/12-zejdlík_petr.pdf

DOPAD ŠPIČKOVÉHO REŽIMU NA REPRODUKCI BOLENA DRAVÉHO

Daniel Bartoň, Allan T. Souza, Petr Blabolil, Jan Kubečka, Marek Šmejkal

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

Abstrakt

Špičkový režim (nárazové vypouštění většího objemu vody z nádrže) má negativní dopad na mnohé vodní organismy nacházející se ve vodních tocích. Pro rozmnožující se ryby může špičkový režim představovat zásadní faktor ovlivňující mortalitu jejich nejranějších stádií. V této studii jsme se zaměřili na vliv špičkového režimu na dospělce a jikry bolena dravého (*Leuciscus aspius*). Rozmnožující se část populace bolena na hlavním přítoku přehradní nádrže Švihov je při tření vystavena špičkovému režimu z vodních nádrží nacházejících se nad trdlištěm. Boleni byli v letech 2014–2018 značeni pasivními čipy a jejich přítomnost na trdlišti byla monitorována pomocí stacionárních čtecích zařízení. Reprodukčně aktivní boleni vyhledávali úseky řeky s rychlostí proudu přibližně $30 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. Zvýšení rychlosti proudu vysoko nad běžné hodnoty v denní špičce vedlo k odlepení většiny jiker. Špičkový režim aplikovaný v reprodukční sezóně reofilních ryb negativně ovlivňuje jejich doplnek, a proto doporučujeme jeho omezení v době reprodukce a vývoje jiker.

Klíčová slova: bolen dravý; reprodukce ryb; PIT-tag; špičkový režim.

Abstract

Hydropeaking (sudden release of large water volume from reservoir) has negative impact on riverine life located downstream of the dam. Hydropeaking may represent a serious threat influencing mortality of the fish earliest life stages. In the present study, we focused on the influence of hydropeaking on the eggs and adults of asp (*Leuciscus aspius*). Spawning part of population in the main tributary of Švihov Reservoir is exposed to hydropeaking from reservoirs located upstream. Asp were tagged by passive telemetry transponders in 2014–2018 and their presence on the spawning ground was recorded yearly. Reproductively active individuals spawn at approximate water speed of $30 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. Increase in water speed during hydropeaking event led to detachment of the majority of eggs. Hydropeaking regime in reproductive season of rheophilous fish negatively influence their recruitment, and we suggest its reduction during reproduction and egg development.

Keywords: asp; fish reproduction; PIT tag; hydropeaking.

NÁDRŽE A MINIMÁLNÍ PRŮTOKY VE VODNÍCH TOCÍCH

Vojtěch Broža

Katedra hydrotechniky, stavební fakulta ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha

Abstrakt

V průběhu současného víceletého sucha došlo k významnému výskytu stavu vodních toků bez patrného průtoku (i vyschlých koryt). Zřejmě to bylo narušení podmínek pro obecné využívání vodních toků, poškození hodnoty toků jako významného spolutvůrce krajinného a urbanizovaného prostředí, jistě o narušení biologické kontinuity atd. Negativní dopady těchto projevů sucha byly do jisté míry omezovány vodními nádržemi v rámci jejich programů hospodaření s vodou – spolu se soustavami zásobování vodou a zneškodňování odpadních vod, popř. dalšími účinky vodohospodářských soustav. Minimální odtoky z nádrží zajišťované s vysokou spolehlivostí a vyústění vyčištěných odpadních vod jsou realitou – na rozdíl od užívaného, avšak převážně správného termínu minimální zůstatkový průtok. Pokračující rozvoj dopadů změn klimatu přináší pro vodohospodáře obtížně řešitelné problémy hlavně v častých a hlubokých obdobích sucha. Proto je nezbytné realizovat účinná opatření pro akumulaci vody v povodích s dlouhodobým účinkem (umožňující přesun významných objemů vody z vodních období) – i v zájmu udržení hodnot vodních toků v životním prostředí.

Klíčová slova: hospodaření s vodou; minimální průtoky; obecné využívání vodních toků; vodní tok v prostředí.

Abstract

The important occurrence of the water courses without any appreciable flow (with dry channels) was discovered in the course of the present very long and deep period of drought. The standard conditions for global use of water courses were evidently disruption, the importance of revers for Environment was restrained, biological conditions interrupted. Some impacts of drought were moderated (to a certain extent) by the effect of water-storage reservoir within the framework of their program of water management – also in collaboration with the water supply and waste water treatment system; some other contributions bring existing complex water system. Minimum outflow from the reservoir ensured with the high reliability and outflow of the waste water treatment plants is very important for the water courses. Another term (frequently used) minimum residual flow is important mainly for the state water administration. The continual development of the climate changes offers new problem for the water management, mainly in connection with drought. It is indispensable to develop the effective precautions for the accumulation of water in the catchment areas – with long-term use (ensuring the transfer of large water volumes accumulated in the course abundant periods) – also with the important mission to ensure the qualities of water courses as the very important component of the Environment.

Keywords: water management; minimum flow; global use of water; water course and Environment.

Úvod

Pokračující dlouhodobé a extrémní suché období zasahuje svými negativními dopady celou naši společnost v široké škále dílčích účinků i globálně. Media často připomínají opakující se ztráty v zemědělství, postupně narůstá též počet případů, kdy dochází k narušení zásobování obyvatelstva vodou v důsledku vyčerpání hlavně podzemních zdrojů vody. Dosud málo obvyklý jev v našem prostředí – suchá koryta vodních toků, zaznamenaná i v oblastech považovaných za bohaté na srážky – se příliš nezdůrazňuje. To souvisí s širší problematikou minimálních průtoků ve vodních tocích, kde vedle společenského zájmu jejich využívání jako zdroje vody, energie a dalších efektů má mimořádný význam ekologické hledisko a velký přínos vodních toků pro hodnoty krajinného a urbanizovaného prostředí.

V našich přírodních poměrech charakterizovaných mj. omezeným vodním bohatstvím (v přepočtu ročního objemu vody na jednoho obyvatele patříme k „nejchudším“ v Evropě) je hospodaření s vodou mimořádně významnou prioritou, což pocítujeme hlavně v obdobích narůstajícího deficitu srážek při omezených možnostech tento krizový stav zvládat.

Hlediska ekologická

Vyděme z představy vodního toku v tzv. přirozeném stavu, tj. bez možnosti ovlivňovat odtokové poměry v povodí, jen s přirozenými překážkami v korytě ovlivňujícími kontinuitu vodního toku po jeho délce. Takový stav by zřejmě velmi dobře vyhovoval ve vztahu k zachování jeho ekologického potenciálu. Existují studie, které prokazují, že i za stavu koryta bez patrného průtoku nedochází ke krizovým stavům z hlediska biodiversity. Očekává se, že příroda se s těmito krizovými stavy nějak „pozitivně“ vypořádá. Taková koryta jsou ovšem velmi vzdálená představám o tzv. pstruhových vodách, používaných jako kritérium optimálního stavu vodních toků. Ostatně snahy o prosazení proklamované ideje v rámci EU, že zelená infrastruktura údajně zabrání suchu i povodním, by měly minimalizovat výskyt těchto jevů. Taková prohlášení nelze brát vážně ani jako politickou proklamaci, stejně jako řeči o „chytré“ krajině.

V konfrontaci se zkušenostmi z období extrémního víceletého suchého období je zřejmé, že realita je značně odlišná, opakovaně se vyskytly vodní toky, kde i po týdny nebylo možno pozorovat (natož měřit) nějaký průtok. Pro přežití rybí osádky takový stav znamená jen velmi omezené podmínky pro přežití. V mediích se opakovaně vyskytly snahy prosazovat řešení s hospodařením v krajině, znamenající návrat do let, kdy v zemědělství působila zhruba čtvrtina obyvatelstva v aktivním věku, zahrnující ve větší míře výskyt vodních útvarů v prostředí (ve srovnání se stavem před více než sto léty). Že ani takové záměry (ostatně iluzorní z hlediska realizace) nemusí stačit, to prokazují např. záznamy z kronik z dob, kdy krajina byla nepochybně jen velmi málo dotčena aktivitami člověka. F. Heřman, starosta a zároveň kronikář obce Štěchovice, shromáždil více citací o výskytu extrémních hydrologických jevů, počínaje Kosmovou kronikou. Např. je možno se dočíst, že „roku 1477 ploužila se Vltava ve strouhách v řečišti

jako několik malých potoků vedle sebe, bez jediné rybičky nebo raka. Lesy hořely.“ Připomíná i další extrémní sucha, např. v roce 1842 [1]. I když záznamy v kronikách je nutno hodnotit opatrně, extrémní hydrologické jevy zřejmě probíhaly a dopadaly na lidi i v podmínkách prakticky člověkem nedotčeného prostředí.

Zahrneme-li do našich úvah scénáře dopadů změny klimatu na odtokové poměry u nás, z nichž vyplývají četnější a hlubší výskyty extrémně suchých období, je zřejmé, že převažující ekologická koncepce ve vztahu k vodním tokům není v našich podmínkách omezeného vodního bohatství a dopadů hydrologických extrémů udržitelná pro svoji jednostrannost.

Hlediska společenská

V historickém kontextu je možno v průběhu staletí sledovat velmi úzký vztah vodních toků k postupující civilizaci, což prokazuje jejich význam pro rozvoj společnosti. Původní zájmy na jejich dopravním využití se rychle rozšířily o využívání vodní energie a pro nás zvláště významné využití jako vodního zdroje. K tomu je nutno připojit další cenné hodnoty pro člověka, zejména kulturně estetický podíl vodních toků při vytváření hodnotného urbanizovaného i krajinného prostředí, různé formy rekreačního využití atd.

Významnou součástí našeho dialogu s vodními toky se stalo zásadní omezení škod při výskytu extrémních povodní, ovšem aniž by se společnost vzdala bezprostředního kontaktu s nimi. Stále aktuálnější se stává potřeba zásadního omezení transportu znečišťujících látek do vodních toků, účinné řešení je ovšem obtížné a možnost snadno se zbavit znečišťujících látek touto cestou (dlouhodobě využívaná) tak lákavá (být v rozporu se zákonem).

Občan jako samozřejmost bere skutečnost, že vodní toky zásadním způsobem přispívají k jedinečnosti prostředí mnoha měst. Představitelé obcí se však příliš nevěnují stavu vodních toků v období sucha v urbanizovaném území, naproti tomu zpravidla velmi razantně prosazují opatření pro omezení povodňových škod.

Naši předchůdci již více než před sto léty dospěli k poznání, že v našich přírodních poměrech je nutno zajistit dostatek vody pro budoucí rozvoj výstavbou nádrží, zadržujících vodu pro využití

v obdobích jejího nedostatku. Díky postupnému budování vodohospodářsky významných a převážně víceúčelových vodních nádrží jsme byli schopni zajistit dodávku vody pro obyvatelstvo v současném kritickém období víceletého sucha, a to i za stavu, kdy v posledních desetiletích žádné nové akumulární objemy v našich povodích nebyly vybudovány. Zejména tam, kde jsou další významné nároky na odběry vody, však bylo nutno přijímat různá omezující opatření.

Zvýšená četnost vyschlých koryt vodních toků, a to i v oblastech, které jsou považovány za bohaté z hlediska srážek (např. v Beskydech), je pro českou krajinu netypický prvek nejen z hlediska její tvárnosti, ale zvláště jako znak kritického nedostatku vody, s bezprostředními dopady zejména v údolích vodotečí (i z hlediska zaklesnutí hladiny podzemní vody).

Z hlediska společenských potřeb je nezbytné při využívání vodních toků zajistit trvalý průtok v korytech vodních toků, zvláště tam, kde jde o jejich programové využívání pro vodohospodářské potřeby. Přitom je vždy třeba mít na zřeteli existenci v zásadě jediného zdroje vody u nás v podobě srážek, které jsou v dílčích povodích transformovány na odtok a evapotranspiraci (při nejhrubším rozlišení). Tu zvláště je třeba zdůraznit bezprostřední interakce vody vsáklé do horninového, resp. půdního prostředí a odtoku, kdy v období bez srážek se tato voda zásadně podílí na průtocích ve vodních tocích. Naopak při vyčerpání zásob vody pod úrovní terénu, zejména v širokých údolích vodních toků, voda z jejich koryt může „dotovat“ údolní nivy i vzdálenější lokality akumulace vody v podzemí.

Minimální průtoky

Minimální průtoky se stávají aktuální v obdobích bez srážek s dlouhým trváním přestávky mezi srážkovými epizodami. Aktivní povrchový odtok ustává, vodní toky jsou dotovány postupně se vyčerpávajícími zásobami vody z podzemí. Přitom existuje i ztráta podzemní vody vztlínáním do půdy. Krátkodobé srážkové epizody jsou pohlcovány výparem (hlavně při vysoké letní teplotě) a vegetací. V polovině 20. století, kdy se rozvíjely metody aplikované hydrologie, se studovaly mj. též čáry poklesu průtoků v bezsrážkových obdobích v závislosti na čase [2] jako prostředek pro



Obrázek 1. Ratibořský potok bez známek průtoku vody po dobu delší než měsíc (foto Vicenda – Povodí Vltavy)

předpověď příp. nedostatku vody. Proměnná čas přitom figuroval jako exponent (pod odmocninou) v používaném matematickém vyjádření. Celý proces ovšem ovlivňuje geologická stavba povodí vodního toku. S ohledem na skutečnost, že u nás převažují vyvřelé a metamorfované horniny, jsou z časového hlediska podmínky pro dotaci vodních toků z podzemí dost omezené.

Zajištění minimálního průtoku pro potřeby v konkrétních úsecích vodních toků má zásadní význam v rozvoji využívání území zejména v jejich širším okolí. V extrémně suchých obdobích jsou ovšem možnosti zajistit tyto průtoky značně omezené. Četné poznatky o malém vodohospodářském významu i extrémních srážek přívalemového typu, které se jen nepatrně odrazí v nárůstu průtoků ve vodních tocích, byly pracovníky ČHMÚ vícekrát zveřejněny. V úvahu tu přicházejí pouze nadlepšovací účinky nádrží vybudovaných výše v povodí, v nichž je dostatečný objem akumulován v předcházejících vodnějších obdobích.

Nelze pominout ani soustředěné vypouštění odpadních vod – jako návrat vody odebírané a po vyčištění vrácené do vodních toků. Pro lepší představu 600 milionů m³ vody upravené každoročně na pitnou představuje vyrovnaný „průtok“ při návratu do vodních toků téměř 20 m³/s. Na rozdíl od vodohospodářsky významných vodních nádrží vyústění vyčištěné odpadní vody jsou stovky a pokrývají celé území státu. Pokud je vyústění doplněno stabilizačními nádržemi, poskytují zejména malým vodním tokům relativně kvalitní vodu pro jejich funkci v prostředí. Z toho zhruba polovina připadá na vodní nádrže (jako komplexní efekt zdrojové a uživatelské složky). Tyto stavy zachycuje kontinuálně probíhající vodohospodářská bilance v rámci povodí, z níž je možno vyčíst, kde je voda odebírána a kde se vrací do vodních toků.

Velmi často užívaným pojmem v oboru vodních toků je tzv. minimální zůstatkový průtok. Jde o pojem někdy z šedesátých let 20. století. Tehdy se v rámci Evropské hospodářské komise skupina expertů zabývala možností doporučit vhodnou metodiku pro stanovení průtoku, který by měl být ponechán v korytě vodního toku pro uspokojení okolního obyvatelstva, resp. ve veřejném zájmu. Tehdy se nedospělo ke konkrétnímu návrhu, za racionální se považovalo spíše individuální posuzování v každém konkrétním případě [3].

Naše názvoslovné normy ve vodním hospodářství definují *minimální zůstatkový průtok* jako minimální průtok povrchové vody, který je nutno ponechat ve vodním toku pod vodohospodářskými díly a pro odběry vody pro udržení základních vodohospodářských a ekologických funkcí tohoto toku. Z toho je zřejmé, že kategorie minimálního zůstatkového průtoku je vyhrazena pro případy, kdy jde o zasahování do přirozených odtokových poměrů vodního toku a má sloužit vodohospodářským úřadům při jejich rozhodování.

Ve skutečnosti je prostor pro uplatnění hledisek minimálního zůstatkového průtoku podstatně omezen. V případě nádrží pro hospodaření s vodou je součástí požadavků, zakotvených v manipulačních řádech a vodohospodářských plánech *minimální zabezpečený odtok z nádrže*, který je nutno závazně dodržet. Jeho zabezpečení je zpravidla shodná se zabezpečeností odběrů v rámci hlavní funkce nádrže. U vodárenských nádrží je tato zabezpečení vyžadována takřka stoprocentní, stejně tak jako v případě strategicky významných provozů (např. jaderných elektráren). Hodnota minimálního zabezpečeného odtoku z nádrže, který velmi často rovněž nepřesně označujeme jako minimální zůstatkový průtok (asi pro zjednodušení, leč asi nevhodně) je větší. Stačí si porovnat požadavek na odtok z nádrže s případem odběru vody z vodního toku. Tam v okamžiku, kdy průtok poklesne pod úředně stanovenou hodnotu minimálního zůstatkového průtoku, odběratel nemá nárok vodu odebírat. Ve skutečnosti může nedostatek průtoku v korytě vyústit až v suché koryto,

třeba po řadu týdnů, z vodoprávního hlediska je to však v pořádku. Pro stanovení minimálního odtoku z nádrže se taková „benevolence“ nepřipouští.

Je skutečností, že v zahraničí se často setkáváme s případy, kdy minimální odtok z nádrže do koryta toku není stanoven. Takové řešení se např. přijímá u hydroenergetických děl v horách, kde se pro soustředění vody v nádrži budují soustavy přiváděčů, takže hodnota každého dílčího objemu vody je mimořádně cenná. Jindy je to v oblastech, kde vyschlá koryta toků jsou běžným jevem atd. V našich podmínkách má nadlepšování minimálních průtoků nad hodnotu v tzv. přirozeném stavu v suchých obdobích již dlouhou tradici. Ve Státním vodohospodářském plánu před 65 roky již bylo zakotveno nadlepšování minimálních průtoků, uplatňovalo se však již dříve v rámci konkrétních vodohospodářských projektů jako kompenzace. Ta se ostatně považovala za vhodnou i v případě odběrů podzemní vody – pomocí opatření pro zlepšení „postiženého“ vodního toku. Dnes se touto problematikou zabývá málokdo a výsledkem je významné ochuzení dotčených vodních toků (např. Svitavy, Pšovky atd.).

Nejčastějším požadavkem bylo zajistit minimální odtok z nádrže rovný třístapětapadesátidennímu průtoku (v přirozeném stavu), což ostatně bylo požadováno i ve Státním vodohospodářském plánu. Důvody zřejmě byly pragmatické, konkrétní hodnoty byly k dispozici u státní instituce – hydrometeorologického ústavu. Přitom se asi příliš nepřemýšlelo o tom, že ve vztahu k dlouhodobému průměrnému průtoku může jít např. jen o jeho dvacetinu, jinde o více než čtvrtinu. V konkrétní praxi se navíc dost přihlíželo ke specifickým podmínkám umístění nádrže z hlediska sítě vodních toků, popř. dalším místním vodohospodářským požadavkům; stanovení minimálního odtoku z nádrže bylo často předmětem jednání odborníků. Z hlediska odtokových poměrů daný minimální odtok nádrže směrem po toku relativně ztrácí na významu, reálně však trvale přispívá k hodnotě vodního toku i jeho okolí.

Jakou hodnotu je možno přisoudit konkrétnímu minimálnímu zabezpečenému odtoku z nádrže – ve srovnání s minimálním zůstatkovým průtokem? Je to zřejmě obtížné, ale je možno se např. opřít o hodnotu nádržního objemu, který přispívá k jeho vysoké zabezpečenosti, kde se bohužel v budoucnu může výrazně projevit vliv změny klimatu na průtoky v suchých obdobích. Zřejmě by nebyl přehnaný odhad odpovídající zhruba třem procentům průměrného ročního objemu odtoku z daného povodí – konkrétně např. při průměrném průtoku kolem 10 m³/s by šlo o potřebný objem zhruba 10 milionů m³.

Poznámka na okraj: S minimálním zůstatkovým průtokem se musejí vypořádávat majitelé, resp. provozovatelé malých vodních elektráren, kteří hlavně v dlouhých suchých obdobích jsou nuceni výrobu elektřiny přerušit. Pokud by jim provoz umožňovaly funkční vlastnosti turbín, rozhodující je tu výměr vodohospodářského úřadu. Přitom poněkud upadly v zapomnění návrhy K. Haindla (v letech 1975–1987) [4], který prosazoval aeraci a oxygenaci minimálního průtoku pomocí doplňkového zařízení na principu prstencového vodního skoku v potrubí se zaústěním do tlakového režimu, což hodnotil jako podstatně významnější přínos pro stav kyslíku v tocích pod jezy než přepad vody přes korunu do vývaru. Takové řešení se jeví aktuální u malých elektráren bezprostředně při jezu nebo při krátkém derivačním kanále.

Závěr

Minimální průtoky ve vodních tocích v průběhu dlouhodobého a hlubokého sucha tam, kde v minulosti byly vybudovány vodní nádrže s hlavní funkcí hospodařit s vodou, vedle spolehlivého pokrytí hlavních požadavků na odběr vody byly trvale nadlepšovány. Tu je vhodné připomenout Vltavu pod Prahou a spolu s ní významně nadlepšovanou Ohří i Labe, které přinášejí významný vodohospodářský efekt i mimo hranice ČR. Tu stačí připomenout, že v roce 1934, kdy rovněž probíhalo extrémní víceleté suché období, minimální průtok na dolním Labi byl $34 \text{ m}^3/\text{s}$, v současném ještě extrémnějším období byl více než dvojnásobný. Obdobně tomu je např. na Dyji a dolní Moravě i dolním úseku Odry, popř. dalších tocích.

V menším rozsahu z hlediska rozlohy povodí, ale rovněž účinně, pomáhají další vodní díla. Např. na Berounce, kde se hospodáří s vodou na desítky v minulosti vybudovaných nádrží, bylo možno díky soustředěnému nadlepšení na vlastním toku zaznamenat v průběhu nedávných suchých let výrazně menší pokles minimálních průtoků, než tomu bylo v suchých obdobích první poloviny 20. století.

Znovu je třeba připomenout, že svůj významný podíl tu mají existující vodohospodářské, resp. vodárenské soustavy, které svým režimem odběru a vypouštění vod mají rovněž významný vyrovnávací účinek.

Pokud chceme opravdu výrazně přispět k prevenci negativních dopadů rozvíjejících se projevů změny klimatu na odtokové poměry u nás, bez programového vytváření nových akumulačních objemů pro dlouhodobé zadržení vody v povodích se neobejdeme. Tu často uváděné propojování soustav k řešení problému příliš nepomůže, pokud nebudeme kriticky hodnotit zejména spolehlivost odběru vody z potenciálních zdrojů, jejich zastupitelnost v případě nutnosti rekonstrukcí vyžadujících přerušení odběru vody na delší období, resp. dostupnost ve vodohospodářsky pasivních oblastech. Správci povodí dnes nemají prakticky

žádné možnosti napomoci k omezení negativních dopadů dlouhodobého sucha např. v horním povodí Moravy, Labe a dalších významných vodních toků, ani pokud se jedná o problematiku obecného užívání vodních toků. Také postupný nárůst vodohospodářských požadavků na vybudovaná vodní díla, v provozu již půl století, přináší provozovatelům četné problémy. To se týká mj. i nádrží v povodí Vltavy, kde významné posílení akumulačních možností se stává aktuální.

V rámci této problematiky by vodohospodáři a celá naše společnost měli věnovat větší pozornost než dosud mnohostrannému významu vodních toků v krajinném a urbanizovaném prostředí. V současné době se prosazují různé formy revitalizace, resp. návratu vodních toků do stavu přírodě blízkého. Pokud ovšem v takto transformovaných korytech nebude voda, bude takové počínání mnohým připadat jako „poněkud nešťastné“. Stejně bychom ovšem reagovali na situaci, kdyby ty minimální průtoky byly hygienicky závadné.

Literatura

- [1] VOTRUBA, Ladislav a Adolf PATERA. *Povodně v Čechách v dílech českých historiků a kronikářů (11.–19. století)*. Praha: ČVTVHS, 2004. ISBN 80-02-01681-5.
- [2] DUB, Oto. *Hydrológia, hydrografia, hydrometria*. Bratislava: SVTL, 1957. 484 s.
- [3] PLAINER, Jaroslav. *Vodohospodářská bilance*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1977.
- [4] HAINDL, K. *Aeration of Hydraulic Structures. Developments in Hydraulic Engineering*. Elsevier 1984
- [5] BALVÍN, Pavel. a VIZINA, Adam. *Stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků v podmínkách ČR*. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 2018, roč. 60, č. 2, str. 8–13. ISSN 0322-8916.



Obrázek 2. Vodárenská nádrž Nýrsko na Úhlavě spolu s Lučinou na Mži, Žluticemi na Střele a dalšími, zejména VD Hracholusky, přispívá k nadlepšení minimálních průtoků na Berounce

ÚLOHA VODNÍCH NÁDRŽÍ V SUCHÝCH LETECH

Marek Viskot

Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno

Abstrakt

V posledních letech je naše území trvale postihováno negativními účinky sucha. Dochází ke zvýšení průměrné roční teploty, vyskytuje se více tropických dnů v roce, jsou naměřeny menší roční srážkové úhrny, kdy místy chybí v území až průměrný roční srážkový úhrn. Vodnosti vodních toků klesají až pod 10 % dlouhodobého normálu, některé řeky zcela vysychají. Například v roce 2018 protékal v Moravě v profilu Strážnice průtok v množství 3,5 m³/s.

Za těchto uvedených podmínek tak výraznou a významnou úlohu sehrávají stávající vodní nádrže, které i za nulových přítoků zabezpečují dlouhodobě své účely – minimální průtoky ve vodních tocích, odběry surové vody pro pitné účely či závlahovou vodu. Záklesy hladin v nádržích byly mnohdy významné, ale k selhání nádrže nedošlo. Vodní nádrže tak opět ukázaly, že jejich pozitivní vliv není jen za povodní, ale i za sucha.

Klíčová slova: sucho; vodní nádrž; manipulace.

KONCEPČNÍ PŘÍPRAVA VD VLACHOVICE

Prokop Galatík¹, Jiří Švancara², Daniel Brázda²

¹ Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno, tel. +420 604 675 292, galatik@pmo.cz

² AQUATIS a.s., Botanická 834/56, 602 00 Brno

Abstrakt

Výstavba vodních nádrží včetně její přípravy je velmi komplikovaná činnost. Jedná se o multidisciplinární úlohu, kde se spolu setkávají požadavky na bezpečnost, optimální technické řešení, zapojení v rámci životního prostředí a společenský aspekt a celá řada potřeb. Impulzem k výstavbě vodní nádrže Vlachovice je snaha zajistit dostatek pitné vody. Samotná iniciativa k realizaci vodní nádrže vznikla z přímé potřeby občanů na základě opakujícího se sucha, a nedostatečnosti stávajících vodních zdrojů v celém regionu. Vodní nádrže mají v systému zásobování pitnou vodou svou nezastupitelnou úlohu jako spolehlivý a kapacitní zdroj kvalitní povrchové vody.

Klíčová slova: VD Vlachovice; výstavba přehrady; předprojektová příprava; pitná voda.

Abstract

Construction of water reservoirs is a very complicated challenge. It is a multidisciplinary task, where security requirements, optimal technical solution, environmental engagement, social aspects and a range of needs meet. The impulse for the construction of the Vlachovice reservoir is the effort to ensure sufficient amount of drinking water. The initiative itself was the result of a direct need of citizens and a recurrent drought, and the lack of existing water resources across the region. Water reservoirs play an irreplaceable role in the drinking water supply system as a reliable and capacity source of quality surface water.

Keywords: Vlachovice reservoir; dam construction; project draft; drinking water.

Úvod

Spojovacím článkem, rezonujícím v poslední době celou společností je klimatická změna. Příмым dopadem na obyvatele může být nedostatečná protipovodňová ochrana měst a obcí způsobená větší četností a intenzitou povodňových epizod a bleskových povodní. Na druhé straně se vlivem dlouhodobého sucha projevuje absence vodních zdrojů s požadovanou zabezpečeností – vodních nádrží k pokrytí potřeb na odběry vody pro obyvatelstvo, průmysl, zemědělství a zejména závlahy a zabezpečení ekologických podmínek pro vodní živočichy a na vodu vázané ekosystémy. Tuto funkci jsou v období dlouhodobého sucha a v období povodní schopny zabezpečit pouze víceúčelové vodní nádrže s dostatečným zásobním a retenčním prostorem. V rámci boje se suchem a v reakci na klimatickou změnu vláda zařadila mezi priority právě přípravu výstavby nádrže Vlachovice na Zlínsku.

V tomto příspěvku budou následně přiblíženy základní informace o lokalitě, popsán stav přípravy a předloženy vybrané otázky předprojektové přípravy VD Vlachovice.

Historie VD Vlachovice

Lokalitě Vlachovice předcházela od 50. let 20. století (Státní vodohospodářský plán XXVIII – Dolný Váh, 1954) lokalita Bohuslavice. Profil na Vlárě byl stanoven severně od obce Bohuslavice nad Vlárí. Vzhledem ke konfliktu se stávající zástavbou obcí Vlachovice a Vrbětice, byl v 70. letech profil hráze přesunut výše proti proudu, nad obec Vlachovice pod soutok Vlárky se Sviborkou (Směrný vodohospodářský plán ČSR, 1975). Uvažovaná zatopená plocha měla velikost 241,0 ha a celkový objem 30,2 mil. m³. Následně se uvažovalo zvýšením hráze až na 46 m, čímž by došlo k nárůstu zatopené plochy na 388,5 ha a navýšení celkového objemu na 58,6 mil. m³ (Směrný vodohospodářský plán ČSR, 1988).

Mezi lokalitami vhodnými pro akumulaci povrchových vod k územnímu hájení jsou Vlachovice také v „Plánu hlavních povodí“ z roku 2006. Umístění hrázového profilu zůstává nad obcí Vlachovice pod soutokem Vlárky se Sviborkou. Dokument „Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území“ (Generel LAPV) z roku 2011, posunuje profil hráze proti proudu, nad soutok se Sviborkou a uvažuje tak zatopenou plochu 156,30 ha.

Na Generel LAPV navázala technicko-ekonomická studie s názvem „Vlára, vodní dílo Vlachovice“ z roku 2015. V této studii byly uvažovány dvě velikostní varianty o parametrech: zatopená plocha 156,9 ha a celkový objem 18,5 mil. m³, a zatopená plocha 212,9 ha a celkový objem 29,1 mil. m³. V obou případech byl uvažován převod vody ze sousedních toků Smolinka a Sviborka. Výstupy studie dokládají nejen vysokou efektivnost vodního díla, ale také významný přínos pro lokalitu v povodí řeky Vlárky. Studie doporučila zvolit větší variantu vodního díla s ohledem na požadavek získání dostatečné kapacity potenciálního vodního zdroje.

Pro zdárný proces přípravy jakékoliv takto významné infrastrukturní stavby je nezbytná podpora veřejnosti a samospráv. Záměr byl proto samosprávám průběžně prezentován již od poloviny roku 2015. V roce 2017 byla navázána ještě užší spolupráce jak s obcemi, tak se Zlínským krajem. Příprava vodního díla Vlachovice je proto jednou ze strategických priorit Zlínského kraje. Výstupy studie byly projednány se Zlínským krajem a všemi dotčenými obcemi. Oslovené obce vyjádřily záměru předběžnou podporu za předpokladu, že budou zapojeny do procesu příprav a budou respektovány jejich oprávněné požadavky.

Předprojektová příprava byla schválena usnesením vlády č. 727 z 24. 8. 2016. V rámci předprojektové přípravy je zpracována podrobná technická studie, proveden inženýrsko-geologický průzkum a další relevantní průzkumné práce, a budou provedeny analýzy vlivu záměru na životní prostředí.

Usnesením vlády č. 243 ze dne 18. dubna 2018, k přípravě realizace vodních nádrží v regionech postihovaných suchem jako účinné opatření k omezení nedostatku vody a návrhu jejich financování, bylo uloženo dokončit předprojektovou přípravu



Obrázek 1. Přehledná mapa lokality



Obrázek 2. Vývoj umístění profilu

vodního díla Vlachovice a po dokončení předprojektové přípravy neprodleně zahájit projektovou přípravu vodního díla Vlachovice.

Usnesením vlády č. 257 ze dne 15. dubna 2019 byly schváleny Zásady pro vypořádání práv k nemovitým věcem dotčeným plánovanou realizací vodního díla Vlachovice. Tímto byl prakticky zahájen proces výkupu pozemků v místě zátopy, hráze a dalších souvisejících objektů vodního díla.

Ve vztahu k VD Vlachovice byla 2. září 2019 schválena mimořádná aktualizace Politiky územního rozvoje, což je nezbytným předpokladem pro aktualizaci zásad územního rozvoje Zlínského kraje a následné vydání příslušných územních rozhodnutí. Tento postup je průběžně koordinován a konzultován s Ministerstvem pro místní rozvoj a se Zlínským krajem.

Účel vodního díla

Hlavním účelem vodního díla je zajištění spolehlivého zdroje povrchové vody pro zásobování obyvatel pitnou vodou a pokrytí potřeb vody v území s nedostatkem podzemních zdrojů vody. Nádrž bude sloužit obyvatelům žijícím na území Zlínského kraje k zajištění zásobování pitnou vodou. Víceúčelové využití této nádrže bude spočívat také v *doplňkovém energetickém využití a v protipovodňové ochraně sídel ležících podél řeky pod uvažovanou nádrží*. Ta se jeví v daném případě obzvláště vhodná, protože přírodní podmínky zde vytvářejí riziko vzniku velmi rychlých a prudkých přívalových povodní, které vážně ohrožují několik sídel ležících na toku Vlárý.

Dalším zásadním účelem nádrže je nadlepšování nízkých přirozených průtoků pro zajištění nezbytných ekologických funkcí toku Vlárý v období sucha. To má zásadní význam pro udržení vodních a na vodu vázaných ekosystémů a rovněž pro zachování požadovaného ředění odpadních vod vypouštěných do toku nejen z čistíren odpadních vod.

Lokalita a základní parametry vodního díla

Lokalita širší zájmové oblasti se nachází ve Zlínském kraji v okrese Zlín, 22 km východně od města Zlín. Dotčená katastrální území jsou Vlachovice, Vlachova Lhota, Drnovice u Valašských Klobouk, Vysoké Pole, Újezd u Valašských Klobouk, Loučka, Tichov, Haluzice, Křekov, Lačnov, Valašské Klobouky, Mirošov u Valašských Klobouk a Smolina.

Přehradní profil je umístěn na vodním toku Vlára a její povodí tak zahrnuje i přítoky Benčice, Vysokopolský potok a Tichovský potok. Povodí toků Sviborka a Smolinka je zahrnuto pomocí převodů vody.

Zájmové území je součástí soustavy Vnější Západní Karpaty, podsoustavy Moravsko-slovenské Karpaty, celku Vizovická vrchovina, podcelku Luhačovická vrchovina a Komonecká hornatina. Nejsou zde evidovány významnější střety s ochranou životního prostředí.

Zátopou vodního díla protíná stávající silnice III. třídy a návrh se musí vypořádat i s její náhradou.

Přehradní profil je umístěn nad obcí Vlachovice ve vzdálenosti 550 m nad soutokem Vlárý a Sviborky. Vybraná varianta nádrže počítá s maximální hladinou na kótě 390,0 m n. m., výškou hráze 40 m s korunou na kótě 392,00 m n. m., plochou zátopy 212,9 ha a celkovým objemem 29,1 mil. m³.

Tabulka 1. VD Vlachovice – návrhové parametry

Parametr/nádrž	jednotka	VD Vlachovice
Typ hráze	–	sypaná zemní
Kóta hladiny	m n. m.	390,0
Celkový objem nádrže	mil. m ³	29,1
Plocha zátopy	ha	212,9
Max. výška hráze	m	40
Délka hráze	m	570
Šířka hráze v základové spáře	m	193
Nadlepšení průtoků	l/s	30
Plocha povodí	km ²	37,52
Prům. roční průtok	m ³ s ⁻¹	0,323

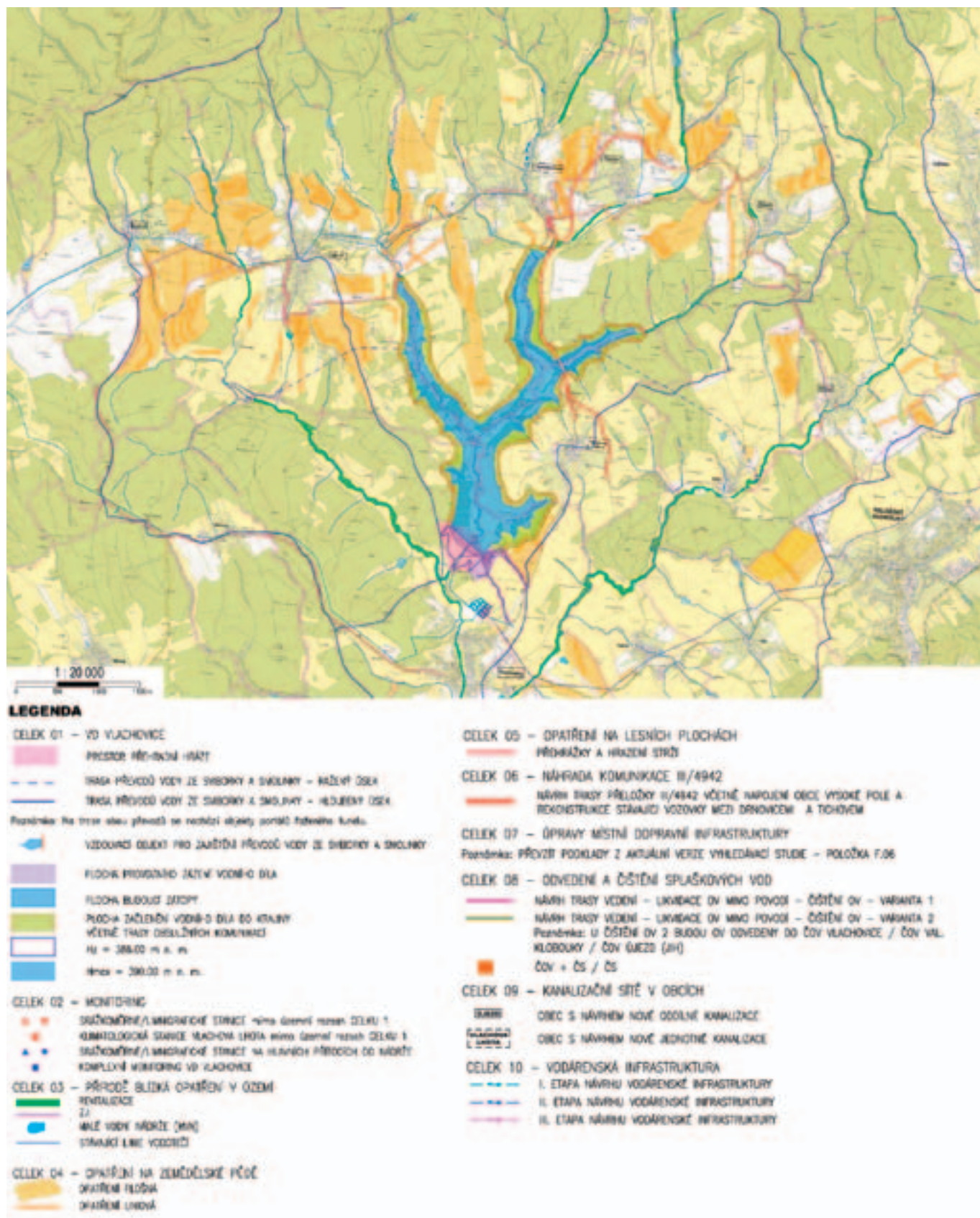
Skladba záměru

Záměr výstavby VD Vlachovice jako víceúčelové nádrže s hlavním účelem vodárenským je třeba pojímat jako komplexní soubor staveb a opatření, které společně zajistí přepokládané funkce vodního díla v koexistenci s existujícími sídly a s územím a zajistí rovněž vhodné začlenění záměru do krajiny a přírodního prostředí. Nejedná se tedy jen o vodní dílo samotné, ale rovněž o soubor vyvolaných a doprovodných investic, změn infrastruktury, změn využití území a provedení opatření zajišťujících dlouhodobé užívání nově vzniklého vodního zdroje a stabilizaci změněných poměrů v území.

Záměr je členěn na Celky, jejichž sestava je navržena s uvažováním jejich funkcí, očekávaných postupů jejich přípravy a možného financování.

Tabulka 2. VD Vlachovice – členění záměru

Celek	Název celku
01	VD Vlachovice (přehradní část, převody vody, soubor úprav a opatření)
02	Monitoring (srážkoměrné a limnigrafické stanice mimo VD)
03	Přírodě blízká opatření v území (soubor staveb a opatření)
04	Opatření na zemědělské půdě
05	Opatření na lesních plochách
06	Náhrada komunikace III/4942
07	Úpravy místní dopravní infrastruktury
08	Odvedení a čištění splaškových odpadních vod
09	Kanalizační síť v obcích
10	Vodárenská infrastruktura
11	Související opatření



Obrázek 3. Situace skladby záměru

Stav přípravy záměru VD Vlachovice

Níže v textu je proveden výčet jednotlivých dokumentací, které byly k dnešnímu dni zpracovány, případně jsou v současné době prováděny (např. IGP).

Výchozí technická studie [6]

Předmětem této studie bylo vypracování variantního řešení VD Vlachovice v údolí toku Vláry, na území vyplývajícím z Generelu LAPV. Řešení bylo uvažováno ve dvou variantách „menší“ a „střední“ nádrže, jak jsou uvedeny v Generelu. Součástí studie byl dále rozbor vodohospodářské situace v širším území, vliv stavby na současný stav území, prognóza jakosti vody a sanační opatření, socioekonomické dopady a finanční analýza.

Na základě všech ve studii uvedených hodnocení a argumentů byla doporučena a vybrána varianta č. 2.

Studie přírodě blízkých opatření v povodí Vláry [7]

Realizaci vodních nádrží jako technického prvku je nezbytné kombinovat s přírodě blízkými opatřeními v povodí, protože přínos vodních nádrží pro zadržování vody se uplatňuje poněkud odlišným způsobem. Zejména se jedná o provedení protierozních opatření za pomoci komplexních pozemkových úprav s doplněním o prvky retence vody v krajině, menší vodní plochy, krajinné prvky, revitalizaci koryt vodních toků apod. Identifikace možných doprovodných opatření v povodí a jejich konkrétní návrhy musí být proto nedílnou součástí komplexního řešení. Existence nádrží s vodárenským využitím zákonitě vyvolává tlak na změnu intenzivního hospodaření zejména na zemědělské půdě v povodí.

Předmětem této studie bylo tato možná doprovodná opatření v povodí identifikovat, navrhnout a vyhodnotit jejich realizovatelnost. V rámci studie byly návrhy rozděleny do 4 okruhů, řešící problematiku zvýšení retenční schopnosti krajiny odlišnými způsoby:

- revitalizační (doprovodná) opatření na tocích;
- opatření v lesích (převážně hrazení bystřin a strží);
- protierozní opatření na zemědělské půdě;
- retenční malé vodní nádrže, suché nádrže.

Soubor studií předprojektová příprava, technické řešení [8]

Cílem je vypracování studie podrobného řešení vodní nádrže, které bude z hlediska vlastní realizace upřesňovat technické řešení tohoto záměru (na základě podrobnějšího geodetického zaměření, IG – průzkumu, podrobné studie vodohospodářského řešení nádrže, matematického modelu navrhovaných objektů VD a dalších dílčích technických studií, posudků a odborných prací).

V rámci průzkumných a přípravných prací byly, budou nebo se aktuálně zpracovávají níže uvedené studie:

Zadání pro geodetické práce – bylo zpracováno zadání prací v rozsahu, který byl nezbytný pro zpracování zpřesnění technického zadání VD Vlachovice. V květnu 2019 bylo toto zaměření dokončeno v rozsahu dle zadání tj. byl zaměřen prostor pro umístění hráze, byly zaměřeny lokality převodů vody a zvolené varianty přeložky komunikace a dále provozního zázemí správce vodního díla. Současně byl zaměřen celý prostor budoucí zátopy včetně pásu pro vedení obslužných komunikací.

Zadání pro IG – průzkum – bylo zpracováno zadání prací. Zadání průzkumu bylo rozděleno na 5 samostatných celků.

Celek 1 – Průzkumy v přehradním profilu

Celek 2 – Průzkumy pro převody vody ze Sviborky a Smolinky

Celek 3 – Průzkumy pro přeložku komunikace Vlachova Lhota – Vysoké Pole

Celek 4 – Průzkumy nalezišť materiálů

Celek 5 – Průzkum svahových nestabilit v zájmovém území hráze a nádrže

Průběh a předběžné výsledky IGP průzkumu viz Geologický průzkum.

Studie vodohospodářského řešení nádrže – studie byla dokončena. V rámci zpracované studie, bylo provedeno zajištění hydrologických dat pro vliv „středního“ scénáře klimatické změny, tj. rSCEN2, na základě výsledků výzkumného projektu „Možnosti kompenzace negativních dopadů klimatické změny na zásobování vodou a ekosystémy využitím lokalit vhodných pro akumulaci povrchových vod“ (<http://lapv.vuv.cz>) pro povodí navrhované vodní nádrže a pro povodí vodních toků, ze kterých se předpokládají převody vody. Součástí studie bylo opětovné vyhodnocení možností a efektivit převodů vody a zhodnocení vlastní zásobní a protipovodňové funkce VDV a dále varianta se zahrnutím uvažovaných převodů vody. Zpracovatel rovněž navrhl případné budoucí možné změny rozdělení prostorů ve vodní nádrži v závislosti na předpokládaných dopadech klimatické změny.

Matematický model navrhovaných objektů – studie byla dokončena. Zabývá se navrhovanými objekty: přelivem, skluzem, vývarem a spodními výpustmi. Studie byla zpracována na základě nového hydrologického podkladu kvantifikujícího aktuální řady povodňových vln PV Q100 až PV Q10 000 dvěma nezávislými metodami. Provedení výpočtu transformací PV Q100 až PV Q10 000 vodní nádrží a návazné prověření funkce objektů k převedení povodňových průtoků přes hrázový profil na modelu. Cílem zpracování matematického modelu bylo prověření funkce navržených objektů na převedení povodňových transformovaných průtoků přes hrázový profil (ve smyslu Vyhlášky 590/2002 Sb. v platném znění a ČSN 75 2935) resp. případně navržení a prověření dodatečných opatření, které by toto zajistily.

Podrobná dílčí studie převodů vody ze Sviborky a Smolinky – studie byla dokončena. Její náplní bylo upřesnění technického řešení na základě podrobnějších hydrologických podkladů. Zejména bylo specifikováno přesné umístění odběrných profilů, technické řešení odběrných objektů, trasy a technické řešení přiváděčů vody.

Dopravní studie – tato studie se aktuálně dopracovává v době konání konference by měla být předána objednateli. V rámci dopravní studie bylo zpracováno několik variant dopravního řešení silnice III/4942, která bude výstavbou VDV dotčena. Studie navrhuje varianty řešení s tím, že bude preferována ta varianta, která zachová či zlepší dopravní infrastrukturu v zájmovém území. U každé z variant je posouzena její finanční náročnost a proveditelnost. variantní řešení bylo v průběhu zpracování projednáno za účasti objednatele, zástupci Zlínského kraje a zástupci všech dotčených obcí. Součástí dopravní studie je taktéž návrh obslužných komunikací v okolí nádrže a pro přístup k provoznímu středisku, napojení lesních a polních cest na silniční síť, přístup k zemědělským a lesním pozemkům a rovněž zpřístupnění dalších objektů, pokud by byl stavebními činnostmi narušen současný přístup k nim.

Zpracovatel současně prověřil možnosti prioritního využití železniční dopravy pro přesun materiálů určených ke stavbě. Zejména byla posouzena možnost využití železniční vlečky ze stanice Bohuslavice nad Vlárí do bývalého muničního areálu Vrbětice.

Architektonická studie – studie byla dokončena. Předmětem řešení byl návrh objemového řešení provozního střediska vodního díla Vlachovice a jeho začlenění do celkového řešení vodního díla.

Studie využití vody z VD Vlachovice – studie byla dokončena. Tato dílčí studie měla za cíl v návaznosti na všechny existující aktuální podklady provést zhodnocení možností dodávek pitné vody z VD Vlachovice do širšího zájmového území s využitím stávajících vodárenských soustav, případně jejich rozšířením, posílením kapacity nebo jejich vzájemným propojením. Prioritami je zajištění dodávek pitné vody do obcí, ve kterých dosud není veřejný vodovod vybudovaný a do obcí, kde sice veřejný vodovod je, ale jeho vodní zdroj není dostatečně kapacitní nebo nemá dobrou kvalitu vody.

Studie kvality vody v povodí nad VN Vlachovice, prognóza jakosti vody v nádrži a návrh sanačních opatření – studie byla dokončena. Tato dílčí studie měla za cíl v návaznosti na všechny existující aktuální podklady provést:

- monitoring kvality povrchové vody v zájmovém území (roční monitoring);
- podrobný průzkum bodových zdrojů znečištění v povodích VD Vlachovice;
- průzkum plošných zdrojů znečištění;
- vyhodnocení všech výše uvedených činností a sestavení bilančního živinového modelu povodí, vypracování rizikové analýzy, stanovení požadavků na kvalitu povrchové vody ve vodních tocích a ve vodní nádrži vzhledem k předpokládanému využívání nádrže pro vodárenské účely, návrh na stanovení ochranných pásem pro budoucí vodní zdroj;
- návrh konkrétních investičních opatření na posílení vodohospodářské infrastruktury v povodí plánované nádrže, navržení opatření na čistírnách odpadních vod a kanalizací obcí v zájmovém území s cílem dosáhnout přípravy území pro realizaci nádrže s vodárenským odběrem, navržení systémů pro hospodaření se srážkovou vodou apod.;
- Byla provedena analýza užívání podzemních vod (PZV), vyhodnocení vlivu VD Vlachovice na užívání stávajících zdrojů PZV a opačně;
- Bylo provedeno projednání navrhovaných opatření s příslušnými obcemi, vlastníky a provozovateli VH-infrastruktury a příslušnými vodoprávními úřady;
- Bylo provedeno celkové zhodnocení současných dopadů lidské činnosti na povrchové a podzemní vody;
- celkové, souhrnné vyhodnocení optimální kombinace jednotlivých typů opatření navrhovaných v tomto technickém řešení i optimální kombinace opatření navržených pro zadržení a zlepšení jakosti vody v krajině ze studie přírodě blízkých opatření v povodí Vlárky.

Posouzení a prognóza splaveninového režimu – studie byla dokončena. Předmětem studie bylo provedení kvantitativní analýzy chodu splavenin ve vodních tocích v zájmovém území a posouzení vlivu VD Vlachovice a ostatních navrhovaných opatření na splaveninový režim včetně prognózy vývoje splaveninového režimu po výstavbě VD Vlachovice.

Posouzení nezbytnosti a efektivity zajištění migračního průchodnosti – studie byla dokončena. Předmětem studie bylo

zhodnocení dopadů záměru realizace VN Vlachovice na potenciál migrace v území a s tím související možná rizika omezení pohybu živočichů v oblasti, či jejich mortality v návaznosti na změnu migračních tras a dopravní infrastrukturu. Předpokládaný vliv záměru byl hodnocen na základě výsledků průzkumů, dostupných údajů a znalosti území, předložené dokumentace, vyhodnocení stanovištních poměrů a podmínek plynoucích z legislativy (v rámci obecné a zvláštní ochrany).

Posudky – v rámci těchto posudků bude zpracováno:

- Posouzení bezpečnosti za povodní (dle ČSN 75 2935 Posuzování bezpečnosti VD za povodní)
- Posouzení stability hráze (ČSN 75 2310 Sypané hráze) – sestavení matematického modelu pro posouzení hráze metodami mezní rovnováhy na bázi software pracujícího s metodou konečných prvků. Model musí být otevřený a musí umožňovat následně zpřesňování v dalších stupních projektové dokumentace.
- Posouzení, zda a jak záměrem (budováním VD Vlachovice) může dojít k ovlivnění stávajícího stavu dotčených vodních útvarů, tzn. zda dojde/nedojde ke zhoršení stavu vodního útvaru, a že záměr bude/nebude mít za následek nedosažení dobrého stavu/potenciálu vod, případně odůvodnění výjimky podle Metodického pokynu sekce vodního hospodářství Ministerstva zemědělství Čj.: 20380/2016-MZE-15120.

Harmonogram – předmětem dokumentace bude zpracování podrobného věcného a časového harmonogramu další možné přípravy záměru a definování milníků a rizik spojených s přípravou, včetně jeho průběžné aktualizace na základě postupu prací na jednotlivých dílčích podkladech, nových skutečností a vývoje legislativy. Každý dílčí proces v rámci harmonogramu bude doplněn o legislativní a rizikovou analýzu v podobě textového komentáře. Podrobný harmonogram bude zpracován po fázi vydání pravomocného stavebního povolení. Rámcový harmonogram bude zpracován až po okamžik předpokládaného uvedení vodního díla do trvalého provozu.

Situace dotčených pozemků a staveb – předmětem dokumentace bylo aktualizovat majetkoprávní situaci a pasportizaci objektů potenciálně dotčených stavbou. Dále pak zpracování vzorových znaleckých posudků pro stanovení motivačních cen pro typové nemovité věci dle oceňovacích předpisů. Tyto posudky byly použity pro upřesnění nákladů na případné majetkoprávní vypořádání a pro zpracování případných zásad pro majetkoprávní vypořádání.

Propočet finančních nákladů – finanční analýza bude provedena na základě upřesnění technického řešení, dále budou kalkulovány náklady na investice do dopravní infrastruktury a další doprovodné investice související s přípravou území a začleněním plánované nádrže do vodárenských soustav. Součástí kalkulace budou též upřesněné předpokládané výnosy související s provozem nádrže. V rámci upřesnění bude propočet nákladů stanoven již pro konkrétní stavební objekty či soubory.

Vizualizace vodního díla – v rámci dokumentace bude provedena vizualizace celého VD se zaměřením na hráz a její funkční objekty. Bude zpracováno nejméně 10 statických vizualizací objektů vodního díla. Dále bude zpracována vizualizace formou video-prezentace. Pro zpracování vizualizace bude zajištěno letecké snímkování zájmového území.

Zpracování zadání průzkumných prací pro další stupeň přípravy – předmětem dokumentace je zpracování zadání

průzkumných prací a modelových průzkumů pro další stupeň projektové přípravy – dokumentaci pro územní řízení, která bude zpracovávána v případě kladného posouzení tohoto záměru a rozhodnutí o další přípravě.

Geologický průzkum

V současné době jsou dokončeny první fáze předběžných průzkumů na základě projektů prací pro druhou fázi probíhají druhé fáze ve všech celcích. V rámci průzkumů se zpracovatel potýká s komplikacemi, které představují obtížné klimatické podmínky, projednávání vstupu na pozemky s ohledem na podmínky jejich vlastníků.

Biologické hodnocení

Je zpracováváno provedení biologického hodnocení ve smyslu § 67 zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny a současně posouzení důsledků realizace stavby „Vlára, Vodní dílo Vlachovice a související opatření“ na dané území soustavy Natura 2000 podle ustanovení § 45h a 45i zákona. Součástí je také dlouhodobé celoroční provedení průzkumů zejména s cílem postihnout jarní aspekt.

Pasport kanalizací v povodí VDV

Předmětem prací je pořízení podkladové dokumentace (pasportizace) kanalizační sítě v obcích. Součástí díla je také návrhová část, jejímž předmětem je formulace zadání DÚR včetně stanovení rozsahu zadání požadovaných podkladů k jejímu zpracování. V rámci zadání DÚR bude respektován požadavek na realizaci oddílné kanalizace v celém zájmovém území a další obvyklá opatření k zajištění kvality vody v povodí vodárenské nádrže.

Závěr

Hlavní devizou přípravy VD Vlachovice je to, že přestože se jedná po dlouhé době o nově připravovanou vodní nádrž, jsou současně v aktuálním stupni poznání plánována opatření, která mají za cíl už v předprojektové přípravě postihnout zásadní aspekty potřebné k zapojení a správnému plnění funkce vodního díla. Požadavek, vycházet z příkladů dobré praxe, je zásadní pro přístup státního podniku Povodí Moravy. Už od začátku přípravy je například uvažováno s přírodě blízkými opatřeními v povodí nádrže, které mají za úkol zlepšit krajinné funkce. Jsou navrhována další opatření, která pomocí synergického efektu budou mít pozitivní vliv pro obyvatelstvo, přírodu a životní prostředí.

Literatura

- [1] Státní vodohospodářský plán XXVIII – Dolný Váh, 1954.
- [2] Směrný vodohospodářský plán ČSR, 1975.
- [3] Směrný vodohospodářský plán ČSR, 1988.
- [4] Plán hlavních povodí, 2006.
- [5] Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území, 2011.
- [6] AQUATIS a.s., Vlára – VD Vlachovice, Studie proveditelnosti, 2015.
- [7] AQUATIS a.s., Vlára, Vodní dílo Vlachovice – předprojektová příprava, studie přírodě blízkých opatření v povodí Vlárky, 2018.
- [8] AQUATIS a.s., Vlára, Vodní dílo Vlachovice – předprojektová příprava, technické řešení, probíhá.

ROBUSTNOST NÁVRHU ZÁSOBNÍHO OBJEMU NÁDRŽE VLACHOVICE V PODMÍNKÁCH NEJISTOTY KLIMATICKÉ ZMĚNY

Daniel Marton¹, Kateřina Knoppová^{1,2}, Petr Štěpánek^{2,3}

¹ Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny Žitkova 17, Brno 602 00, tel. +420 541 147 776, marton.d@fce.vutbr.cz

² Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 2578/43, 616 67 Brno

³ CzechGlobe, Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., Bělidla 4a, 603 00 Brno

Abstrakt

Klimatická změna bude mít velký vliv na budoucí hospodaření s vodními zdroji. Na základě vládních strategických dokumentů adaptace na změnu klimatu zahájily podniky Povodí přípravné práce k možné výstavbě pěti nových vodních nádrží. Zde se otevírá prostor pro uplatnění současných nástrojů při tvorbě analýz vodohospodářského řešení nádrží s uvažováním nejistoty změn klimatického systému. Cílem příspěvku je představit klimatologické, hydrologické a vodohospodářské nástroje, které umožní stanovení robustního návrhu zásobního objemu a zabezpečení odtoku vody z nádrže v podmínkách nejistoty změny klimatu. Z pohledu klimatologického modelování jde o použití ansámblu klimatických scénářů popisujících nejistotu budoucího vývoje. Pro hydrologické modelování je použit software Runoff Prophet a jako nástroj pro analýzu zásobního objemu nádrže je použit simulační model nádrže Unce Clima Change. K posouzení návrhu zásobního objemu nádrže v podmínkách nejistoty je použita metoda Robustnosti. Praktická aplikace je představena na návrhu zásobního objemu plánované nádrže Vlachovice na řece Vlára.

Klíčová slova: klimatická změna; zásobní objem; nejistota; robustnost; Vlachovice.

Abstract

The climate change is going to have a major impact on future water resources management. Based on government strategy documents on climate change adaptation, the river basin management authorities started preparatory work for the possible construction of five new water reservoirs. Here comes the space for the application of current tools for analyses of water management solutions of reservoirs, considering the uncertainty of climate system changes. The aim of the paper is to present climatological, hydrological and water management tools, which enable determination of robust design of reservoir storage and of reservoir reliability under consideration of uncertainty of climate change. Regarding climatological modeling, an ensemble of climatic simulations describing the uncertainty of future development was used. Runoff Prophet software is used for hydrological modeling and the Unce Clima Change reservoir simulation model is used as a tool for analyzing the storage capacity. The robustness method is used to assess the design of the reservoir storage volume under uncertainty conditions. The practical application is presented on the design of the storage volume of the planned Vlachovice reservoir on the Vlára river.

Keywords: Climate Change; Reservoir Storage; Uncertainty; Robustness; Vlachovice.

Úvod

Změna klimatu je v současnosti naléhavým tématem, diskutovaným na vědecké, politické i společenské úrovni. Světová meteorologická organizace, NASA a NOAA seřadily postupně roky 2016, 2017, 2015 a 2018 jako nejteplejší roky v historii celosvětového měření teploty vzduchu (NOAA 2019).

Dle (OECD 2013) se předpokládá stále častější výskyt hydrologických extrémů na území ČR, který diskusi o změně klimatu jen posiluje. Je odhadováno, že na území ČR může v důsledku klimatických změn dojít k poklesu dlouhodobých průměrných průtoků ve vodních tocích o 20 až 40 procent (Kašpárek 2005). Příčinou budoucích poklesů průtoků je zejména očekávané přerozdělení srážek v průběhu roku a změny v hydrologickém cyklu.

Také vláda České republiky, resp. MZE a MŽP včetně podniků Povodí, na nastalou situaci nedostatku vody v povodích začala reagovat. Byly zpracovány Technicko-ekonomické studie nových nádrží v ohrožených regionech. Řeší se také přepočty objemů stávajících nádrží a možnosti převodů vody do potenciálně ohrožených povodí. Avšak nabídka produktů potřebných pro analýzy dopadů změn klimatu v kontextu vodohospodářského řešení nádrže s ohledem na nejistoty změn klimatického systému je omezená.

Prognózy budoucího vývoje klimatických a hydrologických podmínek jsou stále zatíženy značnou nejistotou. Povaha nejistot vývoje klimatického systému vychází zejména z nahodilé variability systému nebo prostředí, tj. nejistoty (aleatory uncertainty), a z nedostatku znalostí dat a informací o systému, tj. neurčitosti (epistemic uncertainty) (Walker a kol. 2003, Refsgaard a kol. 2013). Dle Foley (2010) a Refsgaard a kol. (2013) jsou při modelování změn klimatu v hydrologických a vodohospodářských úlohách zdrojem nejistot a neurčitostí zejména emisní scénáře, globální a regionální klimatické modely a nejistoty spojené se statistickým downscalingem. Popisný soubor zohledňující nejistoty a neurčitosti klimatické změny je dán ansámblem možných realizací budoucího vývoje klimatu. Jednou z možností vyhodnocení takového ansámblu je použití tzv. robustní analýzy, robustního přístupu k rozhodování známého jako robust decision approach nebo Robust Decision Making (RDM) (Lempert a kol. 2003). V pojetí RDM jsou nejistoty a neurčitosti zohledněny v ansámblu dat a jsou chápány jako tzv. hluboké nejistoty (deep uncertainty).

Cílem příspěvku je představit klimatologické, hydrologické a vodohospodářské nástroje, které umožní stanovení robustního návrhu zásobního objemu a zabezpečení odtoku vody z nádrže v podmínkách hluboké nejistoty změny klimatu. Z pohledu klimatologického modelování jde o použití ansámblu klimatických scénářů popisujících nejistotu budoucího vývoje. Z pohledu hydrologického jde o použití softwaru Runoff Prophet založeného na principu koncepčního srážko-odtokového modelu. Vodohospodářské hledisko představuje aplikace simulačního modelu nádrže použitého v softwaru Unce Clima Change, který

je upravený tak, aby bylo možné ohodnotit robustnost zásobního objemu a zabezpečení odtoku vody z nádrže.

Praktická aplikace je představena na návrhu zásobního objemu plánované nádrže Vlachovice na řece Vlárě, jejíž výstavba je připravována podnikem Povodí Moravy, s.p. v rámci plánu adaptačních opatření na budoucí změnu klimatu.

Metody

1. Ansámbl klimatologických dat

Jako data, popisující změnu klimatu, byly využity korigované výstupy regionálních klimatických modelů, zpracované Ústavem výzkumu globální změny AV ČR. Na základě projekcí budoucích srážek a teplot pro území České republiky byl z několika reprezentativních klimatických modelů/scénářů vytvořen ansámbl, který pokrývá rozptyl možného budoucího vývoje. Soubor vstupních dat zahrnuje řady průměrné měsíční teploty a měsíčního úhrnu srážek pro 3 RCP scénáře z 5 reprezentativních klimatických modelů (celkem 11 klimatologických simulací).

Klimatické modely, jako každé jiné, se vyznačují tím, že mají své systematické chyby. Např. pro území ČR dávají nižší teploty vzduchu a naopak vyšší srážkové úhrny (a více dnů se srážkami) oproti realitě. Před použitím výstupů z těchto modelů byly hodnoty podrobeny tzv. bias- korekci (opravě chyb modelů) na základě provedené validace mezi výstupy těchto modelů a měřeními na stanicích ČHMÚ metodou „quantile mapping“ (Štěpánek a kol. 2016). Vstupní staniční data byla zase podrobena kontrole kvality dat, homogenizaci a doplnění chybějících hodnot (Štěpánek a kol. 2009, 2011).

Tabulka 1. Popis použitých klimatických modelů

Označení	Název modelu	RCP emisní scénáře
M1	ipsl-cm5a-mr_rca4	4.5, 8.5
M2	mohc-hadgem2-es_racmo22e	2.6, 4.5, 8.5
M3	mpi-esm-lr_clm4.8.17	4.5, 8.5
M4	mpi-esm-lr_rca4	4.5, 8.5
M5	ncc-noresm1-m_hirham5	4.5, 8.5

2. Runoff Prophet

Základem softwaru je použití bilančního srážko-odtokového modelu se soustředěnými parametry. Jako vstupní data jsou využívány řady průměrného měsíčního průtoku, průměrné měsíční teploty a měsíčních úhrnů srážek. Model po kalibraci na historických datech umožňuje simulaci budoucích průtokových řad. Rovnice popisující v měsíčním kroku srážko-odtokový proces byly převzaty z Wang et al. (2013) a přizpůsobeny klimatickým a hydrologickým podmínkám ČR. Detailní popis sestavení softwaru a jeho aplikace najdete v Knoppová (2017) a Marton a Knoppová (2018). Řídící rovnice pracují se sestavou 37 parametrů, které je nutné vhodně optimalizovat. Jedná se o 12 koeficientů pro výpočet měsíčního povrchového odtoku, 12 koeficientů pro podzemní odtok, 12 pro evapotranspiraci a dále o hodnotu počáteční vlhkosti půdy na začátku simulace. Nalezení vhodných hodnot 37 parametrů vede na optimalizační problém s cílem maximalizace kritéria – hodnoty koeficientu Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) definovaného v Nash a Sutcliffe (1970). Jako optimalizační metoda je využívána metoda Diferenciální evoluce popsána v Storn a Price (1997), Zelinka (2002).

Moriasi et al. (2007) sestavil pro potřeby ohodnocení přesnosti hydrologického modelu na základě hodnoty koeficientu NSE klasifikační stupnici. Stupnice má čtyři úrovně popsané jako: i) neuspokojivá přesnost ($NSE < 0.50$); ii) uspokojivá přesnost ($0.50 < NSE < 0.65$); iii) dobrá přesnost ($0.65 < NSE < 0.75$), a iv) velmi dobrá přesnost ($0.75 < NSE < 1.00$). Na základě těchto stupňů se dá model považovat za úspěšně nakalibrováný, pokud NSE dosáhne hodnoty 0.5 a více.

3. Unce Clima Change

Software Unce Clima Change vychází ze simulačního modelu nádrže, který využívá k simulaci plnění a prázdnění zásobního objemu základní rovnici nádrže, popsaného v Starý (2005) a Marton a Knoppová (2018). Na základě simulace provozu nádrže jsou vyhodnoceny dvě úlohy. První úlohou je stanovení zásobního objemu V_z pro 100% zabezpečení odtoku vody z nádrže podle doby trvání P_t . Druhou úlohou je stanovení zabezpečení P_t menší než 100% když je znám V_z a koeficient nalepšení α , resp. nalepšený odtok vody z nádrže O_p . Definici zabezpečení vodo-hospodářských systémů popsal Hashimoto (1982).

Simulační model nádrže vyhodnotí ansámbl hydrologických dat zatížených hlubokou nejistotou klimatické změny a vypočte buď zásobní objem V_z pro $P_t = 100\%$ nebo zabezpečení podle trvání P_t odtoku vody z nádrže, když je $P_t < 100\%$. Následně je provedeno posouzení robustnosti parametrů V_z , nebo P_t . Robustnost v tomto případě slouží jako statistické ohodnocení výsledků v podmínkách nejistoty klimatické změny. Robustnost je počítána podle (1) a vychází z literatury Paton a kol. (2014), Roach a kol. (2016).

$$ROB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i \quad (1)$$

Kde ROB je robustnost ležící v intervalu od 0 do 1, S_j je ohodnocení výsledného systému na okrajové podmínky, které jsou zatíženy nejistotou, $j = 1, \dots, N$, kde N je počet vstupních okrajových podmínek. Ohodnocení je definováno jako (2).

$$S_j = \begin{cases} 1, & P_{t,j} \geq P_t, \text{ pro } j = 1, \dots, N \\ 0, & P_{t,j} < P_t, \text{ pro } j = 1, \dots, N \end{cases} \quad (2)$$

Kde $P_{t,j}$ je výsledná zabezpečení podle trvání j -té řešení pro $j = 1, \dots, N$. P_t je požadovaná zabezpečení podle trvání.

Praktická aplikace

Z hydrologického hlediska je praktická aplikace provedena na povodí řeky Vlárky o ploše 169,82 km² vztaženému k vodo-měrnému profilu Popov (část povodí III. řádu 4-21-08). Soubor vstupních dat byl poskytnut ČHMÚ a obsahoval technické řady průměrné měsíční teploty vzduchu pro stanici Vizovice a měsíčních úhrnů srážek pro stanici Slavičín z let 1961–2018; a řadu průměrných měsíčních průtoků Q_m z profilu Popov za období 1955–2018. Klimatické stanice byly vybrány s ohledem na svou polohu v rámci zájmového území a výsledky předběžné analýzy výsledků kalibrace a validace Runoff Prophet.

Použitý ansámbl klimatických scénářů sestával z řad průměrné teploty vzduchu pro stanici Vizovice a měsíčních úhrnů srážek pro stanici Slavičín. Každý scénář se skládal z kontrolního běhu 1970–2005 a simulace budoucího vývoje v letech 2006–2099.

Zájmové území nádrže Vlachovice se nachází v povodí řeky Vlárky, kde je podle Generelu lokalit pro akumulaci povrchových vod (LAPS 2011) dlouhodobě hájený profil. Praktická aplikace byla provedena s využitím podkladů Technicko-ekonomické

studie nádrže Vlachovice (Aquatris a PMO 2015) a Studie vodohospodářského řešení nádrže Vlachovice (Aquatris a PMO 2018). Varianta výpočtu byla volena dle uvedených prací jako varianta nádrže s celkovým objemem vody $V_c = 29\,068\,000\text{ m}^3$ a zásobním objemem s velikostí $V_z = 23\,120\,000\text{ m}^3$. Přítok vody do nádrže byl odvozen poměrem dlouhodobého průměrného průtoku Q_a z profilu Popov a Q_a odvozeného pro předpokládaný profil tělesa hráze VD Vlachovice. Do přítoku byly také zohledněny plánované převody vody z horní části sousedních povodí řek Smolinky a Sviborky. Převod vody byl uvažován gravitačně s odvozením převodu dle použitých podkladů (Aquatris a PMO 2015) a (Aquatris a PMO 2018). Výpočet byl proveden pro stanovení zásobního objemu V_z se zabezpečeností odtoku vody z nádrže $P_t = 100\%$. Dále pro stanovení odtoku vody z nádrže, když je znám V_z a zabezpečenosti $P_t \geq 99,5\%$ (třída významnosti $V_z - A$) a $P_t \geq 98,5\%$ (třída významnosti $V_z - B$) specifikované dle (ČSN 75 2405 2004). Hodnota průměrného ročního výparu z vodní hladiny byla nastavena na hodnotu $E_a = 740\text{ mm}$. Ve výpočtech bylo uvažováno se ztrátou vody výparem z vodní hladiny.

Výsledky a diskuse

V první fázi byla provedena kalibrace a validace povodí v programu Runoff Prophet. Na kalibračním souboru dat z období 1970–2005 bylo dosaženo hodnoty $NSE = 0.65$. Validace modelu na období 1961–1969 dosahovala $NSE = 0.65$, a na období 2006–2018 $NSE = 0.57$.

Následně byla provedena simulace budoucích průtoků na základě 11 klimatických scénářů. Použitý ansámbl klimatických scénářů uvažoval do roku 2099 s nárůstem průměrné roční teploty mezi 1.4 a 5.4°C oproti dlouhodobému normálu (referenční období 1981–2010), tj. mezi 9.8 a 13.8°C . Nárůst průměrného ročního úhrnu srážek ve stejném období se v jednotlivých scénářích pohyboval mezi 2.8 a 23.6% , tj. zvýšení ze 752 mm na 771 – 930 mm .

Prostřednictvím Runoff Prophet byl vytvořen ansámbl řad průměrných měsíčních průtoků Q_m pro období 2006 až 2099 zatížený nejistotou klimatické změny. Jednotlivé hydrologické scénáře byly rozděleny na období 2006–2018, 2021–2040, 2041–2060, 2061–2080 a 2081–2099, pro které byl vypočteny průměrné roční průtoky. Ty byly následně porovnány s dlouhodobým průměrným průtokem (referenční období 1981–2010) z měřených dat v profilu Popov – $Q_a = 1.36\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$. Následující graf ukazuje změnu Q_a v jednotlivých scénářích v obdobích mezi roky 2006 až 2099 oproti referenčnímu období.

Průměrná změna ze všech scénářů ukazuje na pokles průtoků, v nejvzdálenějším období 2081–2099 o 13.2% oproti referenčnímu Q_a . Vidíme ale, že variabilita hydrologických scénářů v období mezi lety 2021 a 2099 je poměrně velká, od poklesu o 29.4% (model M2, RCP2.6 v období 2021–2040) do nárůstu o 25.7% (M2 RCP4.5 2021–2040) oproti referenčnímu období. Pokud srovnáme měřené průtoky z období 2006–2018 s referenčním obdobím, zjistíme pokles vodnosti Vlárky o 17% . Simulované hydrologické scénáře (Graf. 1) ukazují v období 2006–2018 rozdíl od -27.6% do $+30.3\%$ oproti normálu. Po porovnání lze říci, že v současnosti se pohybujeme spíše ve spodní (záporné) části ansámblu.

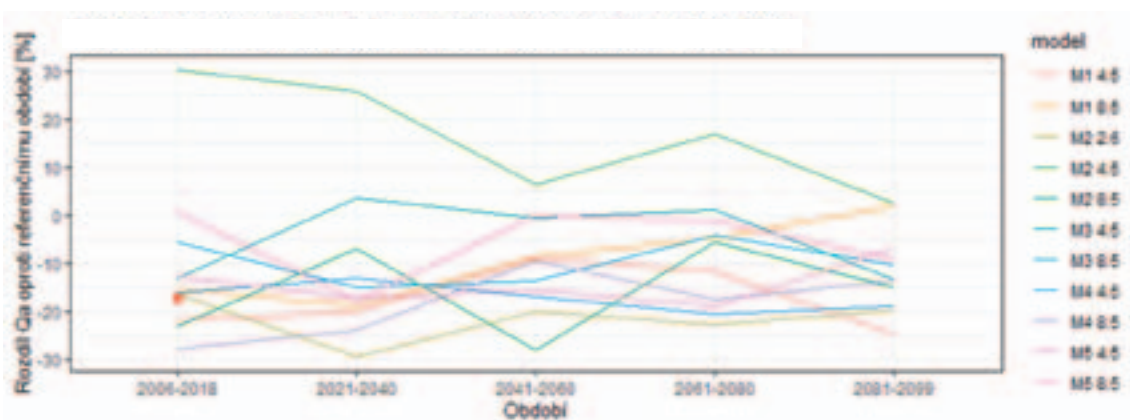
Poslední fází byla analýza zásobního objemu nádrže Vlachovice. Analýza byla provedena pro historickou odvozenou řadu Q_m za období 1955–2018. Dále pak pro ansámbl 11 simulovaných průtokových řad za období 2006–2099. Pro analýzu vlivu klimatické změny na zásobní objem V_z a zabezpečenost P_t bylo celé období rozděleno na tři kratší časové úseky; období 2006–2035, 2006–2069 a 2006–2099. Kritériem pro vyhodnocení robustnosti řešení bylo dosažení minimální odchylky mezi střední hodnotou $\mu(V_z)$ nebo $\mu(P_t)$ a požadovanou velikostí V_z nebo P_t . Přesněji $\min\{\mu(V_z) - (V_z = 23\,120\,000\text{ m}^3)\}$, resp. $\min\{\mu(P_t) - (P_t = 99.5\%) \}$ a $\min\{\mu(P_t) - (P_t = 98.5\%) \}$. Tabulka 2 ukazuje výsledky výpočtu zásobního objemu nádrže V_z pro $P_t = 100\%$ při měnící se hodnotě koeficientu nalepšení α , respektive nalepšeného odtoku vody z nádrže O_p , stanoveného za období 1955–2018.

Tabulka 2. Výsledky výpočtu V_z pro $P_t = 100\%$ pro měnící se hodnotu α

α	$O_p [\text{m}^3\text{ s}^{-1}]$	$V_z [\text{m}^3]$
0.7	0.342	16 119 708
0.7623	0.372	23 118 670
0.8	0.3904	29 641 752
0.9	0.439	58 432 156

Z tabulky 2 je výsledek poměrně jasný při $P_t = 100\%$ je zásobní objem $V_z = 23\,118\,670\text{ m}^3$ pro hodnotu $\alpha = 0.7623$, respektive $O_p = 0.372\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$.

Tabulka 3 ukazuje výsledky výpočtu zabezpečenosti $P_t < 100\%$, k ní příslušného počtu poruchových měsíců a koeficientu nalepšení α /nalepšeného odtoku vody z nádrže O_p , když zásobní objem byl nastaven na hodnotu $V_z = 23\,120\,000\text{ m}^3$ a období výpočtu bylo 1955–2018.



Graf 1. Procentuální změna Q_a vztahovaná k referenčnímu období 1981–2010

Tabulka 3. Výsledky výpočtu $P_t < 100\%$

α	$O_p [m^3 s^{-1}]$	$P_t [\%]$	Porucha [měsíc]
0.7623	0.372	100	0
0.8	0.390	98.72	9
0.809	0.3948	98.59	10
0.85	0.415	96.73	24

Tabulky 4 až 6 ukazují výsledky výpočtu zásobního objemu nádrže V_z pro $P_t = 100\%$, resp. zabezpečení $P_t < 100\%$ při měnění se hodnotě koeficientu nalepšení α , stanovené z ansámblu simulovaných průtoků pro období 2006–2099. V tabulkách pak $\mu(Q_a)$ reprezentuje střední hodnotu Q_a , $\mu(O_p)$ je střední hodnota O_p , $\mu(V_z)$ střední hodnota V_z . Poslední sloupec pak udává hodnotu robustnosti řešení.

sníží. V prvním období 2006–2035 dosahuje robustnost P_t ROB = 72.73 %. To znamená, že 8 scénářů z 11 je schopno pokrýt požadavky kladené na zásobní objem nádrže. V období 2006–2069 dosahuje ROB = 54.54 % což odpovídá 6 scénářům z ansámblu; v období 2006–2099 dosahuje ROB = 63.64 %, což odpovídá 7 scénářům.

Závěr

Bylo prokázáno, že modely lze propojit a využít pro analýzy návrhu zásobního objemu nádrže v podmínkách hluboké nejistoty klimatické změny. Software Runoff Prophet dle výsledků optimalizace NS provedl kalibraci a validaci povodí řeky Vlárky dobře a bylo možné jej použít pro vytvoření ansámblu průtokových řad zatížených klimatickou změnou. Výsledky softwaru Unce Climate Change a aplikace metody robustnosti ukázaly svůj potenciál

Tabulka 4. Výsledky výpočtu V_z pro $P_t = 100\%$

Období	$\mu(Q_a) [m^3 s^{-1}]$	α	$\mu(O_p) [m^3 s^{-1}]$	$\mu(V_z) [m^3]$	ROB [%]
2006–2035	0.415	0.9686	0.402	23 090 070	54.54
2006–2069	0.426	0.8913	0.379	23 133 535	45.46
2006–2099	0.426	0.8784	0.374	23 135 208	45.46

Tabulka 5. Výsledky výpočtu $P_t < 100\%$ ($P_t \geq 99.5\%$ pro třídu významnosti $V_z - A$)

Období	$\mu(Q_a) [m^3 s^{-1}]$	α	$\mu(O_p) [m^3 s^{-1}]$	$\mu(P_t) [m^3]$	ROB [%]
2006–2035	0.415	0.992	0.412	99.513	81.82
2006–2069	0.426	0.932	0.397	99.501	63.64
2006–2099	0.426	0.931	0.397	99.539	63.64

Tabulka 6. Výsledky výpočtu $P_t < 100\%$ ($P_t \geq 98.5\%$ pro třídu významnosti $V_z - B$)

Období	$\mu(Q_a) [m^3 s^{-1}]$	α	$\mu [m^3 s^{-1}]$	$\mu(P_t) [m^3]$	ROB [%]
2006–2035	0.415	1	0.415	99.25	72.73
2006–2069	0.426	0.9534	0.409	98.514	54.54
2006–2099	0.426	0.9728	0.406	98.512	63.64

Z výsledků uvedených v tabulce 4 je patrné, že hydrologický potenciál povodí je i přes pokles budoucích hodnot Q_a schopný pokrýt požadovanou kapacitu V_z , ovšem za cenu malé robustnosti řešení. Jinak řečeno, v období 2006–2035 dosahuje robustnost zásobního objemu ROB = 54.54 %, což znamená, že 6 scénářů z ansámblu je schopno pokrýt požadavky na zásobní objem. V období 2006–2069 a 2006–2099 dosahuje ROB = 45.46 %, což odpovídá 5 scénářům z 11.

Ve chvíli, kdy je princip výpočtu změněn, začínají být výsledky návrhu zajímavější. V tabulce 5 je robustnost zabezpečení P_t při navrhovaném $V_z = 23\,120\,000\,m^3$ vysoká. V prvním období 2006–2035 dosahuje robustnost P_t ROB = 81.82 %. To znamená, že 9 scénářů z ansámblu je schopno pokrýt požadavky na zásobní objem a požadovanou zabezpečení P_t odtoku vody z nádrže. V období 2006–2069 a 2006–2099 dosahuje ROB = 63.64 %, což odpovídá 7 scénářům z celého ansámblu. Ve výsledcích je prezentována také hodnota koeficientu nalepšení α , resp. navrhovaného odtoku vody z nádrže O_p , zastoupená hodnotou $\mu(O_p)$. V tabulce 6 se robustnost zabezpečení P_t při daném V_z nepatrně

a cestu ke svému využití při analýzách vodohospodářského řešení zásobního objemu nádrže v podmínkách změny klimatu.

Prezentované výsledky ukazují, že do konce 21. století Q_a v povodí řeky Vlárky poklesne v průměru o -13 % oproti stavu v období 1981–2010. Výstupy analýzy vodohospodářského řešení nádrže Vlachovice ukázaly, že objem V_z navrhovaný dle (Aquatris a PMO 2015 a 2018) je navržen dostatečně robustně, a to zejména z pohledu výpočtu zásobního objemu při zabezpečení $P_t \geq 99.5\%$. Pokud bude brán v úvahu negativní vývoj hydrologických podmínek v povodí, bude pro zaručení navrhované kapacity V_z nutné zajištění převodů vody ze sousedních povodí toků Sviborky a Smolinky. Z pohledu hluboké nejistoty klimatické změny je kapacita zásobního objemu nádrže také navržena dostatečně robustně; VD Vlachovice bude mít pozitivní vliv při zajištění budoucích nadlepšení průtoků v říční síti a zásobování vodou v dané oblasti.

Poděkování

Tento příspěvek byl zpracován v rámci specifického výzkumu FAST-S-18-5341 „ Propagace nejistot změny klimatu v hydrologických a vodohospodářských aplikacích“.

Literatura

- [1] *Technicko-ekonomické studie nádrže Vlachovice*. Brno: Aquatis, 2015.
- [2] *Studie vodohospodářského řešení nádrže Vlachovice*. Brno: Aquatis, 2018.
- [3] ČSN 75 2405 *Vodohospodářské řešení vodních nádrží*, ICS 93.160; 13.060.10, Český normalizační institut, Praha 2004. Česká technická norma.
- [4] FOLEY, A.M. Uncertainty in regional climate modelling: A review. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* [online]. 2010, 34(5), 647–670 [cit. 2019-09-13]. DOI: 10.1177/0309133310375654. ISSN 0309-1333. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0309133310375654>
- [5] HASHIMOTO, Tsuyoshi, Jery R. STEDINGER a Daniel P. LOUCKS. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resources Research* [online]. 1982, 18(1), 14–20 [cit. 2019-09-13]. DOI: 10.1029/WR018i001p00014. ISSN 00431397. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1029/WR018i001p00014>
- [6] KAŠPÁREK, Ladislav. *Odhad objemu nádrží potřebného pro kompenzaci poklesu odtoku vlivem klimatické změny*. Praha: VÚV Praha, 2005.
- [7] KNOPPOVÁ, Kateřina. *Srážko-odtokový proces v podmínkách klimatické změny*. Brno, 2018. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Daniel Marton, Ph.D.
- [8] LEMPERT, Robert J., Steven W. POPPER a Steven C. BANKES. *Shaping the next one hundred years: new methods for quantitative, long-term policy analysis*. Santa Monica, CA: RAND, 2003. ISBN 0-8330-3275-5.
- [9] MARTON, Daniel a Kateřina KNOPPOVÁ. *Robust Reliability Assessment of Water Reservoir Under Uncertainty of Climate Change* [online]. In: . s. 1316-1307 [cit. 2019-09-13]. DOI: 10.29007/s5s1. Dostupné z: <https://easychair.org/publications/paper/MD13>
- [10] MORIASI, D.N., J.G. ARNOLD, M.W. VAN LIEW, R.L. BINGNER, R.D. HARMEL, a T.L. VEITH. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE* [online]. American society of agricultural and biological engineers, 2007, 50(3), 16 s. [cit. 2019-09-13]. ISSN 0001-2351. Dostupné z: <http://swat.tamu.edu/media/90109/moriasimodeval.pdf>
- [11] *Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území* [online]. Praha: MZE a MŽP. 2011. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/133229/Generel_LAPV_vc_protokolu.pdf
- [12] NASH, J.E. a J.V. SUTCLIFFE. *River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles*. *Journal of Hydrology* [online]. 1970, 10(3), 282–290 [cit. 2019-09-13]. DOI: 10.1016/0022-1694(70)90255-6. ISSN 00221694. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0022169470902556>
- [13] *Global Climate Report – Annual 2018* [online]. NOAA. 2019. Dostupné z: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201813>.
- [14] *Water and Climate Change Adaptation* [online]. OECD, 2013 [cit. 2019-09-13]. OECD Studies on Water. DOI: 10.1787/9789264200449-en. ISBN 9789264200432.
- [15] PATON, F. L., H. R. MAIER a G. C. DANDY. Including adaptation and mitigation responses to climate change in a multiobjective evolutionary algorithm framework for urban water supply systems incorporating GHG emissions. *Water Resources Research* [online]. 2014, 50(8), 6285-6304 [cit. 2019-09-13]. DOI: 10.1002/2013WR015195. ISSN 00431397. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/2013WR015195>
- [16] REFSGAARD, J. C., K. ARNBORG-NIELSEN, M. DREWS, et al. The role of uncertainty in climate change adaptation strategies—A Danish water management example. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* [online]. 2013, 18(3), 337–359 [cit. 2019-09-13]. DOI: 10.1007/s11027-012-9366-6. ISSN 1381-2386. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11027-012-9366-6>
- [17] ROACH, Tom, Zoran KAPELAN, Ralph LEDBETTER a Michelle LEDBETTER. Comparison of Robust Optimization and Info-Gap Methods for Water Resource Management under Deep Uncertainty. *Journal of Water Resources Planning and Management* [online]. 2016, 142(9) [cit. 2019-09-13]. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000660. ISSN 0733-9496. Dostupné z: <http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29WR.1943-5452.0000660>
- [18] STARÝ, Miloš. *Nádrže a vodohospodářské soustavy*. BRNO: Vysoké učení technické v Brně. 2005. Skripta byla vydána v el. podobě,
- [19] STORN, Rainer a Kenneth PRICE. *Journal of Global Optimization* [online]. 11(4), 341–359 [cit. 2019-09-13]. DOI: 10.1023/A:1008202821328. ISSN 09255001. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1023/A:1008202821328>
- [20] Štěpánek, P., Zahradníček, P. a Skalák, P. Data quality control and homogenization of air temperature and precipitation series in the area of the Czech Republic in the period 1961–2007. 2009, *Advances in Science and Research*, 3, 23–26, <http://www.adv-sci-res.net/3/23/2009/>
- [21] Štěpánek, P., Zahradníček, P., Brázdil, R., Tolasz, R. Metodologie kontroly a homogenizace časových řad v klimatologii (Methodology of data quality control and homogenization of time series in climatology). 2011, ČHMÚ, 118 pp. ISBN 978-80-86690-97-1
- [22] Štěpánek, P., Zahradníček, P., Farda, A., Skalák, P., Trnka, M., Meitner, J., Rajdl, K. Projection of drought-inducing climate conditions in the Czech Republic according to Euro-CORDEX models. 2016, *Clim Res* 70:179–193. <https://doi.org/10.3354/cr01424>, <http://www.int-res.com/abstracts/cr/v70/n2-3/p179-193/>
- [23] WALKER, W.E., P. HARREMOËS, J. ROTMANS, J.P. VAN DER SLUIJS, M.B.A. VAN ASSELT, P. JANSSEN a M.P. KRAYER VON KRAUSS. Defining Uncertainty: A Conceptual Basis for Uncertainty Management in Model-Based Decision Support. *Integrated Assessment* [online]. 2003, 4(1), 5–17 [cit. 2019-09-13]. DOI: 10.1076/iaij.4.1.5.16466. ISSN 1389-5176. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1076/iaij.4.1.5.16466>
- [24] WANG, G. Q., J. Y. ZHANG, Y. Q. XUAN, et al. Simulating the Impact of Climate Change on Runoff in a Typical River Catchment of the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrometeorology* [online]. 2013, 14(5), 1553–1561 [cit. 2019-09-13]. DOI: 10.1175/JHM-D-12-081.1. ISSN 1525-755X. Dostupné z: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JHM-D-12-081.1>
- [25] ZELINKA, Ivan. *Umělá inteligence: v problémech globální optimalizace*. Praha: BEN – technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-069-5.

METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY VÝSKYTU SUCHA

Jaroslav Rožnovský^{1,2}, Jaroslav Střeščík, Petr Štěpánek¹, Pavel Zahradníček¹

¹ Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno, jaroslav.roznovsky@chmi.cz

² Mendelova univerzita v Brně

Abstrakt

Průběh počasí v roce 2019 potvrdil, že výskyt sucha na našem území pokračují. Na výskyt sucha mají vliv meteorologické prvky, a to hlavně srážky a teplota vzduchu. Z analýzy technických řad teploty vzduchu a úhrnů srážek za období 1961 až 2017 vyplývá, že se zvyšují teploty vzduchu ve všech obdobích roku. Přitom v Čechách o něco více než na Moravě. Ovšem srážkové úhrny roční i letní nemají statisticky prokázaný trend. Mají však vysokou dynamiku. Vzhledem k tomu, že teplota vzduchu je rozhodujícím meteorologickým prvkem pro hodnoty evapotranspirace, zvyšuje se deficit vláhové bilance, která je dána rozdílem mezi úhrny srážek a evapotranspirací. S ohledem na rostoucí teplotu vzduchu a víceméně se neměníící roční úhrny srážek lze odhadovat, že výskyt sucha se na našem území budou dále vyskytovat, případně budou častější, ale rozdílně v jednotlivých povodích.

Klíčová slova: teplota vzduchu; úhrn srážek; evapotranspirace; vláhová bilance.

Abstract

Course of the weather in 2019 proved that drought occurrence in the Czech Republic continues. Drought occurrence is affected by meteorological parameters, especially precipitation and air temperature. Analysis of air temperature and precipitation technical series for the period between 1961 and 2017 showed that air temperatures are rising in all seasons, slightly more in Bohemia than in Moravia. However, annual precipitation amount as well as summer precipitation amount do not show any significant trend, but are highly dynamic. Given the fact that air temperature is the key meteorological parameter for the amount of evapotranspiration, it increases moisture balance deficit, defined as the difference between precipitation amount and evapotranspiration. Based on the increasing air temperatures and more or less same annual precipitation it can be estimated that drought occurrence in the Czech Republic will be a problem in the future, or will be even more frequent, but variable in the individual basins.

Keywords: air temperature; precipitation; evapotranspiration; moisture balance.

Úvod

V posledních dvou letech jsou projevy sucha daleko více vnímány naší společností, než tomu bylo dříve. Pojem změna klimatu slyšíme stále častěji, je to určitě dáno tím, že se velké části naší společnosti dotkly výskyt sucha [8]. Není snad nutné připomínat, že voda je nezbytný základ života, to všichni víme, ale tato skutečnost je daleko více vnímána, když nám začíná chybět. Proto se začala výskytům sucha věnovat pozornost nejen z hlediska výzkumu, ale i v oblasti hospodářské, byla přijata různá vládní rozhodnutí a byly vypracovány rozsáhlé podklady (např. Národní adaptační politika).

Výskyt sucha je dán deficitem srážek v krajině, tedy negativní vláhovou bilancí [3], kterou vypočítáváme jako rozdíl mezi úhrny srážek a evapotranspirací za daná období. V Českém hydrometeorologickém ústavu, na pobočce v Brně (dále jen ČHMÚ) jsou výpočty evapotranspirace [6] a následně vláhové bilance prováděny pomocí agrometeorologického modelu AVISO („Agrometeorologická Výpočetní a Informační Soustava“). Evapotranspirace je modelově počítána v denním kroku modifikovaným postupem podle algoritmů Penman-Montheith [1, 2, 4, 5]. Pro výpočty je využíváno meteorologických prvků (teplota a vlhkost vzduchu, doba slunečního svitu a rychlost větru, z takřka dvou set klimatologických stanic v denním kroku.

Pro hodnocení zemědělského sucha jsou potom základním výstupem aplikovaného modelu AVISO denní údaje aktuálního vláhového deficitu v mm. Jedná se o nedostatečné množství využitelné vody v půdě v mm, chybějící do plné vodní kapacity půdy. Tato speciální hydrologická charakteristika určuje množství vody v půdě, které je pro rostliny k dispozici. Jde o rozdíl mezi základními půdními hydrolimity, a to bodem vadnutí a polní vodní kapacitou půdy (dále jen PVK) a označuje se jako využitelná vodní kapacita půdy (dále jen VVK).

Jak vyplývá z mnoha studií, hraje významnou roli pro hodnoty evapotranspirace teplota vzduchu a její změny. Pro vláhovou bilanci jsou rozhodující úhrny srážek. Těmto dvěma meteorologickým prvkům bylo věnováno mnoho studií, mezi nimi také práce Střeščíka et al., [7, 9]. V těchto byly hodnoceny teploty vzduchu a úhrny srážek v několika obdobích mezi roky 1961 až 2017. Jak je uvedeno v práci Střeščík et al. [8] jsou nejsuššími oblastmi nejjižnější části Moravy (Břeclavsko a Mikulovsko) a dolní Polabí a Poohří (Žatecko). Sucho se zde sice příliš nezvyšuje, ale oblastí ohrožené suchem se postupně rozšiřují proti proudu velkých řek a tento trend dále pokračuje a nic nenasvědčuje tomu, že by se měl zastavit. To znamená, že sucho hrozí na jižní Moravě podél Svratky až k Brnu, podél Moravy až ke Kroměříži, dále podél Labe až k Hradci Králové a podél labských přítoků až k Jicině a za Prahu.

Tabulka 1. Průměrné hodnoty sledovaných veličin v jednotlivých regionech

Průměrné hodnoty 1961–2017		Povodí Moravy	Povodí Odry	Povodí Labe	Povodí Vltavy
Nadmořská výška m		389	457	355	511
Teplota vzduchu °C	Roční	8,00	7,67	8,15	7,55
	Letní	17,14	16,65	17,14	16,41
Úhrn srážek mm	Roční	700	797	685	647
	Letní	254	300	241	257

Materiál a metody

Pro tuto studii byl použit soubor dat průměrných teplot vzduchu a průměrných srážkových úhrnů z tzv. technické řady za období 1961 až 2017 [10]). Data byla podrobena statistické analýze a byly stanoveny jejich trendy za zvolená období.

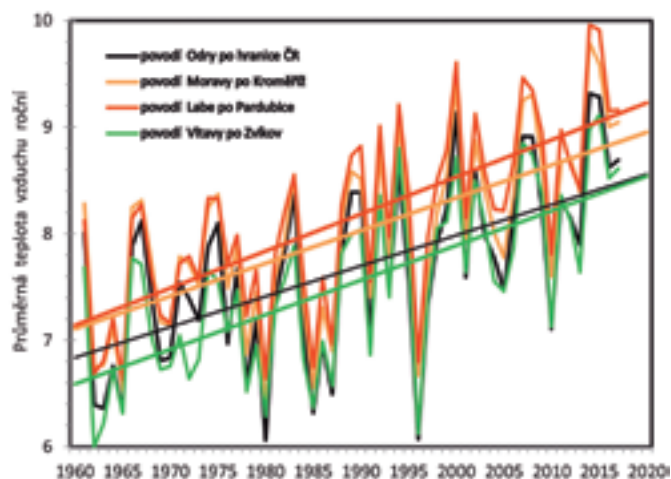
Výsledky

Průměrné hodnoty všech veličin uvádí Tab. 1. V průměrné nadmořské výšce stanic nejsou velké rozdíly mezi vybranými regiony. Ta je v povodí Odry jen o málo vyšší a v povodí Vltavy ještě o něco vyšší než v povodí Labe a Moravy. Průměrným nadmořským výškám odpovídá i průměrná roční teplota vzduchu, která je nejvyšší v povodí Labe a nejnižší v povodí Vltavy, rozdíly jsou však jen něco přes půl stupně.

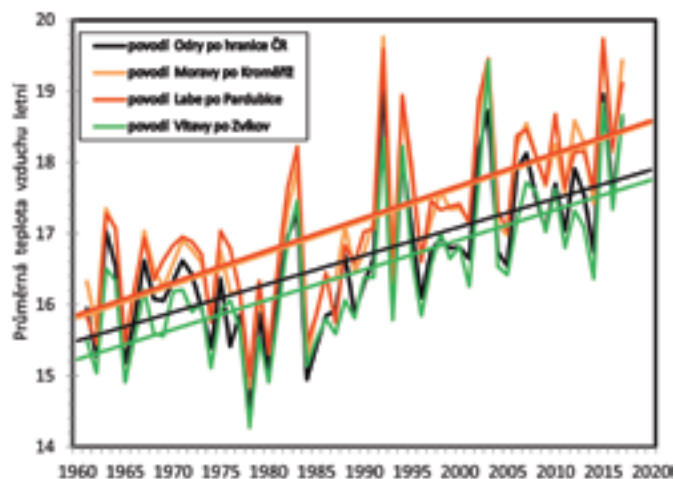
Průměrné roční srážkové úhrny jsou nejvyšší v povodí Odry, v ostatních povodích jsou nižší a téměř stejné ve všech třech povodích. Snad překvapivě nejsou nijak vysoké v jižních Čechách (povodí Vltavy).

Teplota vzduchu v průběhu sledovaného období roste na celém našem území, ale ne rovnoměrně. Více v Čechách než na Moravě, z toho nejméně v povodí Odry (obr. 1). Letní teploty rostou více než celoroční, regionální rozdíly jsou menší (obr. 2).

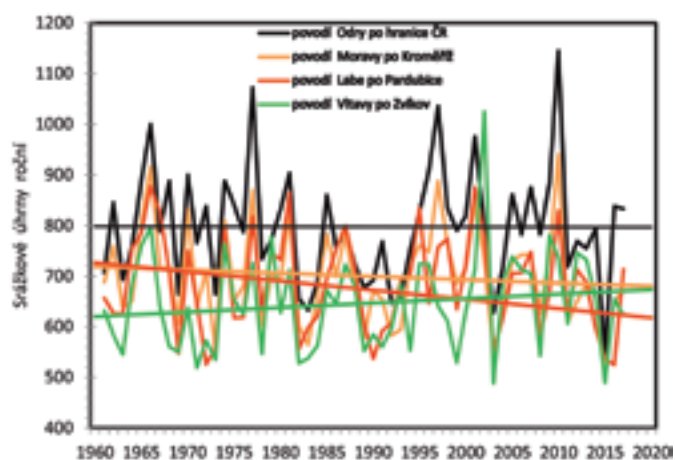
Roční srážkové úhrny se na Moravě mění jen nepatrně, v povodí Labe klesají, naopak v jižních Čechách mírně rostou (obr. 3). Letní úhrny se nemění nebo mírně klesají, v jižních Čechách mírně rostou (obr. 4).



Obrázek 1. Průběh průměrných ročních teplot vzduchu ve vybraných regionech



Obrázek 2. Průběh průměrných letních teplot vzduchu v jednotlivých povodích



Obrázek 3. Průběh ročních srážkových úhrnů v jednotlivých povodích

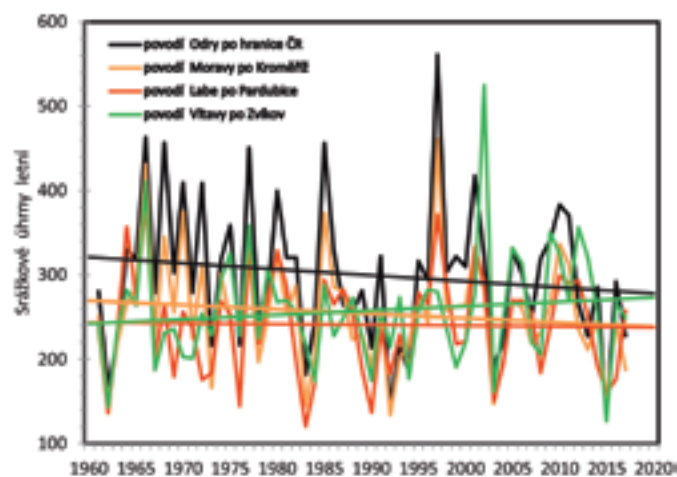
Vzhledem ke změně ročních teplot vzduchu a ročních srážkových úhrnů Langův dešťový faktor i Minářova vláhová jistota klesají, což znamená, že naše krajina pomalu vysychá. Pokles u obou veličin je nejpomalejší v jižních Čechách, tam je proto ohrožení suchem nejmenší.

V následující tabulce jsou pak číselně uvedeny rozdíly mezi hodnotami všech veličin pro rok 1960 a 2017. Jde o rozdíly na vertikální škále mezi body, kde regresní přímka protíná rámeček obrázku, tedy hodnoty pro roky 1960 a 2017.

Průměrná teplota vzduchu klesá podle očekávání s nadmořskou výškou. Graf pro stanice níže položené je proto vždy

Tabulka 2. Změna hodnot sledovaných veličin v jednotlivých regionech

Změna 1961–2017		Morava	Odra	Labe	Vltava
Teplota vzduchu °C	Roční	1,75	1,64	1,98	1,85
	Letní	2,61	2,28	2,59	2,39
Úhrn srážek mm	Roční	-36,85	-1,01	-32,80	50,46
	Letní	-29,73	-40,89	-5,41	29,54
Langův faktor	Roční	-25,07	-22,57	-24,24	-13,13
Minářova jistota	Roční	-18,76	-16,38	-19,85	-6,25



Obrázek 4. Průběh letních srážkových úhrnů v jednotlivých povodích

posazen výše než pro stanice níže položené. Naopak celkové srážkové úhrny rostou s nadmořskou výškou ve všech povodích. Graf pro stanice níže položené je proto vždy posazen níže než pro stanice níže položené.

Diskuze a závěr

Na všech obrázcích je nápadné silné kolísání mezi jednotlivými roky, které je často mnohem větší než dlouhodobá změna. Tato změna byla všude aproximována přímkou. Nic nenasvědčuje tomu, že by průběh mohl být jiný, že např. růst či pokles se v posledních 10 či 20 letech zpomaluje nebo dokonce zastavuje. Je tedy třeba počítat s tím, že naznačené trendy budou pokračovat dál i v příštích desetiletích. To může způsobit problémy především v nížinných oblastech povodí Moravy a Labe, o něco méně v povodí Odry, tedy Olomoucko, Prostějovsko, Přerovsko, Kroměřížsko, Hradecko, Pardubicko, Jaroměřsko, Choceňsko, mimo zde sledované regiony také Kolínsko, Nymbursko, Jičínsko a pražské okolí, které se tak stanou dalšími oblastmi ohroženými suchem. Na stanicích v uvedených regionech pak bude přibývat roků, které budou hodnoceny jako silně suché, případně nejsušší.

Poděkování

Příspěvek byl vypracován s podporou projektu NAZV registrační číslo QK1720285 „Metody korekce vláhových potřeb plodin zohledňující scénáře změn klimatu území ČR pro optimalizaci managementu závlah“.

Literatura

- [1] ALLEN, R. G. – PRUITT, W. O., 1991. FAO-24 reference evapotranspiration coefficients. *Journal Irrig. And Drainage Engineering*, ASCE 117(5), pp. 758-773.
- [2] BRUTSAERT, W., 1982. *Evaporation into the Atmosphere*. Dordrecht: D.Reidel Publishing Co., pp. 299.
- [3] KOHUT M., ROŽNOVSKÝ, J., CHUCHMA F., 2008: Vláhová bilance zemědělské krajiny. In: Rožnovský, J. – Litschmann (ed): *Sborník příspěvků z mezinárodní konference a CD ROM s články, „Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině“*, Mikulov 9. 9.–11. 9.2008, ČBKs, ČHMÚ, s. 35, CD ROM. ISBN 978-80-86690-55-1.
- [4] Monteith, J. L. – Unsworth, M.H., 1990. *Principles of Environmental Physics*, London: Edward Arnold, 2nd ed., pp. 291.
- [5] Novák, V., 1995. *Vyparování vody v přírodě a metody jeho určování*. Bratislava: SAV, 260 s.
- [6] Penman, H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A*, Vol. 193, No. 1032, pp. 120–145.
- [7] STŘEŠTÍK J., ROŽNOVSKÝ J., ŠTĚPÁNEK P., ZAHRADNÍČEK P.: The increase of annual and seasonal air temperatures in the Czech Republic during 1961–2010. *Proceedings of the international conference “Mendel and bioclimatology”*, Brno, September 2014a, elektronická publikace, 475–487.
- [8] STŘEŠTÍK J., ROŽNOVSKÝ, J., ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P.: Hodnocení výskytu sucha v České republice Minářovou vláhouvou jistotou za období 1961–2017. *Konference „Hospodaření s vodou v krajině“*, Třeboň, 2018, elektronická publikace, stránky nečíslovány.
- [9] STŘEŠTÍK J., ROŽNOVSKÝ, J., ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P.: Změna ročních a sezonních srážkových úhrnů v České republice v letech 1961–2012. *Konference „Extrémy oběhu vody v krajině“*, Mikulov, 2014b, elektronická publikace, stránky nečíslovány.
- [10] ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., 2008: Experiences with quality control and homogenization of daily series of various meteorological elements in the Czech Republic, 1961–2007. *Genova : In: Proceedings of the Sixth seminar for homogenization and quality control in climatological databases (Budapest, 25.–30. May 2008)*, WCDMP,WMO, 2008. p

KATALOG PŘÍRODĚ BLÍZKÝCH OPATŘENÍ PRO ZADRŽENÍ VODY V KRAJINĚ

Kamila Osicková, Miriam Dzuráková

*Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Pobočka Brno,
Mojmírovo náměstí 16, 612 00 Brno-Královo Pole, tel. +420 541 126 315, kamila.osickova@vuv.cz*

Abstrakt

Katalog přírodě blízkých opatření pro zadržení vody v krajině (dále jen „katalog“) představuje metodickou pomůcku pro návrhy systému opatření při adaptaci území na projevy extrémních hydrologických situací – především sucha a povodní, ale také eroze. Tyto extrémní projevy nelze od sebe oddělovat a opatření v ploše povodí by měla zmírňovat všechny tyto nežádoucí stavy. Vhodně navržená protipovodňová a protierozní opatření mají i velice pozitivní vliv při ochraně před následky sucha, protože celková ochrana povodí sleduje tyto základní cíle:

- Podpora vsakování vody do půdy;
- Omezení soustředování povrchového odtoku, tzn. podpořit jeho rozptýlování,
- Zpomalení a neškodné odvedení povrchového odtoku tak, aby nenabyl unášecí síly schopné odnášet zeminu;
- Prodloužení doby retence vody v ploše povodí.

Katalog vymezuje sedm druhů opatření, které se dělí na 30 typů a měl by napomoci k jednotnému přístupu při přípravě, návrhu a realizaci účinných systémů opatření v rámci hydrologických celků. Všechny typy opatření jsou popsány formou jednotného katalogového listu, který obsahuje základní charakteristiky opatření, popis jejich interakce a vlivu na složky životního prostředí i společnost, schematické nákresy opatření, fotodokumentaci příkladů jejich realizací, a rovněž časové hledisko přípravy a realizace, odhad nákladů a rychlosti dosažení očekávaného efektu jednotlivých opatření.

Katalog byl vytvořen v rámci řešení problematiky sucha v gesci Ministerstva životního prostředí jako součást strategického dokumentu „Koncepte ochrany před následky sucha pro území České republiky“.

Katalog je dostupný na informačním webovém portálu „Sucho v krajině“ (<http://suchovkrajine.cz>), v části „Výstupy“.

Klíčová slova: katalog opatření; sucho; retence vody v krajině; přírodě blízká opatření; opatření v ploše povodí.

Abstract

A catalogue of green water retention measures in landscape represents methodical support for designing the system of measures for climate change adaptation – drought, flood and erosion. These extremes could not be separate and complex system of measures needs to mitigate all these extreme conditions. Flood and erosion control measures, which are suitably designed, should have positive influence on drought protection. Basin protection should contain these basic goals:

- Support of water infiltration
- Limitation of surface runoff concentration
- Deceleration and harmless drainage of surface runoff (limitation of erosion)
- Extension of water retention in the basin.

The catalogue contains 7 types and 28 subtypes of measures and it should be helpful to integrated approach to preparation, designing and realization of effective measures systems. The catalogue contains datasheets for every measure subtype. There are basic characteristic, description of interaction, influence on environment and society, diagrams, photos, estimation of expenses and more.

The catalogue of green water retention measures in landscape represents one of the results of long term project financed by the Ministry of Environment as part of „Koncepte ochrany před následky sucha pro území České republiky“ document. All results are traceable on website <http://suchovkrajine.cz>.

Keywords: catalogue of measures; drought; water retention; green measures; measures in the catchment area.

Úvod

Narůstající četnost výskytu hydrologických extrémů je jedním z projevů globální klimatické změny. Měníci se přírodní podmínky spolu se změnami socioekonomických poměrů vedou k rostoucímu tlaku na potřeby vodních zdrojů a zároveň udržitelné využívání krajiny. Řada států, včetně České republiky, již přijala strategické dokumenty definující komplex adaptačních a mitigačních opatření vůči projevům klimatických změn, včetně nedostatku vody.

Strategický dokument „Koncepte ochrany před následky sucha pro území České republiky“ [1], který byl schválený vládou ČR dne 24. července 2017, obsahuje, jako jednu z příloh, seznam plošných a liniových opatření na zemědělské a lesní půdě a opatření na tocích a v údolních nivách, která jsou obecně vhodná pro zvýšení retence vody v krajině a zároveň zlepšují (nebo alespoň nezhoršují) ekologický stav vodních útvarů. Na tvorbě tohoto dokumentu se podílel i VÚV TGM, konkrétně byl vypracován Katalog přírodě blízkých opatření pro zadržení vody v krajině (dále jen Katalog) s detailním popisem vybraných parametrů, charakteristik a účinků typových opatření, který je dostupný na portálu suchovkrajine.cz. Práce na Katalogu vycházely i z výstupů dalších projektů řešených ve VÚV, zejména z projektu „Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozními jevy přírodě blízkými opatřeními v České republice“ [2], jehož výsledky jsou publikovány na portálu vodavkrajine.cz.

Tabulka 1. Vymezení druhů a typů opatření v katalogu

Druh opatření	Typ opatření	Detailní typ opatření
Plošná opatření na zemědělské půdě	organizační	návrh vhodného tvaru a velikosti pozemku
		trvalé zatravnění a zalesnění
		protierozní osevní postupy a protierozní rozmísťování plodin
		pásové střídání plodin
	agrotechnická	technologie ochranného zpracování půdy
		hrázkování/důlkování
		mulčování
		setí do krycí plodiny
	opatření na speciálních kulturách	zatravnění meziřadí
		hrázkování/důlkování meziřadí
		mulčování
		vrstevnicový směr výsadby
Biotechnická opatření	průleh	záchytný
		svodný
		zasakovací (retenční)
	příkop	záchytný
		svodný
		zasakovací (retenční)
	zasakovací pás	zasakovací pás
	stabilizace dráhy soustředěného odtoku	SDSO
	hrázky	záchytné
		zasakovací (retenční)
	meze	meze
	přehrážky	přehrážky v DSO
	terasy	terasy
	větrolamy	větrolamy
Malé vodní nádrže	malé vodní nádrže	vodárenské
		závlahové
		retenční suché
		retenční nádrže s malým zásobním prostorem
		čisticí a usazovací
		krajinotvorné nádrže ležící mimo vodní tok
Opatření v lesích	tvorba polyfunkčního lesa s pestrá dřevinnou skladbou	
	omezení smrku ve 3. a 4. LVS	
	podpora hospodářských způsobů s trvalým půdním krytem s dlouhou nebo nepřetržitou obnovní dobou	
	vhodné postupy při těžbě a důsledná sanace potěžečních či jiných technologických narušení půdy	
	nízký les	
	ochranné lesní pásy kolem vodohospodářsky významných vodních toků	
	hrazení strží	
	hrazení bystřin	
Opatření na tocích a v nivách	ochrana lesních pramenů a pramenišť	
	opatření na tocích v nezastavěných územích	
	opatření na tocích v zastavěných územích	
	opatření v údolních nivách toků	
Agrolesnická opatření	mokřadní biotopy	
	Výmladková plantáž topolů a vrb v DSO	
	Silvopastorální systém (např. vysokokmenný pasený ovocný sad)	
Hospodaření s dešťovou vodou	Silvoorebné systémy (např. liniové výsadby dřevin na orné půdě)	
	hospodaření s dešťovou vodou v intravilánech	

Katalog byl navržen v souladu s Národním akčním plánem adaptace na změnu klimatu, který byl jako implementační dokument Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR, schválen v roce 2017. Rovněž vyzdvihuje potřebu integrovaného přístupu k adaptačním a mitigačním opatřením a nutnost komplexního řešení udržitelného managementu vodního režimu krajiny.

Metodika tvorby Katalogu

Katalog vymezuje prozatím celkem sedm druhů opatření, které se dělí na 30 typů (Tabulka 1). Některé typy opatření jsou dále členěny na detailní podtypy (např. průlehy, příkopy – svodné, zachytňné, zasakovací) nebo komponenty (např. revitalizace). Rovněž typ opatření malé vodní nádrže (dále MVN) je rozdělen na detailní typy dle ČSN Malé vodní nádrže [3]. Zařazeny byly tyto typy nádrží, které se ukázaly jako vhodné pro zmírnění dopadů zejména sucha. Pro komplexní pohled na retenci vody byl mimo klasická opatření v ploše povodí Katalog doplněn o dva další druhy opatření, a to agrolesnická opatření a hospodaření s dešťovou vodou v intravilánech.

Všechny typy opatření jsou popsány formou jednotného katalogového listu, který obsahuje základní charakteristiky opatření:

- Popis opatření;
- Technické parametry – ty většinou vycházejí z platných předpisů;
- Podmínky realizace – základní předpoklady realizace;
- Možné střety – popis možných střetů, např. zábor půdy;
- Interakce/synergie s ostatními typy opatření – jednotlivá opatření je často nezbytné navrhovat společně s dalšími prvky tak, aby bylo dosaženo požadovaného účinku, naopak v některých případech může docházet i k negativnímu ovlivnění;
- Odhad nákladů – tam, kde to bylo možné, byl proveden řádově odhad nákladů na realizaci opatření. Jedná se pouze o hrubý odhad, který je vždy nutné vztáhnout ke konkrétní lokalitě. Základem pro stanovení pořizovacích nákladů navrhovaných opatření jsou Katalogy popisů a směrných cen stavebních prací, které každoročně vydává společnost ÚRS Praha, a.s. [5]
- Časové hledisko přípravy, realizace a efektu opatření;
- Řez/situace – schematické zobrazení daného opatření, pokud je relevantní;
- Fotodokumentace příkladů realizací;
- Hodnocení vlivu opatření na složky životního prostředí i společnost (Tabulka 2).

Osnova katalogového listu je částečně inspirována i strukturou katalogu opatření pro plánování [4] dle Směrnice 2000/60/ES.

Důležitou součástí katalogových listů je také slovní hodnocení efektivity a účinnosti jednotlivých opatření. Cílem hodnocení efektivity bylo propojení různých úhlů pohledu a zaměření, z kterého vyplývá vícekritériální hodnocení těchto aspektů: vliv na zadržení vody v krajině, vliv na povrchový odtok, vliv na omezení zhoršení kvality vody, vliv na hydromorfologii toků, vliv na omezení a zhoršení životních podmínek vodních a vodou vázaných organismů, vliv na krajinu a suchozemské ekosystémy a socio-ekonomické dopady. Celkem tak bylo definováno 29 hledisek hodnocení, které jsou uvedeny v Tabulce 2. Výběr hodnotících kritérií byl koncipován také tak, aby zohlednil i možné dopady opatření na ekologický stav vodních útvarů. Slovní popis hodnocení je součástí každého katalogového listu a odráží výsledky semikvantitativního hodnocení efektivity opatření, které bylo realizováno metodou multikritériální analýzy. Toto hodnocení je podrobně popsáno v závěrečné zprávě k problematice SUCHO [6] a výsledky ve formě nástroje hodnocení efektivnosti opatření

jsou součástí metodického návodu [7] volně dostupném na portálu suchovkrajine.cz.

Katalog je dostupný na informačním webovém portále „Sucho v krajině“ (<http://suchovkrajine.cz>), v části „Výstupy“.

Aplikace Typová opatření pro zadržení vody v krajině

Souběžně s Katalogem byla připravena také webová mapová aplikace „Typová opatření pro zadržení vody v krajině“ (dále jen Mapová aplikace), která je koncipována jako nástroj pro podporu realizace opatření v ploše povodí a na vodních tocích a za účelem posílení informovanosti široké veřejnosti. Základem Mapové aplikace je soubor tzv. vzorových lokalit s realizovanými nebo navrhovanými komplexy opatření. Celkem bylo vybráno 17 vzorových lokalit pro opatření na zemědělské půdě a 11 vzorových lokalit pro vodní toky a nivy mimo zastavěné území. Cílem bylo zvolit co nejroznorodější lokality dle charakteru území a zároveň postihnout co nejširší škálu typů opatření. Pro každou vzorovou lokalitu opatření na zemědělské půdě byly na základě klastrové analýzy sestaveny soubory základních fyzicko-geografických charakteristik vztahených k povodím IV. řádu. Kombinace hodnot těchto charakteristik pak umožňuje přiřadit jednu nebo více vzorových lokalit jednotlivým povodím s podobnými charakteristikami jako možné řešení opatření na zemědělské půdě.

Vzorové lokality na tocích a v nivách jsou kategorizovány dle příslušnosti toku do řádu dle Strahlera v kombinaci s nadmořskou výškou. Vhodné úpravy toků v intravilánu jsou popsány pomocí jednoho informačního listu, který uvádí více příkladů. Vzorové lokality opatření na lesní půdě budou doplněny v další fázi tvorby Mapové aplikace.

Webová mapová aplikace je dostupná na webovém portále „Sucho v krajině“ (<http://suchovkrajine.cz>), v části „Mapové kompozice“.

Závěr

Katalog přírodě blízkých opatření pro zadržení vody v krajině byl vytvořen s cílem přiblížit problematiku zvýšení retence vody v krajině široké veřejnosti. Měl by napomoci k jednotnému vnímání a přístupu k přípravě, návrhu a zpracování účinných systémů opatření v rámci uzavřených hydrologických celků. Cílem katalogu je představit možná řešení a nastínit jejich využití, včetně popisu případných vlivů na všechny složky životního prostředí i společnosti.

Zejména pro širokou veřejnost je určena webová aplikace, v rámci které uživatelé získají představu, jakým způsobem je ve vybraném území možné řešit zadržování vody v krajině, a to prostřednictvím vybraných příkladů vhodných opatření (nebo systému opatření) na vzorových lokalitách. V současnosti je aplikace připravena pro řešení opatření na zemědělské půdě a na tocích a v nivách.

Práce na katalogu i webové aplikaci budou v následujících letech pokračovat, cílem je oba nástroje dále doplnit o další typy opatření a rozšířit hodnocení efektivity opatření o modelování jejich vlivu na povrchový odtok pomocí srážko-odtokových modelů, čímž bude vyčíslen podíl schopnosti daného opatření zadržet povrchový odtok v krajině. Aplikace bude doplněna o další vzorové lokality, které budou vizualizovány ve specializované veřejné databázi, jejíž součástí bude i katalog.

Oba představované nástroje jsou součástí webového portálu „Sucho v krajině“, který slouží jako informační platforma o jednotlivých krocích směřujících k naplňování úkolů definovaných

Tabulka 2. Kritéria hodnocení účinnosti opatření

A – VLIV NA KVANTITU VODY
1 – snížení objemu odtoku
2 – snížení rychlosti odtoku
3 – zvýšení vsaku do půdního profilu a podzemních vod
4 – vytvoření zásoby vody pro využití v období sucha
5 – nadlepšování průtoků v období sucha
B – VLIV NA HYDROMORFOLOGII TOKU
1 – podpora přirozené struktury dnových sedimentů
2 – habitatová diverzita (refugia pro vodní organismy)
3 – zvýšení migrační prostupnosti
4 – podpora přirozeného vývoje vodního toku
C – VLIV NA KVALITU VODY
1 – podpora samočisticích procesů
2 – omezení eutrofizace povrchových vod
3 – omezení vnosu znečištěných cizorodými látkami
4 – snížení obsahu půdy do povrchových vod
D – VLIV NA VODNÍ A VODU VÁZANÉ ORGANISMY
1 – vliv na ryby
2 – vliv na makrozoobentos
3 – vliv na fytozobentos
4 – vliv na cévnaté rostliny
5 – vliv na obojživelníky
E – VLIV NA KRAJINU A SUCHOZEMSKÉ EKOSYSTÉMY
1 – snížení erozní činnosti
2 – tvorba nových biotopů
3 – podpora biodiverzity
4 – rozčlenění obhospodařovaných ploch do menších celků
5 – zlepšení migrační prostupnosti
F – SOCIO-EKONOMICKÝ DOPAD
1 – podpora rekreace a turistiky
2 – zvýšení estetické hodnoty krajiny
3 – snížení degradace půdy
4 – zvýšení pracovních příležitostí pro místní obyvatele
5 – podpora živočišné výroby
6 – změna mikroklimatu

v Konceptu ochrany před následky sucha pro území České republiky schváleným vládou ČR v červenci 2017.

Závěrem je nutno konstatovat, že je třeba zvyšovat všeobecné povědomí o klimatických extrémech a upozorňovat na možné konsekvence, protože osvěta a vzdělávání veřejnosti k zodpovědnému přístupu k vodě a krajině je jedním z hlavních pilířů úspěšné adaptace společnosti na změny klimatu.

Poděkování

Příspěvek popisuje výstupy úkolu Podpora výkonu státní správy v problematice sucha řešeného pro Ministerstvo životního prostředí v letech 2016 – 2018.

Literatura

- [1] Koncept ochrany před následky sucha pro území České republiky, [on-line]. <http://eagri.cz/public/web/mze/ministerstvo-zemdelstvi/koncepce-a-strategie/koncepce-na-ochranu-pred-nasledky-sucha.html>
- [2] Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozními jevy přírodě blízkými opatřeními v České republice. (Ministerstvo životního prostředí, financováno z Operačního programu Životní prostředí, řešeno 2014–2015), [on-line]. <http://www.vodavkrajine.cz/>
- [3] ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže, Praha, 2011.
- [4] Katalog opatření. MZe, MŽP, 2005
- [5] ÚRS Praha. Katalogy popisů a směrných cen stavebních prací. 2018. [on-line: <http://www.pro-rozpocety.cz/software-a-data/cenova-soustava-urs-cs-urs-/katalogy-popisu-a-smernych-cen/>].
- [6] DZURÁKOVÁ, M. A KOL. Vyhodnocení přírodních blízkých opatření, katalog opatření. Činnosti k podpoře výkonu státní správy v problematice SUCHO v roce 2017 – úkol 3702. Závěrečná zpráva, VÚV Brno, 2018, 35 s.
- [7] KOLEKTIV AUTORŮ Metodický návod na výběr vhodných opatření pro zadržení vody v krajině. Činnosti k podpoře výkonu státní správy v problematice SUCHO v roce 2017. VÚV Brno, 2018, 11 s.

NÁVRH MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ

Petr Doležal¹, Jana Konečná², Petr Karásek²

¹ Agropojekt PSO, s.r.o., Slavičkova 840/1b, 638 00 Brno, Czech Republic,
tel. +420 777 291 646, petr.dolezal@agropojektpso.cz

² VÚMOP, v.v.i., Lidická 25/27, 602 00 Brno, Czech Republic

Abstrakt

Príspevek se zabývá metodou automatizovaného výběru profilů retenčních nádrží v malých povodích. Pro návrh jsou využity moderní programové prostředky (ArcGIS, HEC-HMS), Podkladem jsou data veřejně přístupná na internetu (ČÚZK). Metoda umožní efektivní přípravu možných profilů malých vodních nádrží včetně odhadu jejich hlavních parametrů (výška hráze, retenční objem) využitelnou dále v návrzích územních plánů obcí, případně jako podklad pro návrh zadání komplexních pozemkových úprav. Součástí příspěvku je ukázka návrhu možných profilů a posouzení retenčního účinku v povodí Kuřimky.

Klíčová slova: vodní nádrž; vodní tok; retence; povodí; povodeň; ArcGIS.

Abstract

The paper deals with a method of automatical selection of possible profiles of water reservoirs in small river basins. Modern design tools (ArcGIS, HEC-HMS) are used for the design. Data are publicly accessible on the Internet (ČÚZK). The method will enable effective preparation of possible profiles of small water reservoirs, including estimation of their main parameters (dam height, retention volume), which can be used further in the design of municipal land use plans, eventually as a basis for the proposal of complex land consolidation. Part of the paper is an example of the design of possible profiles and assessment of Kurimka basin.

Keywords: water reservoir; watercourse; retention; basin; flood; ArcGIS.

Úvod

Návrh malých vodních nádrží s retenčním účinkem v rámci malých povodí je jednou z aktuálních úloh řešených vodo-hospodářskou praxí. V současné době je aktuální otázkou také problematika sucha. Návrh těchto nádrží je jistou variantou, jak zadržet více vody v krajině. U malých vodních nádrží s objemem v řádech desítek tisíců m³ je jejich funkce z pohledu nalepšení odtoků v tocích diskutabilní, nicméně z pohledu tvorby krajiny a určitého zlepšení místních klimatických a přírodních podmínek mají svůj význam. V současné době se setkáváme, zejména při návrzích územních plánů, s umísťováním retenčních nádrží do profilů, které z hlediska morfologie nemají téměř žádný účinek a to zejména na hlavní tok. To dokumentují následující obrázky č.1 a č.2. Při volbě profilu nádrže je třeba posoudit také ekonomickou efektivnost. V procesu pozemkových úprav je do určité míry návrh omezen obvodem pozemkových úprav. Problematiku

mohou řešit studie odtokových poměrů, které jsou často zadávány v předstihu a zabývají se širším územím.

V návrzích územních plánů obcí, které jsou pak závazným podkladem pro návrh opatření v nezastavěném území, je problematika výběru vhodných profilů často opomíjena. To je patrně způsobeno podrobností podkladů, které zpracovatelé nemají v této fázi k dispozici. Pro umísťování retenčních nádrží do územních plánů obcí by měly být k dispozici jako výchozí podklad odborné studie.

Návrh profilů retenčních nádrží musí vycházet z morfologické analýzy. Je potřeba posoudit plochu povodí nádrže a její poměr k celkové ploše povodí k posuzovanému profilu. Účinek nádrže je úměrný ovlivněné ploše. Dále je třeba posoudit tvar údolí. Strmá a zaříznutá údolí jsou nevhodná. Zde se projevuje nepříznivý průběh křivky zatopených objemů, která je v první části poměrně strmá. To vede k návrhu vysokých hrází, kde první metry nemají téměř žádný retenční prostor. Na rovinných svazích se zadržení vody dosáhne pouze hrází, která je tvaru „U“ nebo „C“. Objem nádrže je možné zvýšit pouze výkopem. Objemový součinitel takových nádrží je velmi nevýhodný.

Kromě analýzy morfologie je nutné se také zaměřit na další omezení. Zde hraje roli např. zastavěnost území, významné liniové stavby (železnice a silnice), zalesnění, chráněná území a další.

Z pohledu umístění hráze je také důležitým omezením dostupnost vhodných materiálů pro konstrukci hráze.

Metoda, která je předmětem příspěvku si klade za cíl vybrat a ukázat možné profily budoucích nádrží a vytvořit tak podklad pro další rozhodování. S výhodou je využito moderních programových prostředků, které umožní provádět analýzy efektivně a rychle. Vzhledem k tomu, že se jedná o prvotní návrh, jsou v předkládané metodě přijata určitá zjednodušení:

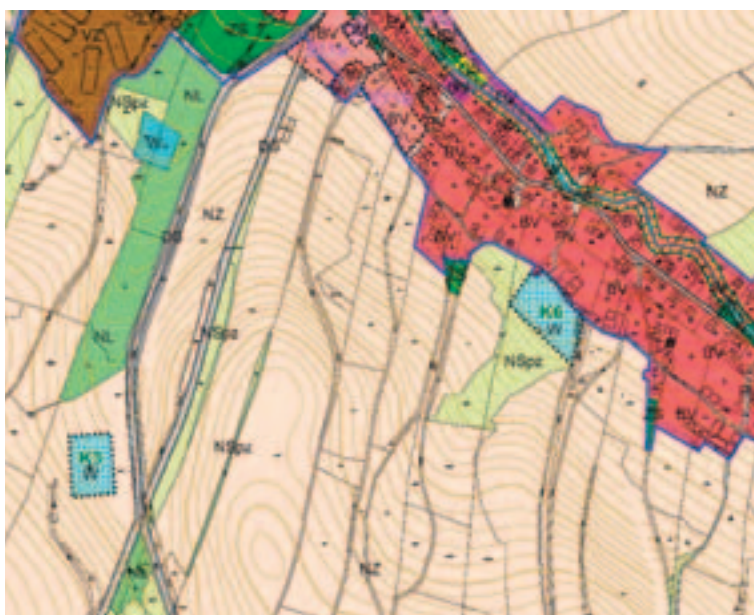
- Polohopisným podkladem byla zvolena mapa ZM10, resp. ortofotomapy.
- Poloha vodotečí vychází z databáze DIBAVOD.
- Výškopisným podkladem je DMR4G, resp. DMR5G.
- Druh pozemků a způsob jejich využití sloužící k vyznačení omezení umístění nádrží vychází z údajů veřejně dostupných v digitální podobě na geoportálu ČÚZK.
- K analýzám je využito prostředí ArcView.
- K posouzení účinnosti navržených profilů nádrží slouží hydrologická data ve vybraných profilech poskytnutá ČHMÚ (tvarů N-letých teoretických povodňových vln).
- Simulace srážko-odtokového procesu je řešena srážko-odtokovým modelem, který využívá schematizace povodí systémem ploch, kanálů a nádrží.

Metoda řešení

Prezentovaná metoda má tři fáze. První fází je analýza morfologie terénu, hydrografické sítě a druhu pozemků. Výsledkem analýzy je předběžný návrh ploch vhodných pro umístění profilů



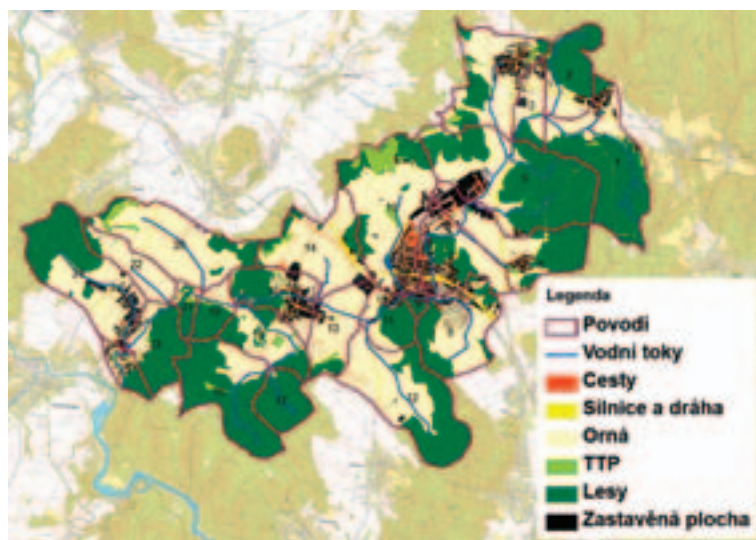
Obrázek 1. Ukázka navrhovaného profilu dle ÚP (W4), výrazné omezení železnicí a silnicemi, bezvýznamný retenční prostor



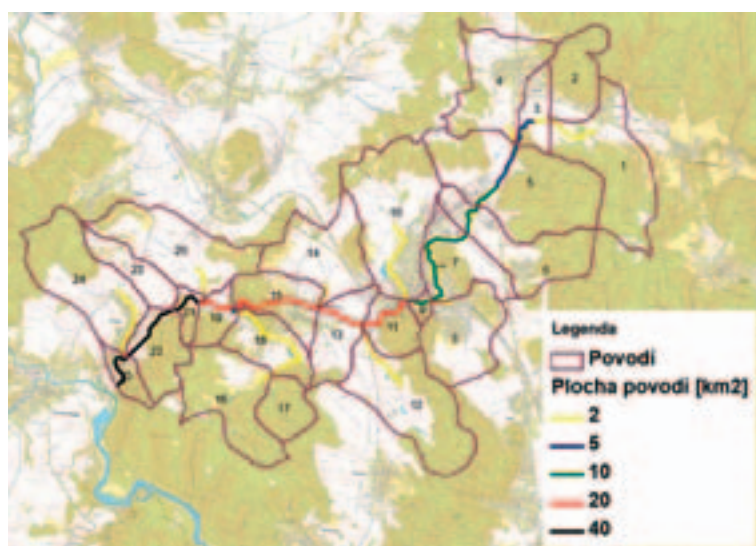
Obrázek 2. Rovinný svah, nevhodný pro umístění hráze (K3, K6), tvar hráze „U“ resp. „C“



Obrázek 3. Povodí Kuřimky s vyznačením hydrografické sítě



Obrázek 4. Druhy pozemků dle KN



Obrázek 5. Ovlivněná plocha povodí

budoucích malých vodních nádrží. Ve druhé fázi je provedeno dopřesnění polohy nádrží a určení charakteristických čar nádrže (čára zatopených ploch a objemů). V této fázi je pak sestaven srážko-odtokový model, který je kalibrován na tvary hydrogramů dle ČHMÚ. Třetí fází je simulace variantních řešení při zapojení navrhovaných nádrží. Volba variant je přizpůsobena cílům studie, např. minimalizovat počet nádrží při udržení požadovaného účinku apod. Analýza morfologie terénu, hydrografické sítě a druhu pozemků je řešena v prostředí GIS, programem ArcView. Srážko-odtokový proces je řešen programem HEC-HMS [5]. Simulace odtoku je řešena s využitím metody CN čísel, metody jednotkového hydrogramu a metody Muskingum-Cunge.

Podklady

- Výškopis DMR4G, resp. DMR5G
- Tvary teoretických hydrogramů povodně dle ČHMÚ
- SPI a SGI – katastr nemovitostí – veřejný portál ČÚZK
- Databáze Dibavod
- Územní plány obcí

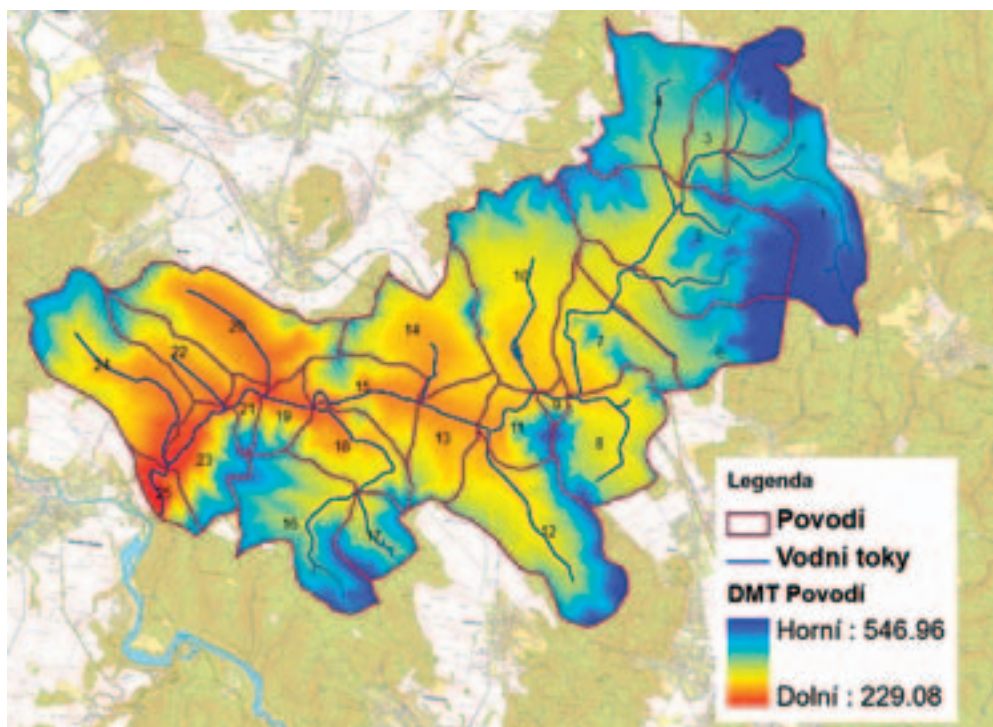
Aplikace metody

Aplikace navrhované metody byla provedena na povodí Kuřimky. Vstupní podklady a data byla využita z projektu „QJ1620040 Optimalizace ochrany vody a půdy v povodí vodních zdrojů s ohledem na udržitelné systémy zemědělského hospodaření“. V rámci metody byla posouzena účinnost dvou nádrží navrhovaných územním plánem. Dále byl proveden předběžný návrh dalších možných profilů retenčních nádrží a byl posouzen jejich účinek. Přehledně je povodí Kuřimky uvedeno na obrázku č.3. Podklady a data využitá k analýze morfologie, hydrografické sítě a druhu pozemků jsou prezentována na obrázcích č. 4 až 7. Výsledek analýzy a první fáze metody je uveden na obr. č. 8. Druhá fáze je prezentována obrázky č. 9 a 10.

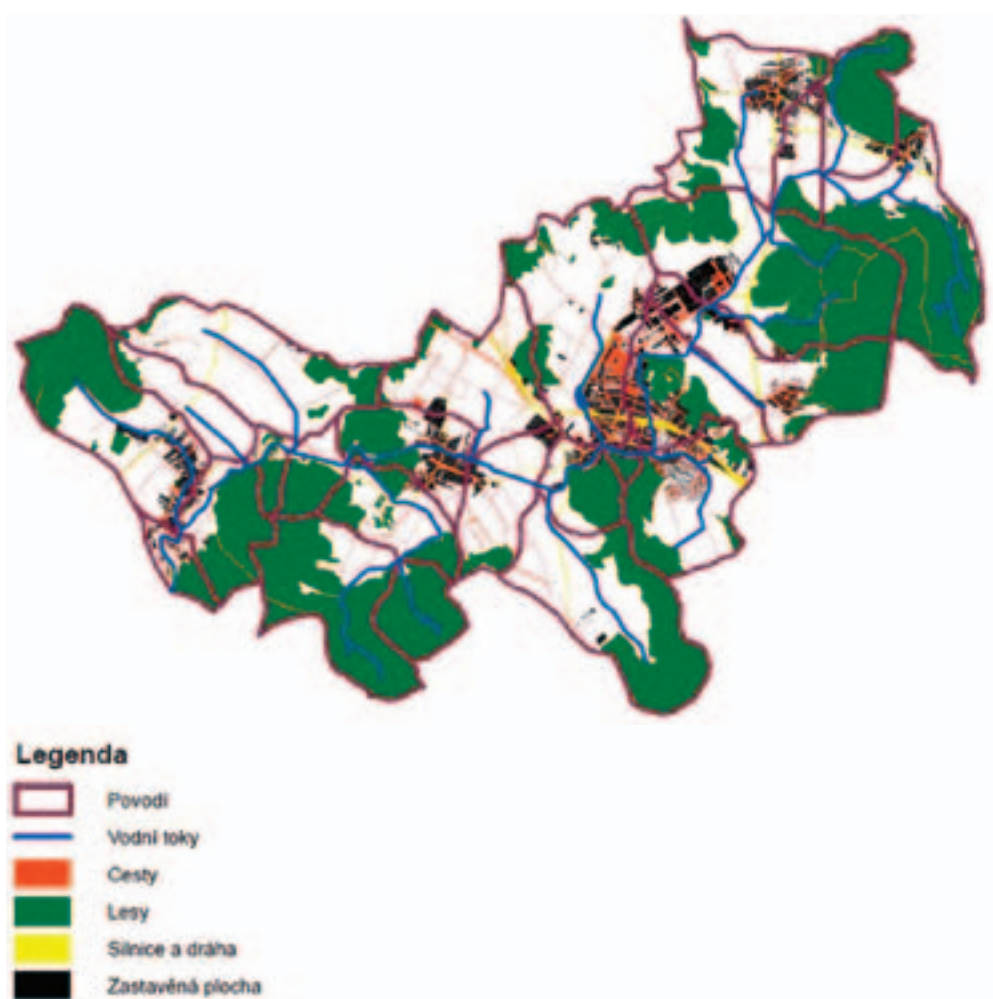
Výsledky analýzy přispívající plochy povodí jsou pro přehlednost uvedeny na obrázku č.?. Barevně je odlišena plocha povodí ve směru toku.

Analýza ploch nevhodných k umístění nádrže v povodí Kuřimky je uvedena na obrázku č. ?.

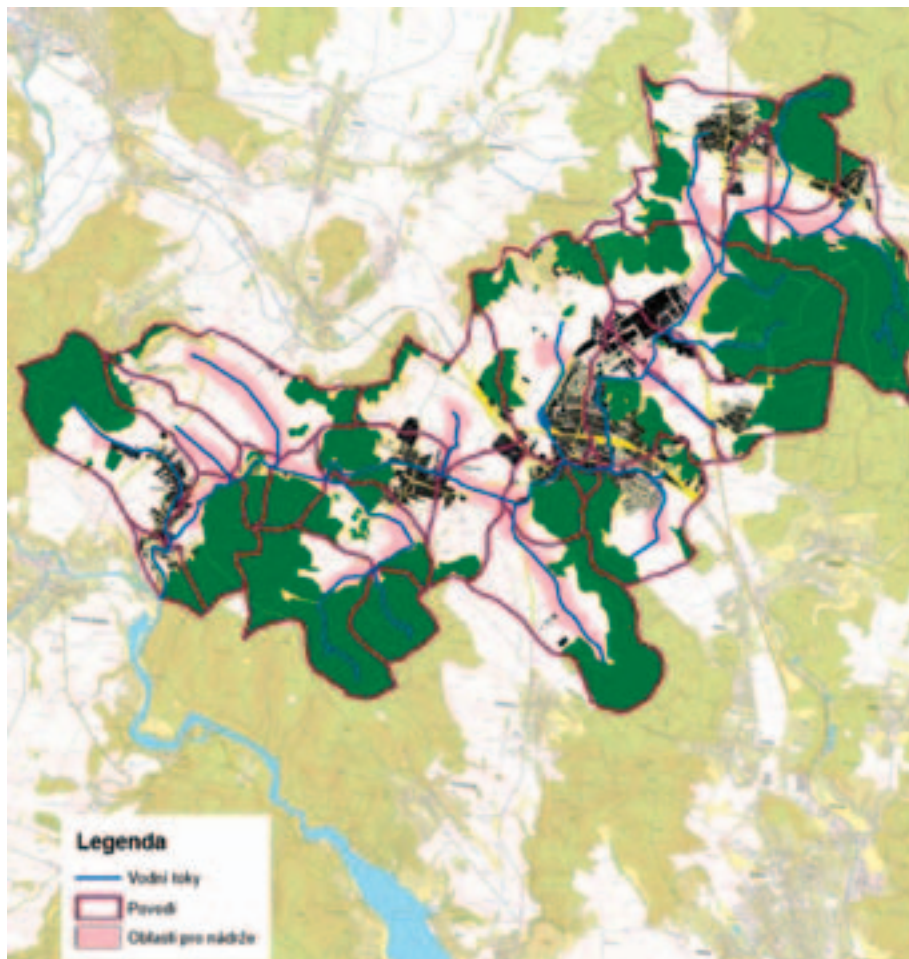
Výsledek určení možných ploch v povodí pro umístění retenčních nádrží získaný automatizovaným postupem analýzou



Obrázek 6. Digitální model terénu povodí Kuřimky



Obrázek 7. Vymezení nevhodných ploch



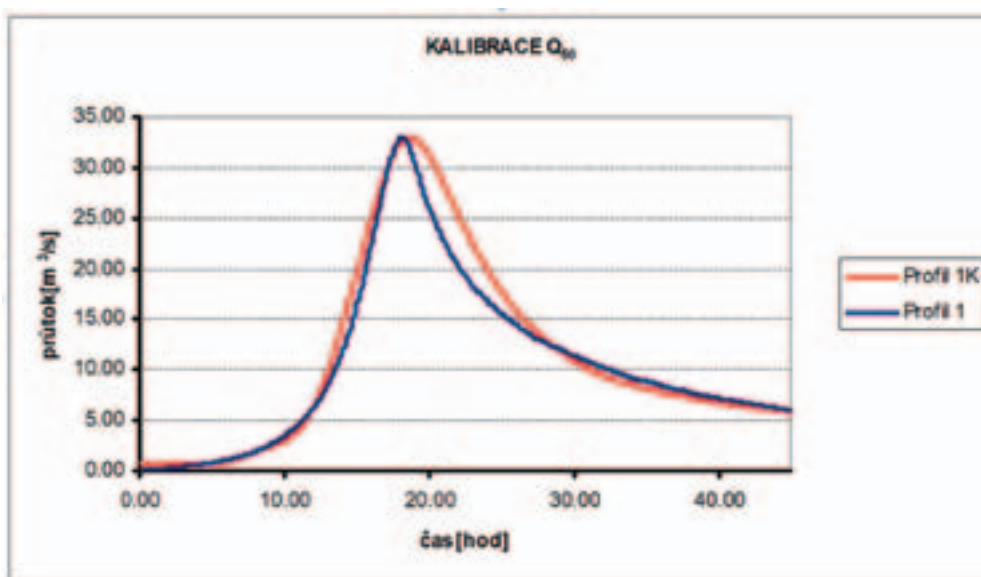
Obrázek 8. Vymezení ploch vhodných pro umístění nádrže



Obrázek 9. Profily možných nádrží a nádrží dle ÚP



Obrázek 10. Schematizace povodí HEC-HMS



Obrázek 11. Shoda teoretického a simulovaného hydrogramu v uzavěrovém profilu Kuřimky

morfologie, hydrografické sítě a ploch nevhodných je uveden na obrázku č. ?. Růžovou barvou je označeno vymezení vhodných ploch.

Výsledek první fáze byl dopřesněn nad mapou ZM10. Byly vybrány pouze profily s vhodným tvarem údolí, přístupné a bez omezení v zátopě. Umístění vybraných profilů a profilu dle ÚP je uvedeno na obrázku č. ?. Modrou barvou jsou označeny nádrže uvažované dle ÚP (nádrž N2 je již realizována), červenou barvou nádrže doplněné metodou.

Posouzení variant návrhů

Posouzení variant návrhů možných retenčních nádrží vycházelo z navržené schematizace povodí v programu HEC HMS. Ukázka schematizace je uvedena na obrázku č. 10.

Kalibrace srážko-odtokového modelu byla provedena na teoretické hydrogramy povodně s průměrnou dobou opakování $N=50$ a 100 let pro dva profily. Prvním byl uzavěrový profil UP, druhý byl cca v km 11,0 Kuřimky.

Ukázka shody teoretického a simulovaného hydrogramu pro uzavěrový profil a $N=50$ let je uvedena na následujícím obrázku. Obdobné shody bylo dosaženo i pro $N=100$ let. Teoretický hydrograf je označen modrou barvou, simulovaný červenou.

Výsledky

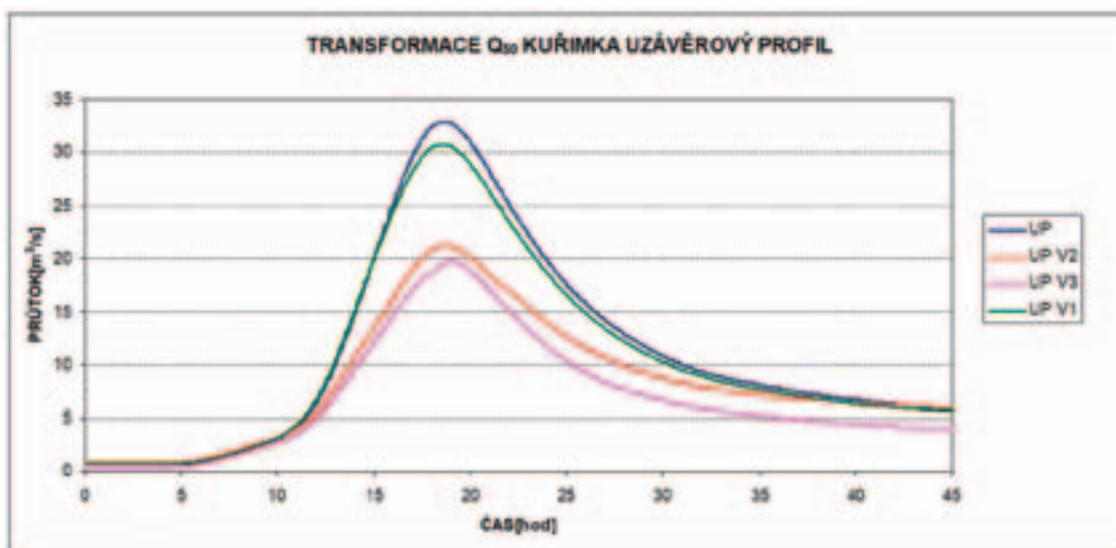
Posouzení účinnosti navrhovaných malých vodních nádrží s retenčním účinkem bylo provedeno pro tři varianty. První variantou V1 byl návrh pouze dvou nádrží uvažovaných územním plánem. Tato varianta byla zvolena za účelem posouzení nádrží uvažovaných územním plánem. Druhá varianta V2 představovala zavedení devíti nádrží navržených metodou včetně nádrží dle územního plánu s uvažováním předpouštění spodní výpustí DN 300 mm. Varianta byla vybrána z důvodu posouzení maximálního využití vybraných profilů nádrží a posouzení jejich účinku. Třetí varianta V3 představovala simulaci opět s devíti nádržemi s uzavřenými výpustmi. Varianta ukazuje maximální možné plnění nádrží pro zvolený profil. Účinnost byla posuzována pro uzavěrový profil Kuřimky pro hydrogramy s průměrnou dobou opakování $N=50$ a 100 let. Výsledky variant je možné prezentovat ve formě grafů a tabulky.

V tabulce č. 1 značí UP uzavěrový profil bez ovlivnění nádržemi. V1 až V3 je označení varianty, N je posuzovaný účinek pro N-letost. Dosažená kulminace označuje úroveň, na kterou byl snížen kulminační průtok oproti hodnotám bez uvažování nádrží (UP – teoretický hydrogram).

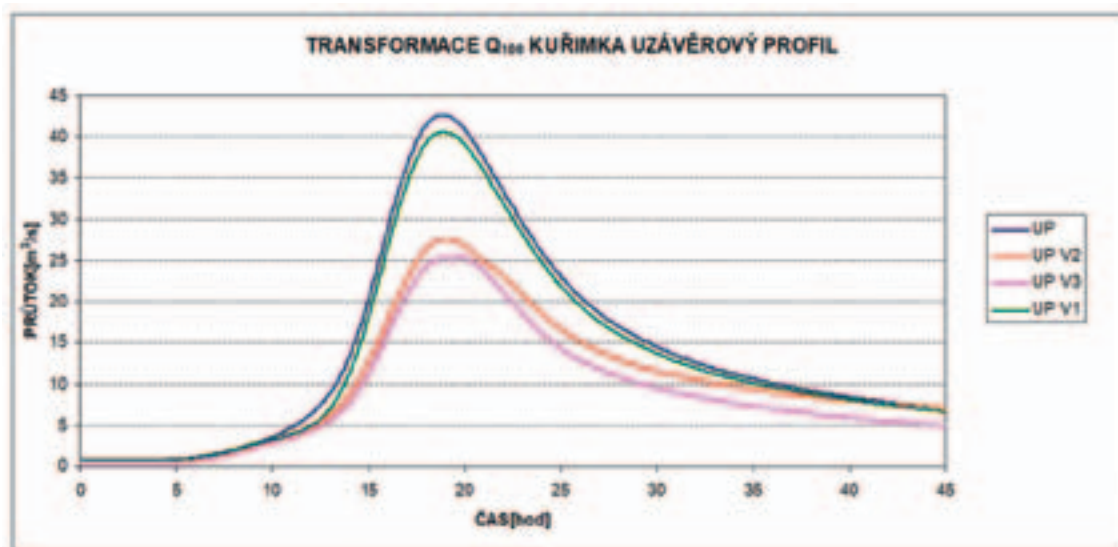
Z prezentovaných výsledků je patrné, že k podstatnému zvýšení retenčního účinku došlo zavedením další retenčních nádrží. Mezi variantou V1 a V3 je rozdíl téměř 33,5–35,7 % (podle N-letosti). Dvěma nádržemi je možné snížit kulminaci o cca 5–7%. Jejich význam je však podstatný pro město Kuřim. Zvýšením počtu na devět nádrží se dosáhne snížení o cca 35 %. Na základě výsledků analýzy by bylo následně vhodné provést posouzení ekonomické efektivnosti, která by prokázala výhodnost a realizovatelnost navržené soustavy. Rovněž by bylo možné soustavu optimalizovat z pohledu počtu nádrží.

Tabulka 1. Srovnání variant transformace

N = 50 let			N = 100 let		
Profil, varianta	Kulminační průtok [m ³ /s]	Dosažená kulminace [%]	Profil, varianta	Kulminační průtok [m ³ /s]	Dosažená kulminace [%]
UP	32.88	100	UP	42.69	100
UP V1	30.78	93.6	UP V1	40.61	95.1
UP V2	21.24	64.6	UP V2	27.65	64.8
UP V3	19.76	60.1	UP V3	25.38	59.4



Graf 1. Transformační účinek soustavy nádrží – Q50



Graf 2. Transformační účinek soustavy nádrží – Q100

Závěr

Prezentovaná metoda umožní s využitím moderních programových prostředků a veřejně dostupných dat vytipovat profily malých vodních nádrží s retenčním účinkem. Poskytne tak podklad pro analýzy z pohledu ekonomické efektivity. Umožní rámcově připravit profily hrází pro potřeby územního plánování tak, že se bude jednat o profily využitelné vzhledem k morfologii území a omezení zastavěnosti a druhem pozemku. Retenční funkce může být nahrazena funkcí zásobní. Pokud budeme nádrže uvažovat jako zásobní, je potřeba u vybraných profilů posoudit hydrologickou bilanci. Pokud není prokázáno dostatečné množství vody (kladná hydrologická bilance) je návrh takové nádrže neopodstatněný.

Poděkování

Príspevek byl zpracován díky podpoře MZe ČR v rámci projektů QJ1620040, RO 0218 a QK1910282.

Literatura

- [1] DOLEŽAL, P., FELTL, J., Využití prostorové založeného srážko-odtokového programu k návrhům malých vodních nádrží s retenčním účinkem, Littera Scripta, Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, 2012, ISSN: 1802-503X
- [2] JACOBSEN, P. : Urban Surface-Runoff Simulation Ph.D.Thesis, Lyngby,Denmark, 1980.
- [3] JENÍČEK M. (2005): Možnosti využití srážko-odtokových modelů na malých a středně velkých povodích. In Langhammer, J. (ed.): Vliv změn přírodního prostředí povodí a údolní nivy na povodňové riziko. PŕF UK, Praha, s. 112 – 126.
- [4] ŠERCL P. (2009): Vliv fyzicko-geografických faktorů na charakteristiky teoretických návrhových povodňových vln. Sborník prací ČHMÚ Praha.
- [5] US ARMY CORPS OF ENGINEERING CENTER Hydrologic Programing System, HEC-HMS, User's Manual, (2006)

PREVÁDZKA A SKÚSENOSTI S MVN V SPRÁVCOVSKOM ÚZEMÍ SPRÁVY POVODIA DOLNEJ NITRY

Jozef Hudec, Miroslav Tomko

*SVP š.p. OZ Piešťany, Správa povodia dolnej Nitry, Za hydrocentrálou 8, 949 01 Nitra,
tel. +421 377 721 773, jozef.hudec@svp.sk*

Abstrakt

Cieľom príspevku je oboznámenie o početnosti, účelu využitia, prevádzkovaní a začlenení malých vodných nádrží (MVN) do krajiny a interakcie človek, voda, krajina v správcom území SVP š. p., OZ Piešťany, Správa povodia dolnej Nitry (SPDN). Poukážeme na genézu správcovstva, proces delimitácie a kategorizáciu vybudovaných vodných stavieb. Následne zhodnotíme stav a funkčnosť MVN s opisom vykonaných opatrení na vybranom vodnom diele so záverečným zhodnotením vplyvu MVN na odtokové pomery a vplyv krajiny na prevádzku vodných stavieb.

Abstract

The objective of the contribution is to report on the frequency, purpose of use, operation and integration of small water reservoirs (SWR) into the country and the interaction of man, water, country in the administrative territory of the SVP š.p. OZ Piešťany, management of the lower Nitra Basin (SPDN). We will show on the genesis of management, the process of delimitation and categorisation of built-in water buildings. We will then assess the status and functionality of the MVN with a description of the measures taken on the selected water unit with the final assessment of the impact of MVN on the drainage ratios and the impact of the country on the operation of the aquatic buildings.

Úvod

Zdroje vody, ktorými sú aj prirodzené toky, jazerá, alebo umelé nádrže boli od nepamäti v centre záujmu človeka, ktoré dokázali zabezpečiť viacero životodarných funkcií, z čoho pramenilo aj rozvíjanie a osídľovanie vnútrozemskej civilizácie v blízkosti tokov a vodných plôch. Prehradzovanie potokov a riek patrí medzi najstaršie zásahy človeka do tečúcich vôd, pričom je neoddeliteľnou súčasťou rastu ľudskej populácie a technologických inovácií. Priehrady sú stavby navrhnuté ľuďmi, slúžiace na zachytávanie zmien veľkosti a pohybu vodných mas, čím znižujú nebezpečenstvo povodní a umožňujú ľuďom usadiť sa, hospodáriť a využívať silu tečúcej vody pre obchod, priemysel, poľnohospodárstvo v období sucha a naopak, zabezpečiť povodňovú ochranu územia v čase prebytku vody v povodí tokov.

Slovensko spoločne s Českou republikou sú súčasťou tzv. hydrologickej strechy Európy. Rieky prameniace na našom území, sú charakteristické veľkou rozkolísanosťou. To má za následok, že maximálne prietoky sú oproti minimálnym výrazne vyššie, v niektorých prípadoch viac ako 1 000 násobne.

História výstavby priehrad na Slovensku siaha do začiatku 16. storočia. V roku 2010 uplynulo 500 rokov od výstavby prvej

priehrady Veľká Vodárenská, postavenej na našom území v roku 1510 neďaleko Banskej Štiavnice /1/.

Prívlastok „Zlatý vek priehradného staviteľstva“ na Slovensku sa právom pripisuje najmä 1. polovici 18. storočia, kedy prevládal vývoj banského priemyslu v Banskoštiavnických revíroch s potrebou získania energie na odčerpávanie podzemných vôd z banských štôlní, ako aj za účelom získania zásob vody pre banský priemysel v oblasti chudobnej na povrchové vodné zdroje. V tomto období bola vybudovaná unikátna vodohospodárska sústava 50–60 nádrží nazývaná aj tajchy, ktorá v roku 1993 spoločne s mestom Banská Štiavnica bola zaradená na listinu kultúrneho dedičstva UNESCO. V súčasnosti je v prevádzke ešte 22 tajchov.

S postupným rozvojom a technologickými inováciami dochádzalo k rozširovaniu uplatnenia vodných nádrží a nárokov čo do objemu nadržaného priestoru, výšky priehrad a účelu využitia. Postupným poznaním geotechnických, hydrogeologických, filtračných pomerov sa budovali rozsiahlejšie vodohospodárske diela, ktoré mali viacúčelové využitie.

V súčasnosti na území SR je gro vodohospodárskych diel (priehrady s vodnými nádržami) v správe Slovenského vodohospodárskeho podniku š. p., v celkovom počte 274, z toho 50 diel zaradených v svetovom registri veľkých priehrad ICOLD, vrátane šiestich historických priehrad (tajch), vďaka svojmu neobvyklému konštrukčnému riešeniu a originalite (Veľká Kolpašská, Dolnohodušská, Počúvadlo, Rozgrund, Veľká Richňavská a Veľká Vodárenská).

Na Slovensku z hľadiska členenia priehrad vodných nádrží môžeme vo všeobecnosti rozdeliť tieto vodné diela na nasledovné skupiny /1,2/.

- priehrady v registri ICOLD – 50 priehrad VN,
- **priehrady malých vodných nádrží – 224 priehrad MVN,**
- priehrady a nádrže historických vodných diel – 50 historických diel.

V Slovenských pomeroch je správa vodných nádrží rozdelená nasledovne /3/.

- Slovenský vodohospodársky podnik š.p., Banská Štiavnica – 274 vodných nádrží:
 - priehrady v registri ICOLD,
 - **priehrady malých vodných nádrží,**
 - historické priehrady vodných nádrží.
- Lesy Slovenskej republiky, š.p., Banská Bystrica:
 - nádrže na závlahu lesných škôlok v území lesa, prevažne obtokové,
 - nádrže na protipožiarne účely v území lesa, prevažne obtokové.
- Slovenský rybársky zväz, Rada Žilina:
 - rybníky s povahou malých vodných nádrží s účelom lovných resp. chovných plôch, prevažne obtokové.

- Iný:
 - právnické osoby s účelom chovu rýb a rekreácie,
 - poľnohospodárske družstvá,
 - priemyselné podniky.

Genéza správcovstva MVN v pôvodnej správe a delimitácia od SPF a Lesy SR š.p.

Slovenský vodohospodársky podnik š.p. so sídlom v Banskej Štiavnici (vznik 1.7.1997), ako právny nástupca štátnych podnikov Povodie Dunaja, Váhu, Hrona, Bodrogu a Hornádu sa organizačne delí na štyri Odštepne závody (Bratislava, Piešťany, Banská Bystrica, Košice) s príslušnými správami povodia /obr. 1/.

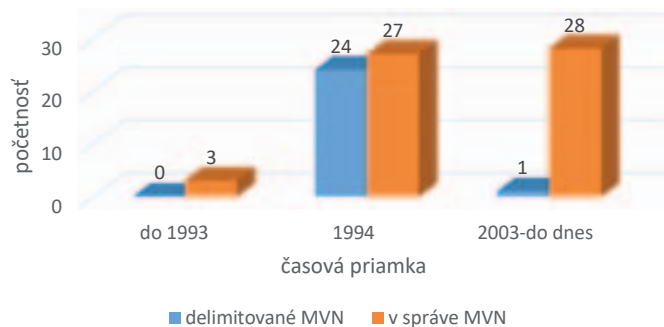
Jednou zo správ Odštepného závodu Piešťany je Správa povodia dolnej Nitry v Nitre. Do správcovského územia spadajú okresy Nitra, Zlaté Moravce, Nové Zámky a okrajovo Topoľčany, Hlohovec, Šaľa, Komárno, Levice a Žarnovica.

Do roku 1993 predchodca SVP š.p., Povodie Váhu Piešťany, závod Nitra spravoval vodohospodársky významné vodné toky s vodnými nádržami na významných tokoch. Závod Nitra spravoval tri MVN (MVN Veľké Zálužie, MVN Jarok na toku Dlhý kanál a MVN Rastislavie na toku Cabajský). Do uvedeného obdobia boli na drobných vodných tokoch MVN spravované Slovenským pozemkovým fondom (SPF), ako nástupnou organizáciou po Štátnej melioračnej správe (ŠMS) v roku 1991.

Ku dňu 1.1.1994 boli na základe rozhodnutia Ministerstva pôdohospodárstva SR delimitované základné prostriedky SPF (drobné vodné toky, melioračné kanále, závlahové systémy s ČS, ako aj **malé vodné nádrže**) do správy Povodia (neskôr SVP š.p.) v počte 24 MVN v území SPDN.

Vyhláškou Ministerstva Pôdohospodárstva SR č. 525/2002 o určení vodohospodársky významných vodných tokov na území SR bola v roku 2003 pramenná časť Hostianskeho potoka (Zlatníanka) v dĺžke 1,2km delimitovaná spoločne s MVN Hlboká Dolina od Lesov SR š.p. /graf.1/

Početnosť správy MVN, SVP š.p. OZ Piešťany, SPDN



Graf 1. Genéza početnosti MVN v správe

Kategorizácia MVN v správe a účel využitia

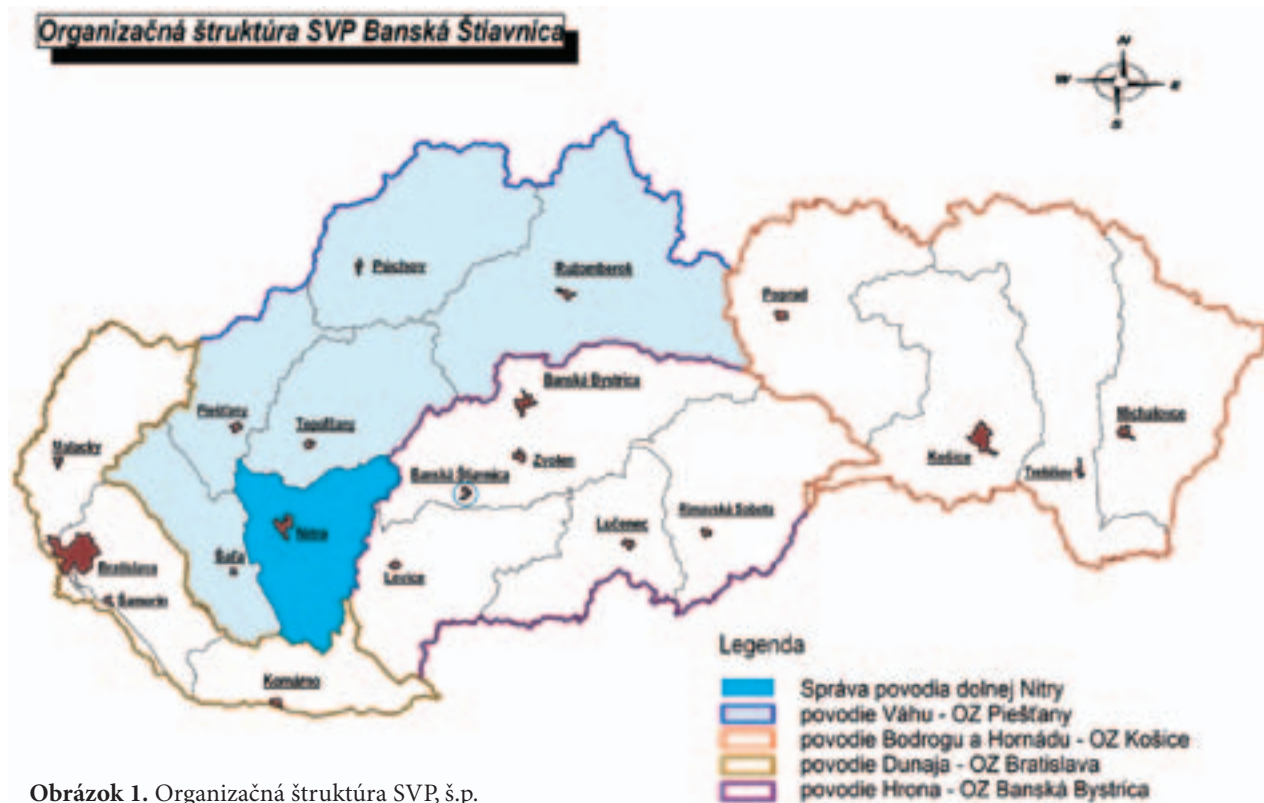
V súčasnosti v spravovanom území SPDN sú vybudované MVN v nasledovnom správcovstve /3/.

- 28 MVN v správe SVP š.p.,
- 8 MVN v správe Lesy SR š.p.,
- 14 MVN v správe iných subjektov (SRZ, PD, SPU, iné právnické subjekty – chov rýb).

Malé vodné nádrže v správe SVP š.p. SPDN vybudované v rokoch 1958–1989 delíme podľa nasledovných atribútov /tab 1/.

z hľadiska zdroja vody:

- prietochné 25 (vybudované prehradením údolia vodného toku),
- obtokové 3 (otvorené privádzače z hlavného recipientu).



Obrázok 1. Organizačná štruktúra SVP, š.p.

Tabuľka 1. Zoznam MVN v správe SPDN

MVN	kategória	recipient	okres	rkm	rok	V _{cel.}	S _{hmax}	Obvod	H hrádze	L hrádze	pôvod spr.
názov	TBD	-	-	-	UDP	mil. m ³	km ²	km	m	m	
Báb	3	Bábsky p.	NR	1,900	1964	0,765	0,264	2,2	6,0	93,4	SPF (ŠMS)
Jarok	3	Dlhý kanál	NR	38,150	1960	0,234	0,18	2,2	5,0	165	Povodie Váhu
Jelenec	3	Jelenecký p.	NR	6,400	1969	0,173	0,074	1,2	6,7	300	SPF (ŠMS)
Slepčany	3	Čerešňový	ZM	2,800	1985	1,399	0,459	2,7	8,6	412	SPF (ŠMS)
Trávnica II.	3	Liska	NZ	11,850	1965	0,448	0,233	2,5	4,3	132,5	SPF (ŠMS)
Velčice	3	Čerešňový	ZM	16,050	1966	0,086	0,04	0,9	6,6	150	SPF (ŠMS)
Veľké Zálužie	3	Dlhý kanál	NR	42,400	1964	0,293	0,132	1,4	6,1	218	Povodie Váhu
Veľké Vozokany	3	Širočina	ZM	14,100	1971	0,5775	0,276	1,6	6,7	312	SPF (ŠMS)
Vráble	3	Hostovský p.	NR	1,350	1967	0,884	0,48	3,9	5,5	253	SPF (ŠMS)
Branovo	4	Lovecký p.	NZ	0,900	1980	0,485	0,258	2,0	5,9	184,5	SPF (ŠMS)
Cabaj	4	Mlynský p.	NR	1,880	1962	0,087	0,059	0,9	4,6	179	SPF (ŠMS)
Čápor	4	Cabajský p.	NR	24,750	1962	0,128	0,089	1,0	4,0	133	SPF (ŠMS)
Čifáre	4	Telinský p.	NR	10,550	1964	0,270	0,17	1,0	4,0	130	SPF (ŠMS)
Golianovo	4	Kadaň	NR	5,100	1968	0,477	0,31	2,7	4,5	305	SPF (ŠMS)
Hlboká dolina	4	Hostiansky	ZC	24,400	1980	0,008	0,04	0,2	57,0	5,9	Lesy SR š.p.
Hruboňovo	4	Perkovský p.	NR	9,850	1958	0,147	0,123	1,6	4,0	174	SPF (ŠMS)
Jatov (obtoková)	4	Cabajský p.	NZ	2,350	1989	0,255	0,077	1,1	1,0	556	SPF (ŠMS)
Maňa	4	Dolinský	NZ	2,700	1966	0,217	0,094	1,8	6,1	177,5	SPF (ŠMS)
Mankovce (obtoková)	4	Stránka	ZM	8,300	1960	0,050	0,028	0,6	3,5	140	SPF (ŠMS)
Melek	4	Jelenecký p.	NR	3,800	1962	0,027	0,028	0,4	3,0	114	SPF (ŠMS)
Nemčiňany	4	Rohožnícky p.	ZM	5,100	1967	0,0705	0,032	0,7	5,8	163	SPF (ŠMS)
Nevidzany	4	Podegerský p.	ZM	1,450	1964	0,146	0,081	1,3	5,0	167	SPF (ŠMS)
Nová Ves/ Žitavou (obt.)	4	Privádzací kanál	NR	-	1985	0,122	0,01	1,2	2,5	550	SPF (ŠMS)
Rastislavice	4	Cabajský	NZ	9,048	1958	0,137	0,103	3,6	4,2	215	Povodie Váhu
Semerovo	4	Branovský	NZ	6,450	1962	0,120	0,102	1,0	4,5	93	SPF (ŠMS)
Svätoplukovo	4	Zvodnica "A"	NR	0,500	1962	0,052	0,046	0,5	4,3	152	SPF (ŠMS)
Tesáre/Žitavou	4	Majerský p.	ZM	1,800	1960	0,016	0,013	0,5	5,0	108	SPF (ŠMS)
Trávnica I.	4	Trávnický p.	NZ	6,350	1959	0,270	0	1,0	6,9	127	SPF (ŠMS)

Vysvetlivky: NR-Nitra-13x, ZM-Zlaté Moravce-7x, NZ-Nové Zámky-7x, ZC-Žarnovica-1x

z hľadiska kategorizácii vodnej stavby (v zmysle § 56 zákona č. 364/2004 Z.z. o vodách a vyhl. MŽP SR č. 119/2016 o ustanoveniach podrobností o výkone odborného technicko-bezpečnostného dohľadu nad vodnými stavbami):

- III. kategória 9 (výška hrádze 5,0–8,6m),
- IV. kategória 19 (výška hrádze 1,0–6,1m).

z hľadiska výkonu TBD:

- piezometrické sondy na telese priehrad – 4 MVN (Vráble, Báb, Vozokany, Slepčany),
- monitorovanie a meranie drenážneho systému – 10 MVN,
- meranie výškových posunov koruny hrádzí a funkčných objektov – priebežne,
- vizuálna kontrola stavu opevnenia svahov hrádzí, betónových častí funkčných objektov, technológie hradenia, priesakov telesom a podloží hrádzí atď.

z hľadiska stavebného materiálu priehrad:

- zemné sypané – heterogénne 2 (Báb, Hlboká Dolina), – homogénne 26.

z hľadiska objemu vody:

- MVN nad 1 milión m^3 – 1 (Slepčany),
- MVN do 1 milióna m^3 – 27 MVN.

z hľadiska cyklu regulácie

- všetky MVN s ročným resp. sezónnym cyklom regulovania odtoku.

z hľadiska účelu využitia vodného útvaru:

- odber pre závlahu – 14 MVN (v minulosti systém ČS Jarok, ČS Čápor splynul so ZČV Hájke – Močenok s odberom z VN Kráľová na Váhu),
- rybárske využitie – 25 MVN (11x lovný, 14x chovný),
- ochrana pred povodňami – 1 MVN Slepčany ($V_{ret}=245\,000m^3$), ostatné MVN lokálny retenčný objem,
- iné – 3 (MVN Velčice výskum planktónu VÚŽV Nitra, MVN Hlboká Dolina-požiarnie účely v lese Lesy SR š.p Topoľčianky, MVN Svätoplukovo – dočasne vypustená).

Spravované územie SVP š.p. SPDN má reliéf prevažne rovinatý až nížinný, prerušovaný pahorkatinami s lemovaním výbežkov pohoria Tribeč a Štiavnických vrchov s Pohronským Inovcom, s výskytom kvalitnej poľnohospodárskej pôdy. Tieto predpoklady viedli k rozsiahlemu budovaniu malých vodných nádrží v údoliach menších tokov.

V zmysle uvedeného sa prioritne jedná o priehrady malých vodných nádrží prehradzujúcich údolie (25 MVN) s výškou hrádze od 3,0m (Melek) do 8,6m (Slepčany) a bočných obtokových nádrží (3 MVN) s výškou hrádze 1m (Jatov) až 3,5m (Mankovce) s pomerne dlhými hrádzami v súbehu s recipientom (MVN Jatov 556 m v korune) /3/.

Priehrady MVN sú vybudované na vodných tokoch s pomerne malým povodím resp. nízkym dlhodobým prietokom, z čoho vyplýva iba sezónne regulovanie s nadržaným objemom vody v priestore nádrží. Retenčný objem je u všetkých nádržiach bez ovládania, pričom u priehrad MVN IV. kategórie sa jedná iba o nepatrný retenčný priestor. Najväčšia MVN Slepčany objemu $V=1,399\text{ mil }m^3$ vybudovaná v profile toku Čerešňový v rkm 2,878 (dĺžka toku 22,70km) s plochou povodia 56,74 km^2 má dlhodobý ročný pretok $Q_{dl.}=0,104\text{ m}^3/s$ a biologický prietok $Q_{355}=30\text{ l/s}$ s retenčným priestorom o objeme $V_{ret}=245\,000m^3$. U najmenších MVN sa retenčný objem v zmysle Manipulačného poriadku vodnej stavby pohybuje v rozkyve cca 0,3m (MVN Cabaj).

Na každej priehrade MVN sa nachádzajú funkčné objekty

zabezpečujúce bezpečné prevádzanie povodňových a biologických prietokov. Jedná sa buď o združené funkčné objekty, resp. so samostatným bočným bezpečnostným priepadom a hradením dnového výustu. Pre účely rekreačného využitia vodných plôch nie sú MVN určené aj z dôvodu absencie monitorovania kvality vôd a vybudovaných hygienických zariadení.

Postupným starnutím závlahových systémov sa hlavným účelom využitia nádrží stáva transformácia povodňovej vlny a chov a lov rýb so športovým rybolovom.

Zhodnotenie stavu a funkčnosti MVN s vykonanými opatreniami

V období delimitácií 24 MVN od SPF v roku 1994 boli zistené anomálie (resp. sa prejavili v následnej prevádzke) prioritne na hrádzových telesách v nasledovnom rozsahu:

- náletové dreviny rastúce na vzdušnom svahu hrádzí (piesakové línie),
- priesaky v päte vzdušného svahu hrádzí (absencia drénov, dreviny na hrádzi),
- dreviny v sklze od bezpečnostného priepadu s poškodeným opevnením odpadného koryta (znížená kapacita odpadu, porušená stabilita opevnenia),
- jemné hrablice na prelive bezpečnostného priepadu spôsobovali zachytávanie splavenín (slama, konáre...) v čase povodňových stavov (nebezpečenstvo preliatia hrádze),
- odcudzené suporty a ciekové tyče ovládania hradenia dnových výpustov, poškodené prístupové lávky k združenému objektu (problém včasného manipulovania s prietokom.)

Vykonávané opatrenia na nádržiach:

Snahou pri optimálnom prevádzkovaní MVN so zabezpečením všetkých funkcií bolo prioritne pri priehradách zamedzenie priesakov telesom a podloží hrádzového telesa s odstraňovaním drevín rastúcich na vzdušných svahoch, päte a v bezprostrednej blízkosti hrádzového telesa, s udržiavaním trávneho krytu svahu voči zvetrávaniu a erózii. Priebežne dochádzalo k odstráneniu jemných hrablic a lávky nad bezpečnostnými priepadmi (zábrana voči úniku rýb) a opravám na technológii hradenia dnových výpustov.

Pri prevádzkaní povodňových prietokov sa prejavili poškodenia opevnenia prelivov a sklzov od BP s potrebou následnej sanácie. Na priehradách MVN sa podľa potreby vykonáva sanácia opevnenia návodného svahu (betónová dlažba TBM 50x50cm) v čase vypustenia resp. nad prevádzkovou hladinou formou škárovania a stabilizovania tvárnic zosunutých rozkyvom resp. tlakom vody, náter kovových častí lávok, zábradlia, ovládacieho mechanizmu.

Za uplynulé prevádzkovanie MVN je evidentné zanášanie priestoru nádrže na všetkých MVN transportom splavenín z horného úseku toku, ale aj antropogénnym prejavom splachovornej pôdy vplyvom vodnej a veternej erózie priľahlých poľnohospodársky užívaných plôch so striedaním riedkosiťatých plodín (kukurica, slnečnica), čoho následkom je nielen znižovanie pôvodného nádržného priestoru a súvisiaceho objemu vody, ale aj posunutia zátopovej čiary a zmenšenia vodnej plochy vplyvom eutrofizácie (prisun hnojív dusík, kyslík) a bohatej vodomilnej stromovej a rastlinnej vegetácie na konci vzdutia vodných plôch v oblastiach neresiska. Zmenšenie objemu vody negatívne vplyva na zabezpečenie požadovaných funkcií MVN a súčasne s bežne deficitným letným obdobím na zrážky je obtiažne zabezpečiť požadovanú prevádzkovú hladinu s dostatkom kyslíka pre život rýb a zároveň prepúšťanie biologického prietoku, nakoľko v letnom období je prítok do nádrže nižší ako sanitárny odtok,



Obrázok 2. Pohľad na hrádzu MVN Hruboňovo



Obrázok 3. Degradovaný mních (FO)



Obrázok 4. Zosuv dlažby návodného svahu

a v kombinácii priesakov a výparu po predchádzajúcom vypustení nádrže (lovné) býva stanovený hladinový režim ohrozený. V území správy došlo k odstraňovaniu sedimentov z priestoru nádrže na 8-mich MVN (Branovo, Semerovo, Maňa, Trávnica I., Svätoplukovo, Hruboňovo, Mankovce, Nevidzany). Proces odstraňovania je časovo náročný z dôvodu potreby vypustenia nádrže a preschnutia jemnozrnného sedimentu. Odstraňovanie sedimentov sa vykonávalo hlavne v priestore bočných bezpečnostných priepadov, združených funkčných objektov a pôvodného koryta pre dnovým výpustom pre zabezpečenie manipulácie s hladinou a prevedenia povodňových prietokov.

Opis prác na sanácii MVN Hruboňovo (r. 1958)

Nádrž na Perkovskom potoku v rkm 9,850 /obr. 2/ vytvorená zemnou homogénnou hrádzou s výškou $h=4,3$ m a dĺžkou $L=174$ m v korune hrádze. Opevnenie návodného svahu v sklone 1:3 pozostáva z betónovej dlažby TBM 50 x 50, vzdušný svah je zavegetovaný. Funkcia vodnej stavby je zabezpečovaná bočným bezpečnostným priepadom v pravostrannom zaviazaní s odpadným korytom (sklzom) dĺžky 180 m a betónovým stupňom. Prepúšťanie bežných prietokov, ako aj možnosť vypustenia sa deje dnovým výpustom v osi koryta toku DN 800 a betónovým mníchom 1,2 x 1,2 m. V betónovom mníchu je dvojité fošňové hradenie, prístup k objektu je ocelovou lávkou z koruny hrádze. MVN je využívaná ako lovný rybník v prenájme SRZ MO Malé Zálužie so sezónnou reguláciou prietoku a povodňovou ochranou územia /4,5/

<i>Parametre MVN:</i>	celkový objem:	147 000 m ³
	retenčný objem:	35 000 m ³
	úroveň koruny hrádze:	164,00 m n.m.
	úroveň bezpečnostného priepadu	163,00 m n.m.
	úroveň základovej škáry v údolí	159,70 m n.m.
	kóta zásobného (úžitkového) priestoru	162,50 m n.m.
	Q_{100} v profile prehradenia	3,6 m ³ /s
	maximálna zatopená plocha	12,3 ha

Zaujímavosťou Perkovského potoka s celkovou dĺžkou 21,2 km prameniaceho v okrese Topoľčany sú vybudované celkovo až štyri MVN vrátane MVN Hruboňovo (rkm 14,10 MVN Horné Obdokovce, rkm 16,780 MVN Bodok a rkm 17,860 MVN Horné Štitáre), z čoho je zjavné problematické napustenie MVN Hruboňovo po vypustení v čase výlovu, ako poslednej nádrže na toku.

Vykazujúce anomálie a poruchy na vodnej stavbe:

- priesaky v päte vzdušného svahu od pravostranného zaviazania po čelo dnovej výpuste,
- stromová vegetácia v päte svahu,
- degradácia betónových častí mnícha s dvojitém fošňovým hradením /obr. 3/,
- zosuv opevnenia návodného svahu (dlažba TBM) vplyvom porušenej betónovej pätky /obr. 4/,

- nadmerné sedimenty v priestore dnového výpustu a mnícha, bezpečnostného priepadu, koryta pred čelom výpustu v nádrži, v sklze od BP a v koryte pod VN /obr. 5/.

Návrh riešenia a vykonané opatrenia:

1. Z priestoru päty vzdušného svahu, pravostranného zaviazania a v šírke cca 6m od hrádze sa odstránil stromový porast s koreňovým systémom s následným prísypom vzniknutých kavern jemnozrnným ílovitým materiálom.
2. Zriadenie pätného drénu od pravostranného zaviazania po čelo dnového výpustu v dĺžke 83m. Pätný drén spočíval vo vyhlbení ryhy hĺbky 1m s umiestnením geotextílie po stranách ryhy voči kolmatácii drénu. Následne sa realizoval podsyp štrkopieskom pre umiestnenie drenážnej perforovanej trubky PVC DN 100 s vyvedením do priestoru loviska pod hrádzou MVN. Vykonan sa dosyp na výšku 0,6m štrkopieskom fr. 0–63 s prekrytím geotextíliou. Následne sa ryha dosypala ílovitým materiálom zbaveným organických častí s úpravou priestoru pod hrádzou.
3. Betónové časti mnícha prioritne v priestore pod úžitkovou hladinou boli značne degradované, čo sa dalo dostatočne verifikovať až po vypustení nádržného priestoru. Preukázali sa priesaky betónovými časťami. Sanácia spočívala v obnažení mnícha až po potrubie dnového výpustu. Obvod mnícha sa sanoval vodostavebným betónom vystuženým kari sieťou o mocnosti 20 cm na zosilnenú päť v založení v úrovni potrubia dnového výpustu /obr. 6/.
4. Po vypustení nádrže sa preukázalo zosunutie opevnenia návodného svahu v mieste porušenia betónovej pätky, ktorá bola degradovaná a podložie podmyté. Narušené miesto sa v celej dĺžke cca 170 m stabilizovalo základovou pätkou z lomového kameňa s vyklinovaním /obr. 7/.

5. Pri vypustení nádrže a prácach vykonávaných na sanácii degradovaného betónu mnícha, a stabilizácii opevnenia svahu sa previedlo odstránenie sedimentov v priestore celej zátopy s premiestnením po obvodě zátopovej čiary. Zároveň sa prečistil sklz od bezpečnostného priepadu a koryto Perkovského potoka pod MVN v dĺžke 330 m.

Vplyv MVN na odtokové pomery a zámer zriadenia nových vodohospodárskych stavieb

Správcovské územie SPDN činí 2121,2km². Vybudovanými 28 MVN došlo k zátopy 3,8 km² (380 ha), čo je 0,15% z celkovej plochy spravovaného povodia. Napriek absencii vrcholových vodných nádrží predmetné MVN naplňajú svoj význam prioritne v sezónnom prerozdeľovaní prietokov v povodí toku, ako i krátkodobé sploštenie povodňovej vlny, čo zvyčajne pri krátkodobom trvaní povodne a rýchlej kulminácii na tokoch s malým povodím má neodmysliteľný význam pri ochrane zástavby a územia pod priehradami. Retenčný objem spravovaných nádrží činí 1,814 mil. m³, čo je 23 % z celkového objemu nadržaného priestoru. Retenčný priestor je v zimnom období ešte väčší, nakoľko v zmysle platných Manipulačných poriadkov vodných stavieb na základe stanovenia termínu zimnej prevádzky dispečingom SVP š.p., OZ Piešťany sa hladina v nádrži znižuje do zásobného priestoru na tzv. zimnú hladinu z dôvodu očakávaných zrážkových činností v podobe snehu a dažďa, a vytvorenia dostatočného priestoru na sploštenie povodňovej vlny.



Obrázok 5. Nános v nádrži s drenážnymi perami



Obrázok 6. Sanácia mnícha (FO)



Obrázok 7. Stabilizácia päty dlažby záhozom

Z vybudovaných 28 MVN boli zriadené závlahové ČS na 14 MVN. Z priestoru 14 MVN je využívaný zdroj vody pre závlahový systém na ploche 3190 ha v správcovstve Hydromeli-orácií š.p. Bratislava /6/.

Neodmysliteľnou súčasťou vodných plôch je rybárstvo a športový rybolov na stojatých vodách. U spravovaných MVN je takmer na 100% využitie rybárstva prioritne Slovenským rybárskym zväzom (SRZ) vo forme lovných a chovných vodných plôch, ako aj napredujúci rekreačný a športový rybolov.

Vodné nádrže zároveň zvelaďujú krajinu, podnecujú turizmus, možnosti podnikania, a sú nesporne aj blahodarnými a čarovnými krajinotvornými prvkami. V súčasnosti je trend budovania cyklotrás, a práve vodné nádrže sú cieľom ich trasovania s informatívnymi tabuľami o vodnej stavbe.

Prínosy MVN:

- vyrovňovanie odtokových pomerov so zabezpečením sanitárneho prietoku,
- zachytenie povodňových prietokov a transformácia povodňovej vlny,
- zdroj vody pre závlahu s využitím prírodného bohatstva krajiny na území štátu,
- chov a lov rýb,
- rekreácia, šport, turizmus,
- krajinotvorný prvok.

V súčasnosti je budovanie MVN všeobecne stagnujúce. Po povodniach z minulosti sa javí potreba budovania vodných stavieb s prioritným určením na transformáciu povodňových prietokov, čím sú tzv. suché poldre. Dobudovaním suchých poldrov v podhorských oblastiach a v svahovitom území pahorkatín v kombinácii s prevádzkovaním jestvujúcich priehrad MVN a ich funkcií, dokážeme uplatniť chýbajúcu funkciu vrchových nádrží, čím je priblíženie sa k maximálnej povodňovej ochrane územia a odlahčenie dolných častí povodí.

Vplyv krajiny na MVN a vízia ďalšej prevádzky

Negatívne činnosti v krajine môžeme pozorovať aj v priestoroch MVN. Ako už bolo uvedené, jedná sa prioritne o transport splavenín do nádržného priestoru nielen vodným tokom, na ktorom je vybudovaná prietokná nádrž, ale hlavne splachom ornej pôdy z prilahlých svahov poľnohospodársky obhospodarovaneho územia. Čiastočnému odnosu pôdnej hmoty do nádrže sa nedá zabrániť (vodnej a veternej erózie). Cieľom do budúcnosti je minimalizovanie nesprávneho obhospodarovania pôdy nevhodným agrotechnickým a osevným postupom, budovaním stálozeleňých zón s porastami na erozívnych pozemkoch.

V zákone č. 364/2004 Z. z. o vodách sú v prílohe č. 5 stanovené základné požiadavky na vypracovanie kódexu správnej poľnohospodárskej praxe a programu poľnohospodárskych činností, ktoré sa zameriavajú na aplikáciu hnojív na pozemkoch s veľkým sklonom územia, riešenia striedania plodín s pomerom plôch pozemkov vyhradených na trvalé plodiny k jednoročným plodinám.

Aplikáciou kódexu do praxe môžeme cielene doceliť zlepšenie kvalitatívnych ukazovateľov povrchových vôd a spomalenie sedimentovania priestoru malých vodných nádrží.

Antropogénne vplyvy na MVN:

- zanášanie priestoru nádrží (poľnohospodárska činnosť),
- znižovanie kvalitatívnych ukazovateľov povrchových vôd,
 - prísun hnojív (dusík, fosfor) eróznou činnosťou pôdy,
 - nepovolené vyústenia bez čistenia,
 - kvalitatívne nedostatočné ako i servisované technológie čistenia odpadných a priemyselných vôd.
- poškodenie telesa hrádze a údolia pod hrádzou,
 - obrábaním pôdy až po päť vzdušného svahu (poškodenie drénu),
 - neoprávnené jazdenie po korune hrádze (deformácie koruny).

Vízia ďalšej prevádzky:

Od vybudovania prvých MVN (r.1958 Hruboňovo, Rastislavice) uplynulo viac ako 60 rokov. Starnutie priehrad MVN je prirodzeným vývojom fyzikálno-mechanických vlastností. Pod starnutím priehrad nemyslíme iba mechanické opotrebovanie vodnej stavby, ale aj projekčné a hydrologické, ktoré vyplývajú z poznania, technologického pokroku a inovatívneho postupu.

U sypaných priehrad spočíva starostlivosť v dobrom stave povrchov svahov, udržiavaní koruny z hľadiska nerovností a správneho odvodnenia, údržbe drenážnych a tesniacich prvkov a prioritne betónových funkčných objektov priehrad s technologickým vybavením.

Z nových hydrologických údajov vychádzajúcich z dlhších radov pozorovaní sa núka potreba prehodnotenia bezpečnosti vodných stavieb na aktuálne pomery s prihliadnutím na potrebu väčšej bezpečnosti, navyše pri stále častejšie diskutovaných problémoch s globálnym otepľovaním (pri prognózach hydroológov a klimatológov o extrémoch počasia) sa úloha umelých vodných nádrží ešte zvýrazní. V budúcnosti nie je vylúčená zmena v účele využívania nádrží reagujúca na potreby spoločnosti.

Do budúcnosti bude cieľom prevádzkovania MVN naďalej zabezpečovať všetky funkcie vodných stavieb a potreby spoločnosti s odbúraním negatívnych antropogénnych vplyvov na vodné nádrže.

Literatura

- [1] ABAFFY, LUKÁČ: Priehrady a nádrže na Slovensku – Dams and
- [2] Vodohospodárska výstavba š.p. Bratislava
- [3] SVP š.p. OZ Piešťany, databáza vodných stavieb v správcovstve
- [4] SVP š.p. OZ Piešťany, SPDN: Manipulačný poriadok MVN Hruboňovo, r. 2011
- [5] SVP š.p. OZ Piešťany, SPDN: PD-Hruboňovo VN-oprava návodného svahu VN
- [6] Hydromeli-orácie š.p., Bratislava

VLIV HYDRAULIKY VODY NAD SEDIMENTEM NA TRANSPORT LÁTEK PŘES ROZHRANÍ SEDIMENT-VODA

Jakub Borovec^{1,2}, Felipe Bretón^{1,2}, Jiří Jan¹

¹ Biologické centrum AVČR, v.v.i., Výzkumná Infrastruktura SoWa, Na sádkách 7, 370 05 České Budějovice

² Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, přírodovědecká fakulta, Branišovská 31 7, 370 05 České Budějovice

Abstrakt

V příspěvku jsou shrnuty poznatky z laboratorních i terénních experimentů zaměřených na zjištění závislosti mezi prouděním vody a rychlostmi přestupu látek na rozhraní sediment-voda. Jsou ukázány dvě skupiny možných přístupů a výpočtu a je diskutováno jejich použití.

Klíčová slova: rychlost proudění; přítoková zóna nádrží; mělká jezera.

Abstract

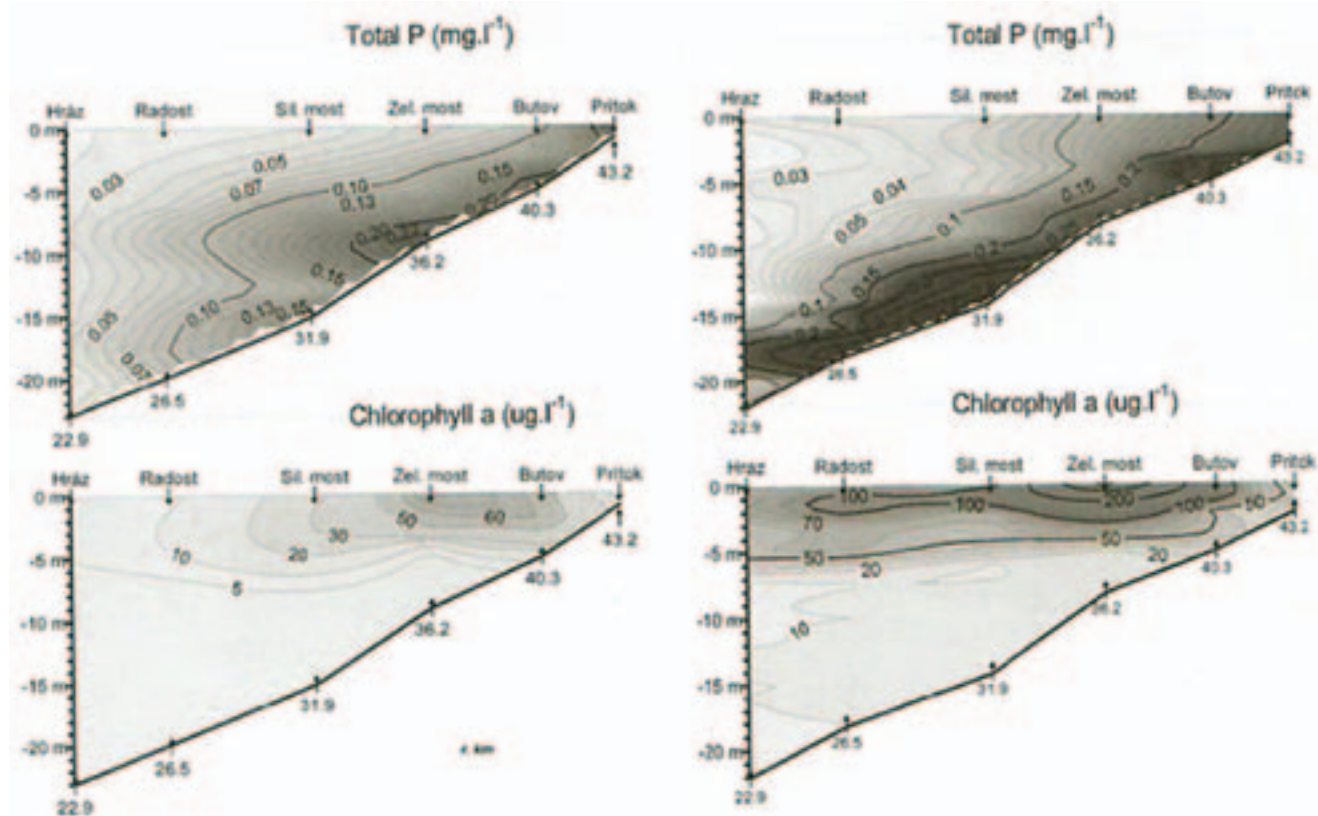
The paper summarizes the findings from laboratory and field experiments aimed at determining the dependence between water flow and the exchange rates of substances at the sediment-water interface. Two groups of possible approaches and calculations are shown and their use is discussed.

Keywords: flow velocities; inflow part of the reservoir; shallow lakes.

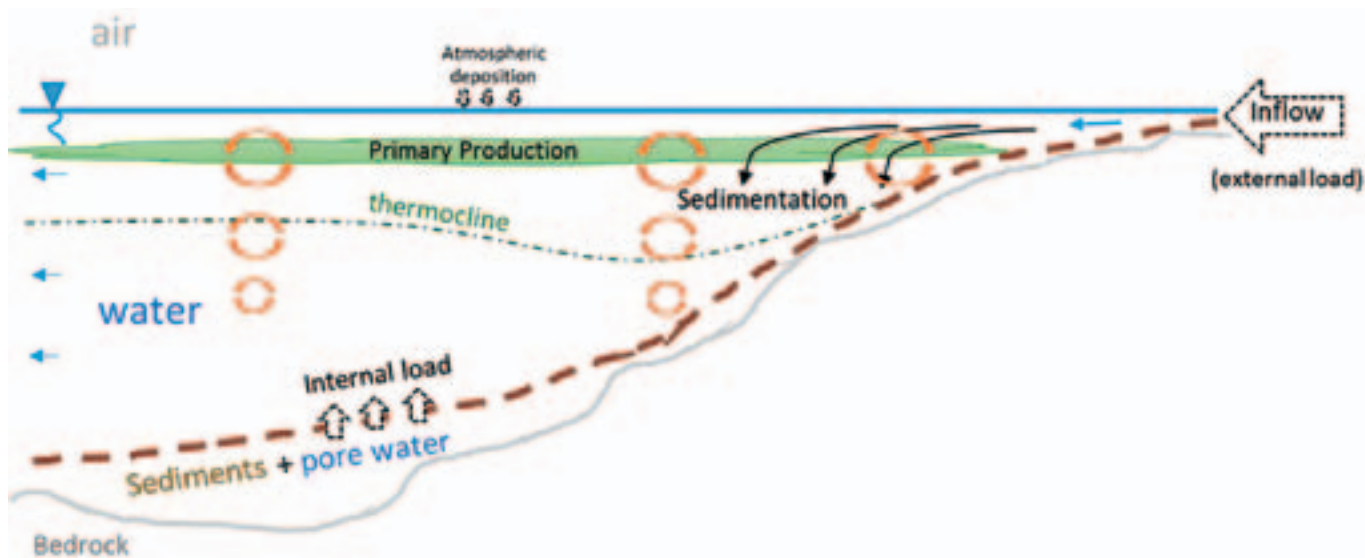
Ve vodních ekosystémech fungují sedimenty obecně jako úložiště látek/materiálů (kdyby tomu bylo opačně, sedimenty by neexistovaly), ale při bližším pohledu na jejich úlohu v toku látek je nutné zohlednit minimálně časová a prostorová měřítka, tj. kdy a kde. Je známo, že zdaleka ne veškerý materiál, který se „stane sedimentem“ v sedimentu zůstává a podíl látek uvolněných zpět do vodního sloupce závisí na vzájemně provázaných fyzikálně-chemických a biologických procesech, které lze od sebe oddělit jen obtížně, resp. výčtem v učebnici je to snadné, reálně víceméně nemožné. V přírodě není nic neměnné, a tak i poměr (rovnováha) mezi zadrženým a uvolněným podílem látek se neustále proměňuje opět v závislosti na časových a prostorových měřítkách. Mluvíme o dynamické rovnováze.

Umíme však tyto skutečnosti a znalosti zohlednit i při průzkumu sedimentů? Při laboratorních experimentech popisujících chování sedimentů? Při zpracování bilančních studií, studií popisujících změny v jakosti vody v nádržích. Při plánování cílených monitoringu?

Častým výsledkem, znázorňujícím změny ve vývoji jakosti vody v přítokové části nádrže může být příklad uvedený v Obr. 1. Ze situace v nádrži na Obr. 1. jasně vyplývá, že se v dané lokalitě byly zjištěny vysoké koncentrace fosforu nade dnem, že v epilimniu



Obrázek 1. Příklad vývoje změn jakosti vody v nádrži. Ukázka ze dvou let, přibližně stejné období (autor: J. Duras)



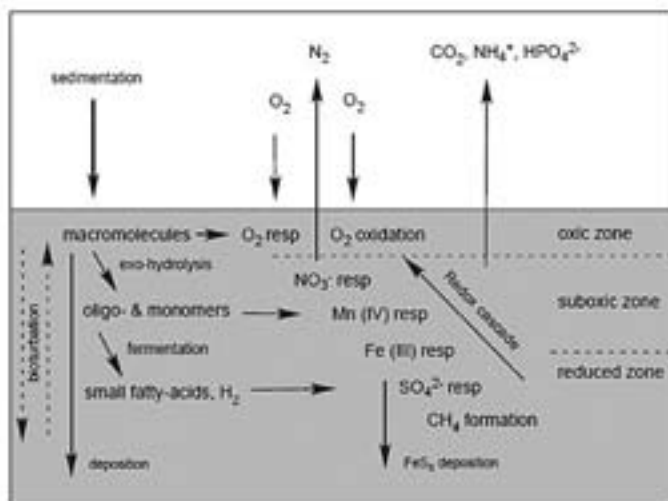
Obrázek 2. Schematické znázornění situace v podélném profilu nádrže. Oranžové šipky symbolizují pomalé míchání

docházelo k masivnímu rozvoji fytoplanktonu a pravděpodobně docházelo i vyčerpání kyslíku nad sedimentem. Závěry mohou být rozličné, např. P pochází ze sedimentovaného fytoplanktonu, nebo P se uvolnil ze sedimentů díky nedostatku kyslíku (a pravděpodobně i dusičnanů). Oboje může a nemusí být pravda a jistě existuje i jiné vysvětlení a nejlépe kombinace všech možností.

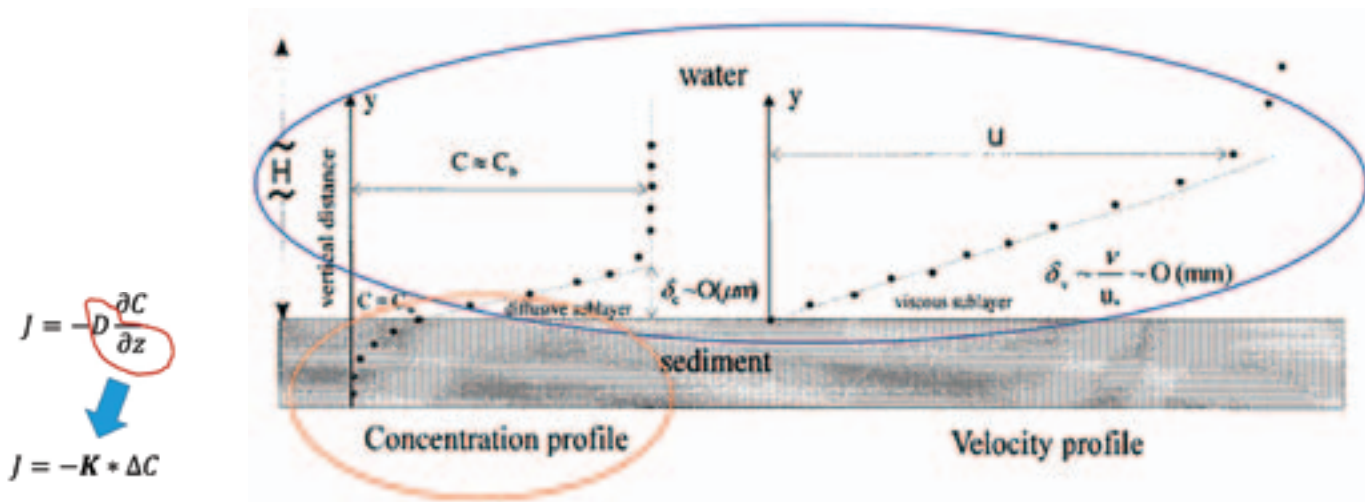
Jedním z důvodů našich nejistot je skutečnost, že se pohybujeme ve velmi hydrodynamicky složitém systému, ve kterém se kromě sedimentace a difúze uplatňují i pohyby vody, které ovšem neumíme v interpretaci zohlednit, protože je většinou nemáme změřeny.

Zjednodušeně lze situaci v nádrži z Obr. 1. vyjádřit například Obr. 2, ve kterém oranžové šipky symbolizují „pomalé míchání vody“, tj. takové, při kterém nedochází k resuspenzi dna, ale které umožňuje transport rozpuštěných látek. V závislosti na složení sedimentu lze definovat rozmezí rychlostí 0-5 cm s⁻¹ ve vzdálenosti 2-3 cm nade dnem. V epilimniu mohou být rychlosti vyšší.

O úloze sedimentů v přítokové zóně nádrží (nebo v mělkých systémech obecně) o tom, zda jsou schopny látky zadržovat nebo uvolňovat, rozhoduje množství biogeochemických



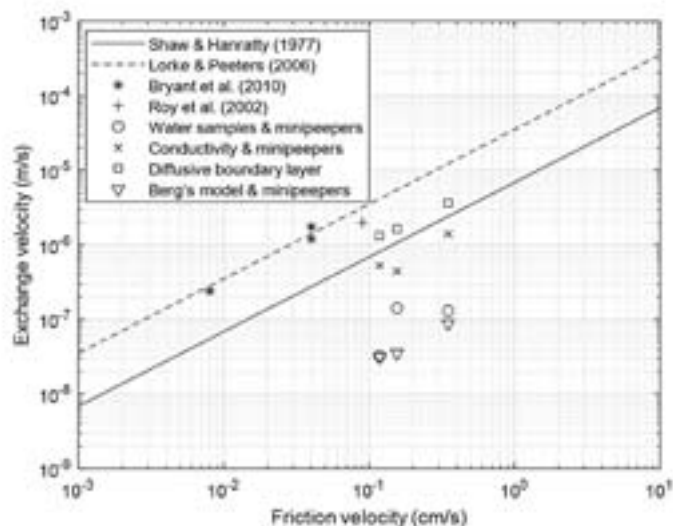
Obrázek 3. Jedno z možných schémat uspořádání diagenetických procesů v sedimentech [1]



Obrázek 4. Schéma znázorňující dva přístupy k výpočtu látkových toků na rozhraní sediment-voda. Přístup „ze sedimentu“ používá informaci o koncentracích v pórové vodě ve vertikálním profilu (hnědá elipsa a 1. Fickův zákon vlevo dole), zatímco pro přístup „z vody“ je možné použití informací o difúzní vrstvě nad sedimentem (diffusive boundary layer, DBL, lineární část gradientu ve vodě), a rychlostí proudění nad sedimentem. Tyto jsou shrnuty do tzv. výměnné rychlosti (K, exchange velocity).

procesů a vlastností sedimentů, na straně jedné, a okolní podmínky, ve kterých se sedimenty nacházejí, na straně druhé. Na Obr. 3 je znázorněno jedno z možných schémat diagenetických procesů. Jejich rychlosti jsou do značné míry závislé na transportu látek (zejména akceptorů elektronů nutných pro běh oxidačně-redukčních procesů) přes rozhraní sediment-voda a tyto jsou zásadním způsobem ovlivněny výměnou vody nad sedimentem. A právě přístupy umožňující správnou kvantifikaci dějů v *in-situ* podmínkách se ukazují jako klíčové pro další uvažování. Bližší informace k tomu téma naleznete v příspěvku Bretón a kol. 2019 (tento sborník).

Pro stanovení přestupu látek na rozhraní sediment voda je možné použít více způsobů, které lze rozlišit na dvě skupiny: „z vody“ a „ze sedimentu“. Jedním z nejrozšířenějších postupů pro skupinu „z vody“ je odhad chování sedimentů ze znalosti koncentrací látek ve vertikálním profilu sedimentu, tzv. výpočet difúzních toků pomocí 1. Fickova zákona. Tento způsob výpočtu je ale vhodné použít pouze pro prostředí s minimálními pohyby vody nad sedimentem (hluboká jezera, moře), ve kterých je pohyb látek způsobený pouze difúzí, nikoli však v mělkých nebo míchaných systémech s intenzivnější výměnou vody nad sedimentem. Složitějším, ale více robustním způsobem výpočtu transportu látek je Bergův model [2]), který vypočítává tok nikoli na základě lineárního gradientu, ale proložením koncentračního profilu v pórové vodě funkcí.



Obrázek 5. Ukázka závislosti rychlosti výměny (exchange velocity) na rychlosti proudění vody nad sedimentem (friction velocity) zjištěné při laboratorním experimentu s definovanými a kontrolovanými podmínkami, a jejich srovnání s publikovanými daty

Skupina postupů „z vody“ kombinuje koncentrační gradient ve vodě nad sedimentem a měřené rychlosti proudění, které, společně s drsností povrchu, gradient ovlivňují (Obr. 4.)

Ze srovnání různých způsobů výpočtu výměnné rychlosti (Obr. 5.) vidíme její závislost na rychlosti proudění vody nad sedimentem, ale také značné rozdíly mezi jednotlivými způsoby výpočtu, resp. mezi použitými vstupními daty. Nejlepších výsledků bylo dosaženo při použití odhadu DBL (viz. popis k Obr. 4.) nebo kombinovaného přístupu kontinuálního monitoringu změn vodivosti v pórové vodě a koncentrací látky v pórové vodě sedimentu. Oba přístupy jsou v použitelné pouze v laboratorních podmínkách a bohužel obtížně přenositelné do reálných podmínek v nádrži.

Závěr

Pomalé pohyby vody nad sedimentem v přítokových částech nádrží a v mělkých jezerech ovlivňují transport látek na rozhraní sediment-voda. Data pro správný výpočet látkových toků lze zatím pořádit pouze detailní analýzou složení vody ve vertikálním profilu na rozhraní sediment-voda v *in-situ* podmínkách nebo, při znalosti rychlosti proudění 1–2 cm nad sedimentem, meso-kosmickým laboratorním experimentem s řízeným prouděním vody nad sedimentem a definicí DBL.

Obrázek 5. Ukázka závislosti rychlosti výměny (exchange velocity) na rychlosti proudění vody nad sedimentem (friction velocity) zjištěné při laboratorním experimentu s definovanými a kontrolovanými podmínkami, a jejich srovnání s publikovanými daty.

Poděkování

Práce byla podpořena z následujících výzkumných projektů: MŠMT LM2015075, CZ.02.1.01 /0.0/0.0/16_013/0001782, TAČR TH04030289, a NAZV QK1810161.

References

- [1] Glud, RN (2008) Oxygen dynamics of marine sediments. *Marine Biology Research* 4:243-289.
- [2] Berg, P, N. Risgaard-Petersen, and S. Risgaard. 1998. Interpretation of measured concentration profiles in sediment pore water. *Limnol. Oceanogr.* 43:1500-1510.

KVALITA SEDIMENTOV VYBRANÝCH VODNÝCH NÁDRŽÍ NA SLOVENSKU

Pavel Hucko, Vladimír Roško, Ladislav Babej

*Výskumný ústav vodného hospodárstva, Nábr. arm. gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava,
tel.: +421 259 343 424, hucko@vuvh.sk*

Abstrakt

V príspevku sú prezentované výsledky trojročného monitoringu stopových prvkov a vybraných organických látok v sedimentoch vybraných vodných nádrží (23 nádrží) zahrnutých v „Rámcovom programe monitorovania vôd Slovenska na roky 2016–2021“.

Pre hodnotenie kvality sedimentov bola z každej nádrže odobratá jedna zmiešaná vzorka z miesta v blízkosti priehradného múru (horných 10 cm sedimentu). Hodnotenie získaných výsledkov bolo vykonané na základe vzájomného porovnania absolútnych hodnôt.

Kľúčové slova: vodné nádrže; kvalita dnových sedimentov.

Abstract

In the present paper, results from three years the monitoring of trace elements and selected organic pollutants in sediment accumulated in selected water reservoirs (23 reservoirs), included in the “Water Framework Monitoring Program of Slovakia for the period from 2016 to 2021”, are evaluated.

For the sediment quality evaluation 1 mixed sample was collected from each reservoir at a sampling point usually close to dam wall (the upper 10 cm layer of sediment). The results are assessed in relation to the absolute content of a trace element and organic pollutants in the sediment and are compared with each other.

Keywords: water reservoirs; bottom sediments quality.

Úvod

Cieľom systematického sledovania kvality sedimentov má byť identifikácia časových zmien prítomných látok v sedimentoch a zhodnotenie potenciálneho rizika ohrozenia prirodzenej rovnováhy vo vodnom ekosystéme. Zmena environmentálnych podmienok, či už prírodných alebo antropogénnych, môže silne ovplyvniť správanie sa 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 tých prioritných látok, ktoré majú tendenciu akumulovať sa v sedimente a/alebo v biote.

Pre obdobie rokov 2016–2021 bol vypracovaný „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 pre splnenie požiadaviek uvedenej legislatívy. V roku 2016 sa do „Programu“ monitoringu zaradilo sledovanie sedimentov z 23 vodných nádrží [3]. Tým sa „Program“ dopĺňa o každoročné sledovanie trendov v sedimentoch vodných nádrží. Pre sledovanie sa odoberala 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 v 23 vodných nádržiach na Slovensku. Hodnotenie je vykonané 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 vyhláškou Ministerstva pôdohospodárstva, životného prostredia a regionálneho rozvoja Slovenskej republiky č. 418/2010 Z. z., § 4, ods. 5, bod f [6].

Pre účely monitoringu kvality sedimentov vo VN sa odoberala jedna zmiešaná vzorka z miesta lokalizovaného **čo najbližšie k priehradnému múru** (obvykle na úrovni jeho stredu). Zmiešaná vzorka sa vytvorila zo **štyroch** jednoduchých vzoriek z vrchných 10 cm vrstvy sedimentu. Pre odber vzoriek sedimentov sme použili odberové zariadenie CORER 90 od firmy UWITEC v **súlade** s STN EN 5667-12: 2001 Kvalita vody. Odber vzoriek. Časť 12: Pokyny na odber dnových sedimentov [7]. Zoznam sledovaných vodných nádrží (VN) je zrejmy z tabuliek 1–3. V tabuľkách je zaradená aj VN Kunov, ktorá bola v rokoch 2016 a 2017 vypustená a **monitorovaná začala byť až v roku 2018**.

Spracovanie vzoriek a sledované ukazovatele

Vzorky sedimentov sa odoberali do dvoch druhov vzorkovníc, do vzorkovnice zo skla pre stanovenie organických látok a do vzorkovnice z plastu pre stanovenie stopových anorganických prvkov.

Po dobu transportu boli vzorky uchovávané v **autochladničke**, resp. v izotermnom boxe.

Vzhľadom k tomu, že na analýzu sedimentu sa použila iba frakcia $\leq 63 \mu\text{m}$, boli dovezené vzorky sitované zamokra na site o veľkosti $63 \mu\text{m}$. Získaná frakcia sedimentu bola vysušená pri laboratórnej teplote a **podrvená v trecej miske na veľmi jemný prášok**. Takto pripravená vzorka bola odovzdaná do analytického laboratória na ďalšie spracovanie.

Vo vzorkách sedimentov odobratých zo sledovaných VN sa stanovili stopové prvky: arzén (As), kadmium (Cd), celkový chróm (Cr_{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, hexabromcyklohexán (HBCDD), hexachlórbenzén (HCB), heptachlór, heptachlór epoxid, lindan, hexachlórbutadién, polychlórované bifenyle (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), tributylcínitý kation (TBT)).

Výsledky a diskusia

Stopové prvky

Výsledky stanovenia vybraných stopových prvkov v sedimentoch sledovaných VN vo frakcii $\leq 63 \mu\text{m}$ **sú uvedené v tabuľke 1**. Pre účely výpočtov priemernej hodnoty v prípade hodnôt menej ako limit kvantifikácie 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 skutočnosť, že na Slovensku nie sú pre uvedené prvky v sedimentoch stanovené environmentálne normy kvality (ENK). Žiaľ tiež nie je možné získané výsledky porovnať so staršími údajmi, kde sa analyzovali celkové vzorky sedimentov (nielen vrchných 10 cm).

Arzén sa vo vzorkách sedimentov v sledovaných VN vyskytoval **v rozsahu od 2,96 mg/kg do 409,0 mg/kg** s priemernou hodnotou 20,98 mg/kg. Najvyššia hodnota arzénu 409,0 mg/kg bola zistená v sedimente z vodnej nádrže (VN) Bukovec **v roku 2018**. Priemernú hodnotu As prekročil ešte v sedimente z VN Ružín **v rokoch 2016–2018** a z VN Palcmanská Maša v rokoch 2017 a 2018.

Kadmium sa vo vzorkách sedimentov sledovaných VN vyskytovalo v rozsahu od 0,205 mg/kg (v rokoch 2016 a 2017 boli limity kvantifikácie použité analytickej metódy vyššie). Najvyššia hodnota 2,87 mg/kg bola zistená v sedimente z VN Bukovec. Priemernú hodnotu bez zohľadnenia detekčných limitov ešte prekročil sediment z VN Ružín, Palcmanská Maša, Liptovská Mara, Turček, Môťová, Málinec a Nitrianske Rudno.

Celkový chróm sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytoval **v rozsahu od 23,0 mg/kg do 187,0 mg/kg s priemernou hodnotou 45,27 mg/kg**. Maximálna hodnota 187,0 mg/kg bola zistená v sedimente z VN Liptovská Mara. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili ešte sedimenty z VN Zemplínska šírava, Starina, Veľká Domaša, Ružín, Nová Bystrica, Orava, Liptovská Mara, Môťová a Kráľová.

Meď sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytovala **v rozsahu od 7,78 mg/kg do 496,0 mg/kg** s priemernou hodnotou 91,55 mg/kg. Najvyššia hodnota 496,0 mg/kg bola zistená v sedimente z VN Starina. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili ešte sedimenty z VN Zemplínska šírava, Palcmanská Maša, Liptovská Mara, Turček, Klenovec, Môťová, Málinec, Ružín, Petrovce, Luboreč, Nitrianske Rudno a Budmerice.

Ortuť sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytovala v rozsahu od 0,047 mg/kg do 4,11 mg/kg s priemernou hodnotou 0,32 mg/kg. Najvyššia hodnota 4,11 mg/kg bola zistená v sedimente z VN Ružín. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili ešte sedimenty z VN Bukovec, **Palcmanská Maša** a Liptovská Mara.

Nikel sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytoval v rozsahu od 15,4 mg/kg do 750,0 mg/kg s priemernou hodnotou 108,93 mg/kg. Najvyššia hodnota 750,0 mg/kg bola zistená v sedimente z VN Hriňová. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili ešte sedimenty z VN Starina, Veľká Domaša, Bukovec, Ružín, Palcmanská Maša, Liptovská Mara, Turček, Klenovec, Môťová, Luboreč a Nitrianske Rudno.

Olovo sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytovalo v rozsahu od 10,2 mg/kg do 109,0 mg/kg s priemernou hodnotou 30,61 mg/kg. Najvyššia hodnota 109,0 mg/kg bola zistená v sedimente z VN Bukovec. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili ešte sedimenty z VN Ružín, Palcmanská Maša, Liptovská Mara, Turček, Klenovec, Málinec, Ružín, Nitrianske Rudno a Kráľová.

Zinok sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytoval v rozsahu od 43,2 mg/kg do 1700,0 mg/kg s priemernou hodnotou 306,36 mg/kg. Najvyššia hodnota 1700,0 mg/kg bola zistená v sedimente z VN Turček. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili ešte sedimenty z VN Zemplínska šírava, Starina, Veľká Domaša, Bukovec, Ružín, Palcmanská Maša, Liptovská Mara, Hriňová, Klenovec, Môťová, Málinec, Ružín, **Luboreč**, Nitrianske Rudno a Budmerice.

Z hľadiska výskytu **maximálnych hodnôt** sme zistili, že maximálne hodnoty sledovaných stopových prvkov boli dosiahnuté u **šiestich nádrží, a to VN** Starina, Bukovec, Ružín, Liptovská Mara, Turček a Hriňová. V prípade VN Bukovec tri ukazovatele dosiahli maximálnu hodnotu (arzén, kadmium a olovo). V prípade VN Ružín sa jednalo o ortuť, u VN Starina o meď, u VN Ružín o ortuť, u VN Liptovská Mara celkový chróm, u VN Turček o zinok a u VN Hriňová o nikel.

Organické látky

Výsledky stanovenia vybraných organických látok **v sedimentoch sledovaných VN vo frakcii $\leq 63 \mu\text{m}$ sú uvedené v tabuľkách 2 a 3**. Rovnako ako u stopových prvkov sa pri výpočte priemernej hodnoty v prípade hodnôt menej ako limit kvantifikácie použila polovica limitu kvantifikácie.

Hodnotenie je uvedené len vo vzťahu k absolútnemu obsahu danej organickej látky **a navzájom sú porovnané zistené výsledky**. Neuvažujeme 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 1,57 mg/kg** s priemernou hodnotou 0,129 mg/kg. Maximálna hodnota 1,57 mg/kg bola zistená v sedimente z VN Nitrianske Rudno. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili ešte sedimenty z VN Palcmanská Maša, Nová Bystrica, Orava, Nitrianske Rudno, Kráľová a Slňava.

Fluorantén sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytoval **v rozsahu od limitu kvantifikácie $<0,02 \text{ mg/kg}$ do 3,571 mg/kg** s priemernou hodnotou 0,276 mg/kg. Maximálna hodnota 3,571 mg/kg bola zistená v sedimente z VN Nitrianske Rudno. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili ešte sedimenty z VN Palcmanská Maša, Nová Bystrica, Orava, Liptovská Mara, Kráľová a Slňava.

DEHP (di-(2-etylhexyl)ftalát) sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytoval v rozsahu od limitu kvantifikácie $<0,4 \text{ mg/kg}$ do 7,223 mg/kg s priemernou hodnotou 1,564 mg/kg. Maximálna hodnota 7,223 mg/kg bola zistená v sedimente z VN Klenovec. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili ešte sedimenty

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

Vodná nádrž	As	Cd	Cr _{celk}	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Jednotka	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Zemplínska šírava2016	6,06	<0,363	61,8	29,1	0,095	51,1	19,8	112,0
Zemplínska šírava2017	3,62	<0,34	57,2	101,0	0,111	98,7	17,0	327,0
Zemplínska šírava2018	5,64	0,275	39,6	66,7	0,143	52,2	18,5	249,0
Starina2016	8,64	<0,347	39,3	47,6	0,120	54,8	20,9	132,0
Starina2017	9,65	<0,34	62,7	496,0	0,164	178,0	21,9	1071,0
Starina2018	9,52	0,304	48,4	87,9	0,163	82,1	21,8	254,0
Veľká Domaša2016	6,65	<0,355	55,2	39,2	0,109	72,2	19,4	110,0
Veľká Domaša2017	7,87	<0,34	81,0	118,0	0,103	270,0	19,1	323,0
Veľká Domaša2018	8,91	0,289	70,2	44,4	0,142	75,7	20,8	144,0
Bukovec2016	121,0	2,350	24,2	39,6	0,729	98,6	98,6	232,0
Bukovec2017	185,0	1,980	23,3	230,0	0,651	243,0	93,2	1192,0
Bukovec2018	409,0	2,87	23,6	54,6	0,677	112,0	109,0	339,0
Ružín2016	30,40	1,110	58,0	243,0	4,110	82,6	58,5	443,0
Ružín2017	46,10	0,870	55,6	238,0	2,970	502,0	43,9	834,0
Ružín2018	55,60	1,24	54,2	199,0	3,210	78,5	49,6	425,0
Palcmanská Maša2016	10,80	0,650	34,8	53,8	0,538	90,7	39,3	169,0
Palcmanská Maša2017	23,80	0,500	31,7	324,0	0,464	266,0	34,4	396,0
Palcmanská Maša2018	25,30	0,97	35,8	147,0	0,829	84,3	39,1	604,0
Nová Bystrica2016	5,29	<0,35	54,3	47,9	0,135	51,8	25,4	129,0
Nová Bystrica2017	7,48	<0,34	31,9	54,4	0,182	47,5	20,0	171,0
Nová Bystrica2018	7,72	0,342	63,0	85,5	0,114	54,6	20,8	195,0
Orava2016	3,55	<0,35	72,7	39,7	0,103	67,3	26,8	141,0
Orava2017	9,14	<0,34	79,6	55,3	0,074	69,2	24,4	190,0
Orava2018	8,38	0,387	63,6	48,4	0,088	56,4	22,9	170,0
Liptovská Mara2016	9,82	0,790	187,0	37,8	0,126	50,2	28,2	150,0
Liptovská Mara2017	13,30	0,390	112,0	475,0	0,334	209,0	33,0	840,0
Liptovská Mara2018	16,20	0,666	116,0	47,7	0,139	73,3	30,9	208,0
Turček2016	6,00	0,440	23,7	25,7	0,162	37,9	33,2	167,0
Turček2017	11,70	0,450	42,3	234,0	0,252	397,0	38,2	1700,0
Turček2018	7,47	0,431	30,4	52,9	0,122	90,4	23,5	218,0
Hriňová2016	2,96	<0,35	25,7	19,7	0,123	25,1	30,4	147,0
Hriňová2017	7,06	<0,34	28,3	87,0	0,175	750,0	24,9	661,0
Hriňová2018	8,54	0,438	24,9	65,9	0,165	59,7	32,6	458,0
Klenovec2016	8,24	<0,34	41,3	23,7	0,130	48,2	35,8	138,0
Klenovec2017	13,20	<0,34	41,5	218,0	0,300	378,0	35,2	690,0
Klenovec2018	13,70	0,370	35,0	30,7	0,120	59,6	28,0	357,0
Môťová2016	7,03	<0,35	34,7	55,1	0,126	184,0	22,9	169,0
Môťová2017	8,12	0,870	49,1	115,0	0,126	98,9	27,2	404,0
Môťová2018	6,77	0,654	36,9	29,4	0,103	58,2	25,5	165,0
Málinec2016	12,70	<0,34	35,2	25,0	0,165	40,6	31,0	165,0
Málinec2017	11,90	<0,34	35,4	183,0	0,173	199,0	43,2	585,0
Málinec2018	15,10	0,489	34,8	58,2	0,136	42,0	38,6	347,0
Ružiná2016	17,60	<0,34	36,3	24,5	0,151	26,8	35,8	118,0

Vodná nádrž	As	Cd	Cr _{celk}	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Jednotka	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Ružiná2017	15,20	<0,34	32,4	138,0	0,150	48,4	34,3	437,0
Ružiná2018	16,60	0,347	36,8	27,7	0,118	37,6	36,9	124,0
Petrovce2016	4,85	<0,34	23,5	7,78	0,057	15,4	10,2	43,2
Petrovce2017	7,57	<0,34	29,6	95,1	0,047	67,3	10,9	241,0
Petrovce2018	8,53	0,205	35,0	36,9	0,048	34,9	16,8	155,0
Luboreč2016	5,65	<0,35	23,0	19,9	0,075	21,2	18,3	91,4
Luboreč2017	5,00	<0,34	26,0	114,0	0,089	338,0	21,1	394,0
Luboreč2018	5,52	0,246	25,4	33,5	0,055	23,6	20,6	213,0
Teplý vrch2016	10,50	<0,34	42,3	24,5	0,102	33,4	21,7	99,7
Teplý vrch2017	10,60	<0,34	35,1	37,5	0,082	50,7	18,6	167,0
Teplý vrch2018	11,20	0,269	39,0	24,5	0,097	32,6	20,2	95,30
Nitrianske Rudno2016	8,91	<0,34	29,1	22,0	0,117	30,5	42,6	124,0
Nitrianske Rudno2017	11,10	0,600	37,9	171,0	0,129	303,0	50,1	354,0
Nitrianske Rudno2018	12,80	0,566	38,1	33,8	0,129	45,8	50,5	164,0
Budmerice2016	4,87	<0,34	34,1	20,6	0,122	35,6	14,7	85,0
Budmerice2017	4,18	<0,34	34,6	255,0	0,069	57,6	17,5	497,0
Budmerice2018	4,67	0,209	30,9	20,2	0,055	37,7	16,0	77,8
Kráľová2016	9,26	<0,34	43,1	49,2	0,141	62,3	25,2	132,0
Kráľová2017	4,00	<0,34	27,1	81,6	0,096	66,6	14,6	232,0
Kráľová2018	7,67	0,607	50,6	36,1	0,104	66,9	32,6	141,0
Šĺňava2016	6,99	<0,34	46,4	44,5	0,155	51,8	20,4	135,0
Šĺňava2017	5,89	<0,34	40,3	84,1	0,098	81,8	19,0	272,0
Šĺňava2018	5,18	0,352	35,7	28,2	0,088	47,2	16,6	111,0
Kunov2018	6,33	0,245	44,7	30,0	0,047	40,9	18,4	102,0
Minimum	2,96	0,205	23,0	7,78	0,047	15,4	10,2	43,2
Maximum	409,0	2,87	187,0	496,0	4,11	750,0	109,0	1700,0
Priemer	20,98	0,44	45,27	91,55	0,32	108,93	30,61	306,36

z VN Bukovec, Ružín, Palcmanská Maša, Nová Bystrica, Liptovská Mara, Turček, Hriňová, Málinec, Ružiná, Petrovce, Luboreč, Teplý vrch, Nitrianske Rudno a Budmerice.

Dikofol sa v sedimentoch sledovaných VN sledoval v **ro-ko-koch** 2016 a 2017. Vyskytoval v rozsahu od limitu kvantifikácie <0,5 µg/kg do 9,44 µg/kg s priemernou hodnotou 1,39 µg/kg. Maximálna hodnota 9,44 µg/kg bola zistená v sedimente z VN Liptovská Mara. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili ešte sedimenty z VN Veľká Domaša, Bukovec, Ružín, Palcmanská Maša, Turček, Hriňová, Klenovec, Málinec, Ružiná, Petrovce a Kráľová.

Hexachlórbenzén sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytoval v **rozsahu od** limitu kvantifikácie <2,5 µg/kg do 39,8 µg/kg s priemernou hodnotou 4,51 µg/kg. Maximálna hodnota 39,8 µg/kg bola zistená v sedimente z VN Môťová. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili ešte sedimenty z VN Starina, Veľká Domaša, Nová Bystrica, Orava, Turček, Klenovec, **Luboreč**, **Teplý vrch**, **Budmerice**, **Kráľová** a Šĺňava.

Heptachlór sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytoval v **rozsahu od** limitu kvantifikácie <2,5 µg/kg do 60,0 µg/kg s priemernou hodnotou 7,86 µg/kg. Maximálna hodnota 60,0 µg/kg bola zistená v sedimente z VN Nová Bystrica. Priemernú hodnotu

zo všetkých VN prekročili ešte sedimenty z VN Starina, Veľká Domaša, Turček, Hriňová, Môťová, Ružiná, **Luboreč**, Teplý vrch, Kráľová a Šĺňava.

Lindan sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytoval v rozsahu od limitu kvantifikácie <2,5 µg/kg do 51,2 µg/kg s priemernou hodnotou 5,67 µg/kg. Maximálna hodnota 51,2 µg/kg bola zistená v sedimente z VN Šĺňava. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili ešte sedimenty z VN Starina, Veľká Domaša, Bukovec, Nová Bystrica, Orava, Turček, Hriňová, Klenovec, Môťová, Ružiná, **Luboreč**, Teplý vrch a Nitrianske Rudno.

Pentachlórbenzén sa v sedimentoch sledovaných VN VN vyskytoval v rozsahu od limitu kvantifikácie <2,5 µg/kg do 48,8 µg/kg s priemernou hodnotou 5,68 µg/kg. Maximálna hodnota 48,8 µg/kg bola zistená v sedimente z VN Šĺňava. Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili ešte sedimenty z VN Zemplínska šírava, Veľká Domaša, Ružín, Palcmanská Maša, Nová Bystrica, Orava, Turček, Hriňová, Klenovec, Môťová, Málinec, Ružiná, Teplý vrch a Nitrianske Rudno.

Tributylcínitý kation (TBT) sa v sedimentoch sledovaných VN vyskytoval v rozsahu od limitu kvantifikácie <01 µg/kg do 6,7 µg/kg s priemernou hodnotou 0,4 µg/kg. Maximálna hodnota 6,7 µg/kg bola zistená v sedimente z VN Budmerice.

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

Vodná nádrž	Benzo(a)pyrén (mg/kg)	Fluorantén (mg/kg)	DEHP (di-(2-etylhexyl)ftalát) (mg/kg)	Dikofol (µg/kg)	Hexachlórbenzén (µg/kg)	Heptachlór (µg/kg)	Lindan (µg/kg)	Pentachlórbenzén (µg/kg)	TBT (µg/kg)
Zemplínska šírava2016	<0,02	<0,02	1,073	1,15	<2,5	<2,5	<2,5	5,22	0,52
Zemplínska šírava2017	0,048	0,084	<0,4	0,82	3,9	<2,5	3,0	39,0	0,21
Zemplínska šírava2018	0,041	0,126	0,415	N	<2,5	4,4	3,8	<2,5	0,25
Starina2016	<0,02	<0,02	0,861	<0,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<0,1
Starina2017	0,043	0,073	<0,4	<0,5	<2,5	3,8	<2,5	<2,5	<0,1
Starina2018	0,021	0,095	1,116	N	19,7	30,7	15,9	4,1	<0,1
Veľká Domaša2016	<0,02	<0,02	0,588	2,32	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<0,1
Veľká Domaša2017	0,043	0,066	<0,4	<0,5	32,5	9,5	6,4	8,7	<0,1
Veľká Domaša2018	0,022	0,084	<0,4	N	33,9	55,3	16,4	8,8	<0,1
Bukovec2016	<0,02	<0,02	5,627	2,76	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<0,1
Bukovec2017	0,061	0,106	0,420	<0,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<0,1
Bukovec2018	0,057	0,222	1,943	N	<2,5	5,7	7,2	<2,5	<0,1
Ružín2016	<0,02	<0,02	1,673	3,43	<2,5	<2,5	<2,5	7,7	0,21
Ružín2017	0,112	0,198	0,911	<0,5	<2,5	<2,5	2,8	18,1	0,24
Ružín2018	0,116	0,263	1,326	N	<2,5	3,5	3,0	<2,5	<0,1
Palcmanská Maša2016	<0,02	<0,02	3,286	7,37	<2,5	<2,5	2,6	7,6	0,64
Palcmanská Maša2017	0,115	0,095	0,424	<0,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	1,20
Palcmanská Maša2018	0,257	0,779	6,63	N	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	0,56
Nová Bystrica2016	0,184	0,056	1,570	1,35	<2,5	32,1	<2,5	8,6	<0,1
Nová Bystrica2017	0,328	0,750	0,598	<0,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<0,1
Nová Bystrica2018	0,782	1,911	<0,4	N	20,0	60,0	39,4	16,5	<0,1
Orava2016	0,062	<0,02	0,540	<0,5	<2,5	<2,5	<2,5	17,8	0,40
Orava2017	0,144	0,280	1,081	<0,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	0,37
Orava2018	0,176	0,373	<0,4	N	12,1	12,5	9,6	5,5	0,11
Liptovská Mara2016	0,047	0,02	1,060	9,44	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	1,20
Liptovská Mara2017	0,089	0,296	2,890	1,06	<2,5	<2,5	4,9	5,0	0,53
Liptovská Mara2018	0,081	0,23	2,659	N	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	0,41
Turček2016	0,041	<0,02	1,180	1,58	<2,5	14,4	5,1	<2,5	<0,1
Turček2017	0,046	0,126	4,118	<0,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	0,52
Turček2018	0,021	0,108	2,531	N	5,0	6,2	7,4	9,7	<0,1
Hriňová2016	0,051	<0,02	<0,4	1,40	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<0,1
Hriňová2017	0,040	0,124	3,715	<0,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	0,21
Hriňová2018	0,022	0,093	3,867	N	3,7	19,1	21,3	7,4	<0,1
Klenovec2016	0,037	<0,02	<0,4	1,71	<2,5	4,2	7,4	<2,5	<0,1
Klenovec2017	0,034	0,086	1,647	<0,5	<2,5	<2,5	<2,5	8,8	<0,1

Vodná nádrž	Benzo(a)pyrén (mg/kg)	Fluorantén (mg/kg)	DEHP (di-(2-etylhexyl)ftalát) (mg/kg)	Dikofol (µg/kg)	Hexachlórbenzén (µg/kg)	Heptachlór (µg/kg)	Lindan (µg/kg)	Pentachlórbenzén (µg/kg)	TBT (µg/kg)
Klenovec2018	<0,02	0,070	7,223	N	5,9	<2,5	6,6	5,7	<0,1
Môťová2016	0,035	<0,02	1,070	0,69	6,2	<2,5	<2,5	2,8	<0,1
Môťová2017	0,074	0,159	1,323	<0,5	39,8	46,0	6,7	16,7	<0,1
Môťová2018	0,096	0,255	1,995	N	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<0,1
Málinec2016	0,036	<0,02	0,860	2,41	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	0,20
Málinec2017	0,026	0,156	3,190	3,60	<2,5	<2,5	<2,5	7,4	0,40
Málinec2018	0,023	0,097	2,079	N	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<0,1
Ružiná2016	0,029	<0,02	0,590	3,89	<2,5	3,5	<2,5	<2,5	0,17
Ružiná2017	0,044	0,125	3,803	2,50	<2,5	<2,5	<2,5	17,5	0,63
Ružiná2018	0,036	0,137	<0,4	N	3,7	14,6	22,6	<2,5	0,23
Petrovce2016	<0,02	<0,02	5,630	1,59	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<0,1
Petrovce2017	<0,02	0,076	0,897	1,10	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<0,1
Petrovce2018	<0,02	<0,02	<0,4	N	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<0,1
Luboreč2016	0,024	<0,02	1,670	<0,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<0,1
Luboreč2017	<0,02	0,100	0,981	<0,5	<2,5	<2,5	<2,5	2,9	<0,1
Luboreč2018	<0,02	0,042	0,436	N	7,8	10,4	7,8	<2,5	<0,1
Teplý vrch2016	0,030	<0,02	3,290	<0,5	2,9	5,2	10,5	11,7	<0,1
Teplý vrch2017	0,042	0,091	0,733	<0,5	<2,5	<2,5	<2,5	7,6	<0,1
Teplý vrch2018	0,025	0,053	<0,4	N	9,4	24,0	17,6	<2,5	<0,1
Nitrianske Rudno2016	0,297	0,053	<0,4	0,58	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<0,1
Nitrianske Rudno2017	1,010	2,308	1,471	1,20	<2,5	<2,5	<2,5	25,3	0,26
Nitrianske Rudno2018	1,570	3,571	3,348	N	<2,5	<2,5	6,4	<2,5	<0,1
Budmerice2016	0,060	<0,02	<0,4	<0,5	<2,5	<2,5	3,0	<2,5	3,50
Budmerice2017	0,043	0,101	1,087	0,85	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	6,70
Budmerice2018	<0,02	0,028	1,945	N	8,8	<2,5	11,8	<2,5	1,97
Kráľová2016	0,078	0,026	0,840	1,35	<2,5	<2,5	3,7	4,7	0,18
Kráľová2017	0,389	0,858	0,876	1,70	4,5	45,2	2,8	2,5	0,82
Kráľová2018	0,44	1,026	0,476	N	7,7	4,6	5,2	<2,5	0,26
Sľňava2016	0,117	0,033	0,490	0,25	9,4	56,6	21,8	48,8	0,83
Sľňava2017	0,436	1,108	1,062	0,74	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	0,90
Sľňava2018	0,406	1,066	<0,4	N	<2,5	<2,5	51,2	<2,5	0,26
Kunov2018	0,039	0,103	0,861	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
Maximum	1,57	3,571	7,223	9,44	39,8	60,0	51,2	48,8	6,70
Priemer	0,129	0,276	1,564	1,39	4,51	7,86	5,67	5,68	0,40
Limit kvantifikácie	<0,02	<0,02	<0,4	<0,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<0,1

N – nestanovené

Tabuľka 3. Výskyt PCB v sedimentoch VN v rokoch 2016–2018

Vodná nádrž	PCB-8 (µg/kg)	PCB-28 (µg/kg)	PCB-52 (µg/kg)	PCB-101 (µg/kg)	PCB-118 (µg/kg)	PCB-138 (µg/kg)	PCB-153 (µg/kg)	PCB-180 (µg/kg)	PCB-203 (µg/kg)	Suma PCB (µg/kg)
Zemplínska šírava2016	5,0	55,8	18,3	3,2	8,4	18	17,8	13,8	6,9	147,2
Zemplínska šírava2017	68,8	55,2	18,8	26,1	20,3	45,7	46,5	34,7	7,0	323,1
Zemplínska šírava2018	31,5	23,6	16,1	14,9	14,1	14,9	20,8	12,6	3,4	151,9
Palcmanská Maša2016	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	5,0	24,3	19,7	40,3	14,8	109,1
Palcmanská Maša2017	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	
Palcmanská Maša2018	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	
Môťová2016	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	
Môťová2017	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	6,7	6,9	5,4	<2,5	26,5
Môťová2018	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	
Budmerice2016	6,2	8,3	12,1	9,8	12,0	23,0	8,4	5,7	4,3	89,8
Budmerice2017	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	
Budmerice2018	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	
Minimum	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	26,5
Maximum	68,8	55,8	18,8	26,1	20,3	45,7	46,5	40,3	14,8	323,1
Priemer	10,13	12,74	6,28	5,33	5,71	11,68	10,63	10,0	3,76	141,3
Limit kvantifikácie	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	

Priemernú hodnotu zo všetkých VN prekročili ešte sedimenty z VN Zemplínska šírava, Palcmanská Maša, Liptovská Mara, Turček, Kráľová a Slňava.

Polychlórované bifenylly (PCB) sa stanovovali vo **všetkých sledovaných VN**. V tabuľke 4 sú uvedené výsledky stanovenia kongenérův PCB v tých nádržiach, v ktorých aspoň v jednom roku boli stanovené PCB nad limitom kvantifikácie. Najvyššia hodnota sumy PCB 323,1 µg/kg bola stanovená v sedimente VN Zemplínska šírava, ako aj najvyššia hodnota 68,8 µg/kg pre kongenér PCB-8.

Z hľadiska výskytu **maximálnych hodnôt** sme zistili, že maximálne hodnoty sledovaných organických látok boli dosiahnuté u **ôsmich nádrží, a to VN** Nová Bystrica (heptachlór), Liptovská Mara (dikofol), Klenovec (DEHP), Môťová (hexachlórbenzén), Nitrianske Rudno (benzo(a)pyrén a fluorantén), Budmerice (TBT), Slňava (lindan a pentachlór) a Zemplínska šírava (PCB).

Záver

V predloženom príspevku sú vyhodnotené výsledky monitoringu sedimentův akumulovaných vo vybraných vodných nádržiach (celkovo 23 nádrží), zaradených do „Rámcového programu monitorovania vód Slovenska na obdobie rokov 2016–2021“ z hľadiska výskytu stopových prvkův a organických látok pre sledovanie trendův.

Za uvedeným účelom sa odobrala 1 zmiešaná vzorka sedimentův z odberového miesta spravidla pri priehradnom múre (vrchných 10 cm vrstvy sedimentův) z každej nádrže. Z odobratej vzorky sa odseparovala frakcia ≤63 µm, ktorá sa následne analyzovala.

Hodnotenie získaných výsledkův zatiaľ vychádza z ich vzájomného porovnania. **Výskyt maximálnych hodnôt** jednotlivých stopových prvkův ukazuje, že **maximálne hodnoty sledovaných stopových prvkův boli dosiahnuté u šiestich nádrží, a to VN** Starina, Bukovec, Ružín, Liptovská Mara, Turček a Hriňová. V prípade VN Bukovec tri ukazovatele dosiahli maximálnu hodnotu, jednalo sa o arzén, kadmium a olovo. V prípade VN Ružín sa jednalo o ortuť, u VN Starina o meď, u VN Ružín o ortuť, u VN Liptovská Mara celkový chróm, u VN Turček o zinok, u VN Hriňová o nikel.

Z hľadiska výskytu **maximálnych hodnôt** sledovaných organických látok sme zistili, že maximálne hodnoty boli dosiahnuté u **ôsmich nádrží, a to VN** Nová Bystrica (heptachlór), Liptovská Mara (dikofol), Klenovec (DEHP), Môťová (hexachlórbenzén), Nitrianske Rudno (benzo(a)pyrén a fluorantén), Budmerice (TBT), Slňava (lindan a pentachlór) a Zemplínska šírava (PCB).

Podakovanie

Sledovanie sedimentův sa uskutočnilo v rámci projektu Výskumného ústavu vodného hospodárstva v Bratislave „Monitorovanie a hodnotenie stavu vód 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 Peter 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
- [3] KOŠOVSKÝ Peter 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. zo 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.

EROZNÍ PROCESY V POVODÍ VODNÍ NÁDRŽE BRNO A ÚČINNOST MOŽNÝCH OPATŘENÍ

Josef Krása, Miroslav Bauer, Barbora Jáchymová, Jan Devátý, Tomáš Dostál

*Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Fakulta stavební, ČVUT v Praze,
Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice, tel. +420 224 354 749, josef.krasa@fsv.cvut.cz*

Abstrakt

Príspevek predstavuje výsledky určení aktuálního transportu splavenin a erozního fosforu pro celé povodí VN Brno a efektivitu několika typů opatření v povodí. Výpočet je podkladem pro návrh Listu opatření typu B pro plány dílčích povodí. Bilance pro VN Vír a VN Brno byla provedena modelem WaTEM/SEDEM. Výpočet zahrnoval průzkum povodí a šetření mezi hospodařícími subjekty pro zajištění aktuálních osevních postupů i způsobů hospodaření v povodí.

Scénáře ochranných opatření spočívaly v (a) simulaci zachytání travních pasů podél vodních toků a v drahách soustředěného odtoku, (b) doplnění pasů o zatravnění celých pozemků s průměrným sklonem přesahujícím 15%, (c) doplnění pasů o vrstevnicové přerušující pásy na sklonech přesahujících 15%.

Model určuje rovněž zachycení v trase a tedy výsledný význam dílčích povodí pro cílovou nádrž. Pro VN Brno jsou z tohoto hlediska nejkritičtějšími – povodí Veverky, povodí Lubě, povodí Besánku. Pro povodí VN Vír jsou jimi – povodí Fryštávky, Teleckého potoka a potoky přímo ústící do VN Vír.

Klíčová slova: VN Brno; VN Vír; eroze půdy, transport sedimentu, WaTEM/SEDEM.

Abstract

The article presents the results of determining soil erosion and sediment (phosphorus) transport for the entire Brno Reservoir basin and the effectiveness of several types of measures in the river basin. The calculation should help to design the type B measure sheet for River Basin Management Plans (Water Framework Directive). The balance for Vír and Brno reservoirs was performed by the WaTEM/SEDEM model. The calculation included a river basin survey and an investigation between the farmers to ensure current sowing procedures and management methods in the river basin.

The scenarios for protection measures consisted in (a) simulation of grasslands along watercourses and in the waterways, (b) The addition of grassland of whole plots with an average slope exceeding 15%, (c) The addition of contour-breaking buffer strips at a slope exceeding 15%. The model also determines the capture in the route and thus the resulting significance of the subbasins for the target reservoir. For Brno Reservoir the most critical are Veverka, Lubě, and Besánek basins. For Vír Reservoir the most critical are Fryštávka, and Telecký basins, together with directly contributing streams to the reservoir.

Keywords: Brno reservoir; Vír reservoir; soil erosion; sediment transport, WaTEM/SEDEM.

Úvod

Zanášení vodních nádrží sedimentem je jedním z významných důsledků zrychlených erozních procesů v krajině. Vodní nádrže jako uzávěrový profil hydrologického celku jsou ohroženým prvkem v krajině. Při zanášení sedimentem dochází nejen ke snižování zásobního objemu nádrže, ale také dalším negativním následkům v podobě eutrofizace či obecného zhoršení kvality vody. Dochází k postupnému omezení účelu, pro který byla nádrž vybudována. Navrácení nádrže do původního stavu a obnovení původního účelu je vždy velmi nákladné a u větších nádrží prakticky nemožné.

Zájmové území povodí vodní nádrže Brno s rozlohou 1586 km² je dle CORINE databáze zastoupeno z 31% ornou půdou, 36% lesem, 20% travním porostem. Téměř 44% celého území je v registru LPIS (registr zemědělských pozemků dle MZe), z čehož orná půda je zastoupena přibližně 457 km². Celkově se na území nachází 374 vodních nádrží. Délka vodních toků je více jak 2000 km. Hustota zalidnění je přibližně 128 osob na km², tedy cca 200 tisíc obyvatel.

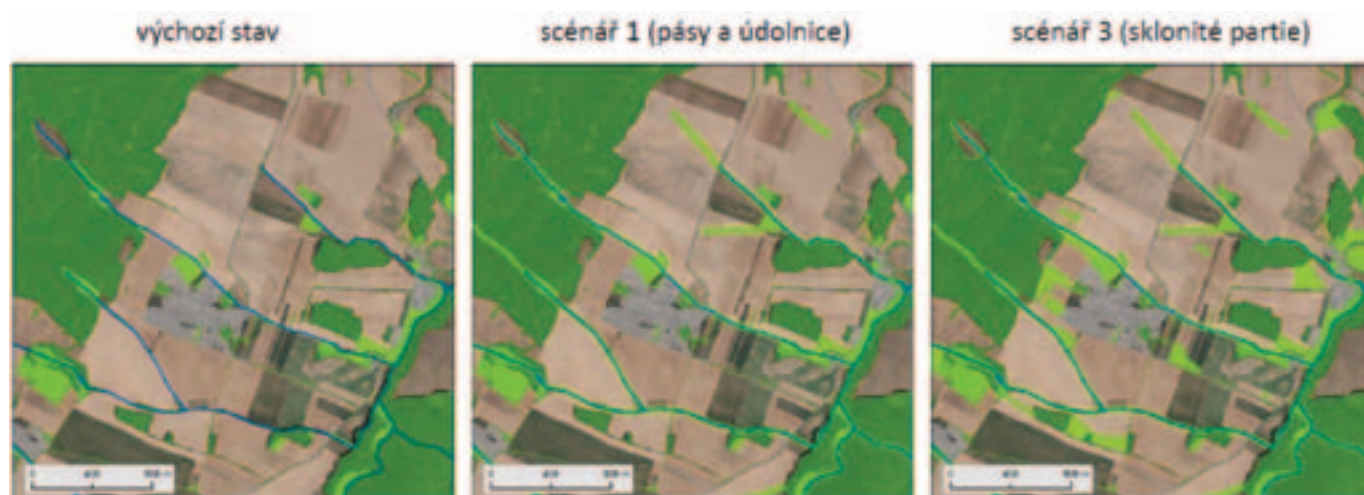
Vzhledem k zastoupení orné půdy, topografi i hustotě vodních toků a jejich častého přímého kontaktu s povrchovým odtokem ze zemědělských pozemků je celé povodí zdrojem erozních splavenin (viz. Obrázek 1), které výrazně dotují říční síť i nádrže na tocích (zejména VN Brno a VN Vír). Tento stav se týká nejen samotných splavenin formou nerozpuštěných látek, ale také dalších vázaných látek. Z těch, které přímo přispívají k eutrofním procesům, je nejvýznamnějším fosfor ve všech formách.

Cílem práce v předkládané studii je navrhnout možné scénáře opatření proti vodní erozi a transportu splavenin a posoudit efektivitu navržených scénářů. A to nejen z hlediska omezení erozního smyvu na pozemcích v povodí, ale zejména z pohledu snížení zátěže cílových vodních útvarů VN Brno a VN Vír. Navrženy byly 4 scénáře:

- **Scénář 0 – stávající stav**
- **Scénář 1 – Ochranné pásy podél toků a DSO**
 - Travní pásy podél vodních toků (šířka 20m na každé straně, celková šířka 40m)
 - Travní pásy v DSO (drahách soustředěného odtoku) celkové šířky 50m
 - Délka travních pasů je
 - Plocha travních pasů je 57 km², tedy 3,6% celkové plochy povodí
- **Scénář 2 – Ochranné pásy podél toků a DSO + sklonité pozemky**
 - Travní pásy podél vodních toků (šířka 20m na každé straně, celková šířka 40m)
 - Travní pásy v DSO (drahách soustředěného odtoku) celkové šířky 50m



Obrázek 1. Erozní událost s transportem do vodního toku monitorovaná v povodí v roce 2018



Obrázek 2. Ilustrace modelovaných scénářů ochrany

- Zatravnění celých pozemků se sklonem $> 15\%$ (aplikováno na pozemky dle registru LPIS – © databáze MZe) – celkem 502 pozemků, výměra 1115 ha
- **Scénář 3 – Ochranné pásy podél toků a DSO + travní pásy sklonitých partií pozemků**
 - Travní pásy podél vodních toků (šířka 20 m na každé straně, celková šířka 40 m)
 - Travní pásy v DSO (drahách soustředěného odtoku) celkové šířky 50 m
 - Zatravnění částí pozemků (částí LPIS) $> 15\%$ – celkem 1188 vzniklých pasů, výměra pasů 2641 ha; minimální zbytková plocha orné půdy 2 ha – v každé části pozemku

Metodika

Základní metodický přístup k modelování ztráty půdy a transportu erozních splavenin a vázaného erozního fosforu byl totožný s metodickým postupem, který byl aplikován v projektu „Příprava listů opatření A lokalit plošného zemědělského znečištění pro plány dílčích povodí“ a který byl mimo jiné publikován v metodice [1].

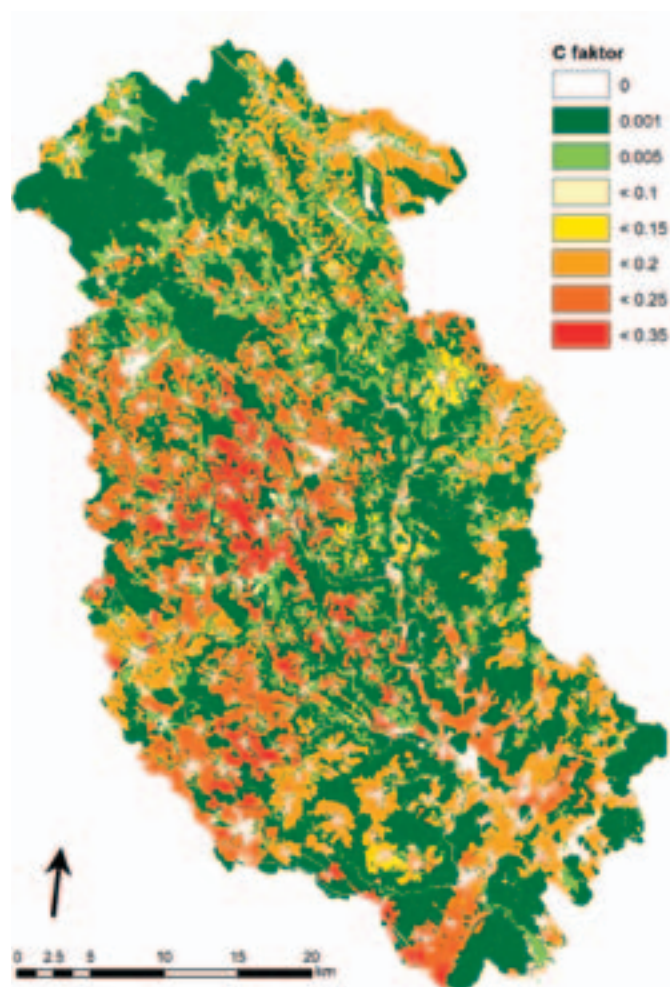
Pro stanovení erozní ohroženosti, ztráty půdy i transportu erozních splavenin byl využit matematický model WATEM/SEDEM [2]. Model je založen na principech USLE/RUSLE a jeho výstupem tak jsou dlouhodobé průměrné roční hodnoty ztráty

půdy, případně transportu splavenin. Model je plně distribuovaný, pro každý jednotlivý element proto výsledkem je průměrná roční ztráty půdy/transport erozních splavenin/depozice erozního sedimentu.

Výpočet probíhal v rozlišení 10 m. Terén byl popsán s využitím digitálního modelu reliéfu 4. generace, ošetřený z hlediska lokálních singularit, bezodtokých míst a artefaktů a podle potřeby vyhlazený, se zahrnutím významných linií ovlivňujících směřování povrchového odtoku.

Vstupní parametry výpočtu erozního smyvu byly určeny následovně:

- Faktor erozní účinnosti deště R – vrstva zpracovaná na základě digitálních srážkoměrných záznamů ČHMÚ z let 2005 – 2012 při důsledném respektování metodických postupů Wischmeiera a Smithe (1978) v rámci zakázky pro MZe ČR (Novotný a kol., 2013).
- Faktor erodovatelnosti půdy K – přiřazení hodnot faktoru K na základě kódu BPEJ podle Metodiky (Janeček a kol., 2012). Chybějící lokality byly vykryty s pomocí stejného přiřazení k mapám KPP. V dalších lokalitách byly hodnoty určeny lineární interpolací mezi oběma výše uvedenými.
- Morfologický faktor LS – algoritmus je zahrnut přímo v modelu WATEM/SEDEM (implementace nástroje USLE2D), v rámci výpočtu bylo využito vícesměrné dělení odtoku. Délka svahu odpovídala volné délce odtoku v rámci skupiny navazujících pozemků LPIS. Jako plošná výpočetní jednotka byly vytvořeny tzv. EUC (erozně uzavřené celky = plochy



Obrázek 3. Hodnoty C faktoru v ploše povodí

LPIS pozemků, oddělené jen liniíovou hranicí bez mezery). Předpokládá se tak, že prostá hranice nepřeruší odtok, zatímco liniový prvek širší minimálně 1 elementu (10 m) odtok přeruší zcela.

- Faktor protierozních opatření P – opatření nebyla v současném stavu implementována, faktor byl proto zanedbán a do výpočtu dosazen hodnotou 1,0.

Z hlediska popisu aktuálního stavu povodí, je kromě členění krajinné mozaiky a topografie zejména faktor vegetačního krytu, označovaný jako C-faktor. Ten závisí na konkrétních plodinách i struktuře osevních postupů na orné půdě. Trvalé kultury lze určit z LPIS, ne však již např. u trvalých travních porostů rozlišit pastviny a louky (z erozního hlediska obvykle velmi rozdílně ohrožené).

Aktuální osevní postupy na orné půdě jsou v podrobném členění celorepublikově nedostupné, stejně jako používané technologie zpracování půdy, ovlivňující též C-faktor. MZe data o osevech soustřeďuje zpětně od farmářů v dotační evidenci,

informace však dále neposkytuje. Za účelem zjištění konkrétního stavu povodí byl proto proveden jednak terénní průzkum pro rozlišení luk, pastvin a konkrétního erozního poškození, jednak rozsáhlé dotazníkové šetření. Telefonicky byly osloveny hlavní hospodařící subjekty v povodí s cílem získat maximální možnou plochu povodí s relevantní informací. Poté bylo možno provést interpolaci, resp. doplnění chybějících částí orné půdy pro následné modelování.

V tabulce 1 je vidět, že z významných farmářů, které se podařilo oslovit, poskytlo informace o osevních postupech 34 z celkových 852 uživatelů orné půdy v povodí. I tak se však podařilo pokrýt více než 50 % plochy orné půdy v povodí, což postačilo pro reprezentativní určení C-faktoru.

Na základě všech uvedených zjištění pak byla sestavena mapa C-faktoru pro celé povodí VN Brna, jako klíčová vstupní vrstva výpočtu. Hodnoty C faktoru na orné půdě se pohybují v tomto povodí v rozmezí 0,11 do 0,30, resp. od 0,005 v případě trvalých travních porostů a pastvin.

Transport erozních splavenin je v rámci modelu WATEM/SE-DEM popsán na základě aplikace popisu „transportní kapacity povrchového odtoku“, která v sobě zahrnuje sklon, způsob využití území a akumulaci povrchového odtoku. Množství disponibilních uvolněných částic je porovnáváno s aktuální transportní kapacitou pro daný element a výsledkem je jednak depozice a jednak transport erozních splavenin směrem po toku. Oboje v průměrných ročních hodnotách (t/ha.rok resp. t/rok). Erozní splaveniny jsou transportovány plochou povodí do hydrografické sítě a toky pak dále.

Výpočet nepopisuje zachycení erozních splavenin ve vodních tocích, ale pouze ve vodních nádržích. Koncept výpočtu vychází z retence sedimentu ve vodních nádržích podle vztahů Bruneho (1953) a následně Dendyho (1978), které vycházejí z teoretické doby zdržení vody ve vodních nádržích a pro každou vodní nádrž stanovují poměr zachycení (%).

Výsledky

Zde můžeme vidět jednotlivé scénáře ochrany a výsledky jejich efektivity. Na Obrázku 4 jsou porovnány všechny scénáře. Pokud porovnáme postupně všechny scénáře dle Obrázku 4 a zejména dle Tabulky 2 je vidět mírný pokles erodovaného materiálu už mezi stávajícím stavem a scénářem 1 (pasy kolem VT a DSO) zároveň s nárůstem depozice materiálu. Při aplikaci vyšších scénářů dochází k výraznému omezení transportu materiálu, zejména z pohledu zanášení cílových vodních nádrží. Při porovnání aktuálního stavu (57 000 tun depozice ve VN) s důslednou ochranou jak podél VT, tak na pozemcích (S3) je toto množství redukováno až na 38 000 tun (tedy o více jak 33%). Pro jednotlivé nádrže se efekt samozřejmě výrazně liší – v Tabulce 3 je možné vidět efekt opatření pro VN Vír a VN Brno.

Jednotlivé scénáře opatření se logicky projevují odlišně pro různé části povodí. Zejména povodí nad VN Vír a jeho horní zalesněné části, stejně jako toky procházející rozsáhlým intravilánem – např. Bílý potok (Polička), nemají velký efekt při zatravnění

Tabulka 1. Počet hospodařících subjektů a oslovených farmářů v povodí

VN Vír	Celková plocha	Počet uživatelů
Celková orná půda	47 111	852
Subjekty hospodařící na > 100ha	35 887	77
Dostupné kontakty – osloveni	32 500	55
Zodpověděli na dotazy – podklad pro určení C faktoru	23 937	34

Tabulka 2. Výsledky pro stávající stav a jednotlivé scénáře v celé ploše povodí

Povodí VN Brno (t/rok)	S0	S1	S2	S3
Celkový erozní smyv	743 750	734 464	701 062	645 520
Depozice sedimentu v povodí	553 547	564 977	536 919	487 336
Depozice ve všech VN	57 364	42 185	40 465	38 232

Tabulka 3. Výsledky scénářů pro VN Vír a VN Brno

VN Vír	S0	S1	S2	S3
Přítok splavenin	12 859	11 449	10 396	9 380
Odtok z nádrže	643	572	520	469
Zachyceno v nádrži	12 216	10 877	9 876	8 911
% vůči stávajícímu stavu	100	89	81	73
VN Brno	S0	S1	S2	S3
Přítok splavenin	52 562	37 173	35 829	33 925
Odtok z nádrže	9 461	6 691	6 449	6 107
Zachyceno v nádrži	43 101	30 482	29 380	27 818
% vůči stávajícímu stavu	100	71	68	65

pásů podél toků (S1), nicméně pokud se přidá efektivní opatření přímo na orné půdě (S2 – pozemky, S3 – pásy), je efekt ochrany v tocích i VN výraznější. To je možné vidět i v Tabulce 2 výše právě na VN Vír.

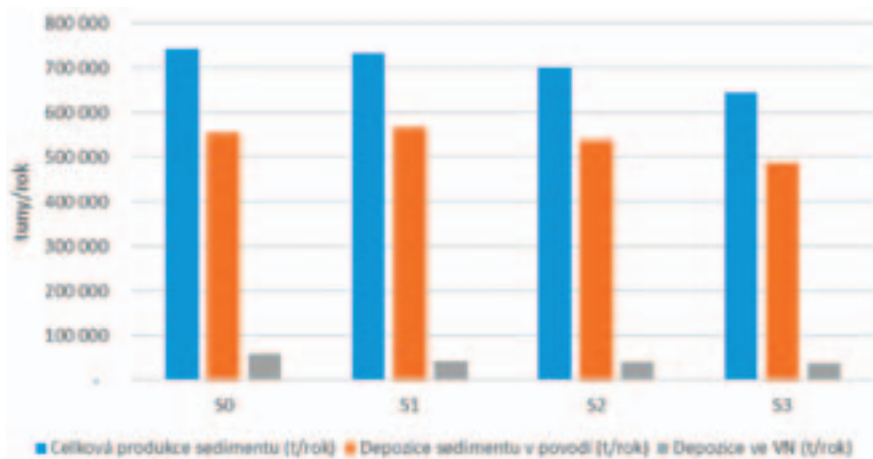
Autoři jsou si samozřejmě vědomi, že každý simulovaný scénář ukazuje pouze maximální možný potenciál dosažení ochranného účinku při realizaci konkrétního typu opatření. Nelze předpokládat, že všechna daná opatření budou vymahatelná, nebo prosaditelná v celém modelovaném rozsahu. Na druhou stranu pro realizaci scénářů byl zvolen poměrně konzervativní přístup, kdy testovaná opatření jsou „možná“ a nejsou ekonomicky zcela irelevantní, ani technicky neproveditelná. Nejedná se např. vyčlenění rozsáhlých ploch orné půdy a jejich konverzi do travních porostů – tyto změny jsou navrhovány pouze do nejrizikovějších lokalit a podle kritérií, jež si lze představit jako „vhodná“. Výpočet prokazuje, že pokud by byly ochráněny nejsklonitější partie orné půdy v povodí, a ochrana doplněna o zatravnění všech drah soustředěného odtoku, mohlo by být sníženo množství sedimentu ročně zachycené ve VN Vír a VN Brno o 25, resp. 35 procent. Pro dosažení vyššího efektu již by bylo nutno sáhnout k celkové změně v systému hospodaření v povodí.

Poděkování

Výpočet byl realizován v projektu CAMARO-D v rámci nadnárodního programu pro Dunajský region na období 2014–2020. Monitoring popisovaných erozních procesů je řešen v rámci projektu QK1720289 s názvem „Vývoj automatizovaného nástroje pro optimalizaci monitoringu eroze zemědělské půdy“.

Literatura

- [1] NOVÁK, Pavel et al, 2016. Příprava listů opatření typu A lokalit plošného zemědělského znečištění pro plány dílčích povodí *Certifikovaná metodika*. B.m.: VÚMOP, v.v.i. / Povodí Vltavy, státní podnik. ISBN 978-80-87361-66-5.
- [2] VAN OOST, K., GOVERS, G. & DESMET, P., 2000. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecology*, 15(6), s.577–589.

**Obrázek 4.** Účinnost scénářů na povodí VN Brno

VPLYV ZANÁŠANIA NA PREVÁDZKU VODNÝCH NÁDRŽÍ NA VÝCHODNOM SLOVENSKU

Dušan Mydla, Lucia Hrabčáková

*Slovenský vodohospodársky podnik, š.p., Odštepný závod Košice, Ďumbierska 14, 041 59 Košice,
tel. +421 556 008 118, lucia.hrabcakova@svp.sk*

Abstrakt

Vodné nádrže na východe Slovenska majú svoju dlhodobú tradíciu. Avšak doteraz najmladšia akumulčná vodná nádrž v správe SVP š.p. OZ Košice už je v prevádzke od roku 1993. Práve časový faktor má, v kombinácii so zmenou využitia územia v povodí nad jednotlivými vodnými stavbami, rozhodujúci dopad na plnenie základných funkcií vodných nádrží.

Príspevok je zameraný na stručné zhodnotenie prevádzkových skúseností vplyvu procesov straty objemu jednotlivých vodných nádrží na ich prevádzkovanie v aktuálnom časovom horizonte.

Kľúčové slová: vodné nádrže; objem; prevádzka, funkcia.

Abstract

Water reservoirs in the east of Slovakia have a long tradition. However, the youngest accumulation reservoir under operation of the SVP s.e. BO Košice has been in operation since 1993. It is the time factor, in combination with the change in land use in the basin above individual water structures, that has a decisive impact on the fulfillment of the basic functions of water reservoirs.

The paper is focused on a brief evaluation of the operational experience of the impact of the processes of loss of volume of individual water reservoirs on their operation in the current time horizon.

Keywords: waters reservoirs; volume; operation; feature.

Úvod

V správe Slovenského vodohospodárskeho podniku š.p. odštepny závod Košice sa v súčasnosti nachádza 7 veľkých vodných nádrží (Palcmanová Maša, Veľká Domaša, Vihorlat /Z. Širava/, Ružín I. Ružín II., Bukovec a Starina) a 43 malých vodných nádrží. Pre úplnosť, naša organizácia spravuje hydrologické povodia riek Dunajec, Poprad, Bodrog, Hornád a Bodva na východe Slovenska, ktoré čo do veľkosti predstavuje plochu 14 599,8 km². Hustota riečnej siete na spravovanom území prekračuje 1,1 km dĺžky toku na 1 km².

Strata objemov veľkých vodných nádrží

Pri vyhodnocovaní režimu hospodárenia s vodou na spravovaných vodných nádržiach sme vychádzali z reálne vykonaných meraní v doterajšom období. Žiaľ ale musíme v úvode konštatovať, že od roku 1993 sa uvedené merania nerealizujú pravidelne, v predchádzajúcom období zaužívaných 10 ročných intervaloch,

ale sú vykonávané od roku 1993 iba v súlade s aktuálnymi zmenami v potrebách na vodu.

Aj v tomto aspekte je zrejmé, hlavne na príkladoch nádrží s pomerne pravidelným zisťovaním aktuálneho objemu (VS Ružín I. a V. Domaša), že sa jedná o proces z časového hľadiska sledujúci nelineárnu funkciu.

Zmena tzv. „hydrologickej výkonnosti vodnej nádrže“, teda schopnosti nádrže ovplyvňovať hydrologický režim vodného toku v nižšie položenom úseku, priamo súvisí s veľkosťou a stavom povodia, ako aj s charakterom nádrže. Ako je to konkrétne s úbytkom jednotlivých priestorov vodných nádrží v správe SVP, š.p. OZ Košice je prehľadne spracované spracované v tabuľke č. 2.

Z uvedených výsledkov je zrejmé, že základný vplyv na hydrologickú výkonnosť nádrže má morfológia brehov a dna, dĺžka prevádzky nádrže v spojitosti s rozvojom sukcesných procesov na konci vzdutia. Ako príklad je možné uviesť VS Ružín I. kde intenzívne zanášanie prebieha predovšetkým na hlavných prítokoch Hornád a Hnilec s dnes už dve dekády trvajúcou sukcesiou. Avšak morfológia nádrže – úzke údolie, počas prechodu povodňových prietokov spôsobuje aj transport splavenín do nižších častí. To v spojení s abráziou brehov spôsobuje značný úbytok objemu stáleho priestoru.

No aj napriek tejto skutočnosti si vodná nádrž Ružín zatiaľ spoľahlivo plní svoju zásobnú funkciu. Dôvodom, prečo je tomu tak sú dve skutočnosti:

1. Pokles nárokov na vodu pre priemyselné využitie o cca 50% oproti projektovanému stavu
2. Uvedenie do platnosti Nariadenia vlády SR 269/2010 Z.z., na základe ktorého bola zrušená funkcia nariedovania komunálnych odpadových vôd z čistiarne Kokšov – Bakša pre aglomeráciu Košice.

O poznanie zložitejšia situácia vyvstala v hospodárení s vodou na nádrži Veľká Domaša. Vplyvom intenzívneho zanášania akumulčného priestoru v kombinácii so zvyšovaním priemernej teploty má nádrž stále väčšie problémy aklimatizovať sa na zmenu deklarovanej potreby na vodu a teda na plnenie svojich základných ako aj terciálnych funkcií.

Extrémne hydrologické situácie v povodí Ondavy a tlak verejnosti a štátnej správy na udržateľnosť požadovanej úrovne hladiny vody v nádrži pre rekreačné účely primäli správcu a prevádzkovateľa nádrže vypracovať na základe doterajších skúseností s manipuláciou nový Manipulačný poriadok, ktorým sa zaviedli pravidlá zníženého vypúšťania vody z nádrže zo 4,9 m³/s na 3,5 m³/s v období zimnej prevádzky (od 1.11. do 31.3.) v závislosti od úrovne hladiny, so snahou zachytiť objem v nádrži tak, aby v úseku toku pod priehradou nedošlo k hydrologickému deficitu a narušeniu ekologickej stability vodného toku.

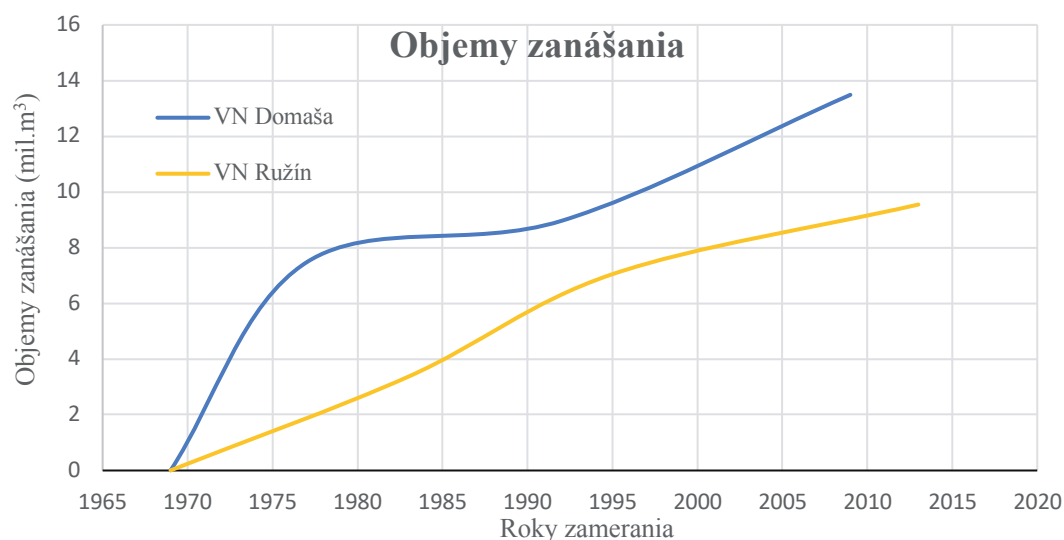
Dopady aktuálnej manipulácie na celkový hydrologický režim v procese viacročného vyrovňovania bude možné ale najskôr zhodnotiť až po ukončení hydrologického roku 2019/2020, resp. po ďalšom dosiahnutí hornej amplitúdy cyklu. V konečnom

Tabuľka 1. Objem zanášania k prevádzkovej hladine pre obdobia zamerania

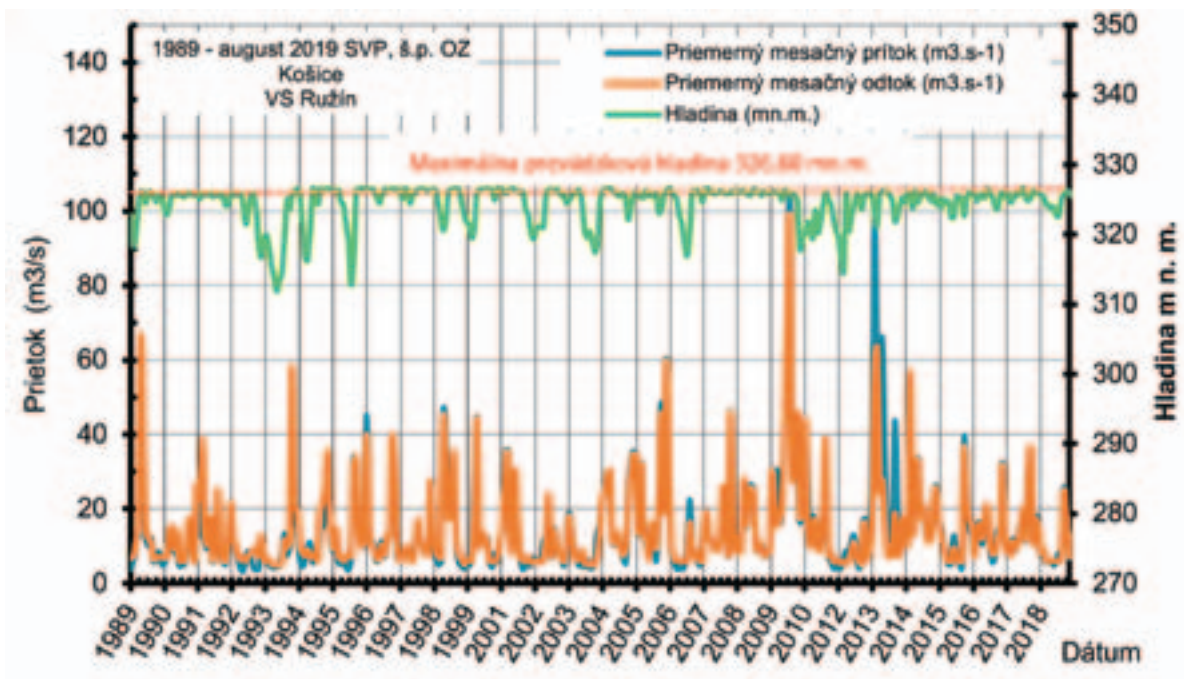
Vodná nádrž	Maximálna prevádzková/ retenčná hladina (mn.m.)	OBJEMY ZANÁŠANIA (m ³) / STRATA OBJEMU (%)													
		1969		1977		1983		1992		1995		2009		2013	
		m ³	%	m ³	%	m ³	%	m ³	%	m ³	%	m ³	%	m ³	%
VN Domaša	162,00	0		7 472 750	4,49			1 488 850	0,9			4 527 771	2,72		
VN Ružín	327,60	0				3 369 131	5,7			3 679 142	6,6			2 500 304	4,81

Tabuľka 2. Vyhodnotenie charakteru procesu zanášania

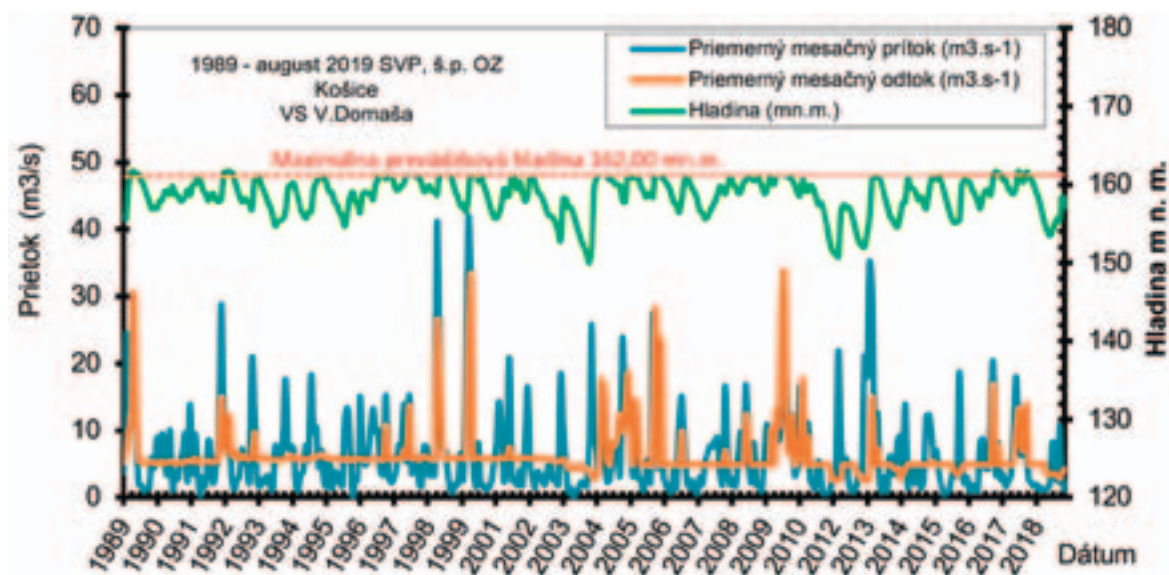
Vodná stavba	Celkový objem v m ³				Zmena objemu v %
		projektovaný	zameraný	v roku	
Bukovec	celkový	23 400 000	21 760 000	1994	7,00
	max. pr. hl.	22 332 000	20 779 730		6,95
	min. pr. hl.	857 000	745 671		12,99
Ružín I.	celkový	59 000 000	49 451 400	2013	16,18
	max. pr. hl.	48 900 000	45 953 576		6,03
	min. pr. hl.	6 300 000	4 696 315		25,46
Zemplínska Šírava	celkový	334 000 000	324 889 000	1998	2,73
	max. pr. hl.	234 000 000	229 364 902		1,98
	min. pr. hl.	57 000 000	56 309 618		1,21
Veľká Domaša	celkový	187 500 000	172 722 000	2009	7,88
	max. pr. hl.	166 500 000	153 010 630		8,10
	min. pr. hl.	18 000 000	17 051 514		5,27
Starina	celkový	59 870 020	56 950 676	1990	4,88
	max. pr. hl.	48 780 000	48 784 768		- 0,01
	min. pr. hl.	3 759 000	3 758 932		0,00
Palcmanská Maša	celkový	11 063 000	10 354 936	1989	6,40
	max. pr. hl.	11 063 000	10 354 936		6,40
	min. pr. hl.	630 000	625 291		0,75



Graf 1. Vývoj zanášania vodných nádrží od uvedenia do prevádzky do roku 2013



Graf 2. Hydrologické údaje VS Ružín za obdobie r. 1989 – august 2019



Graf 3. Hydrologické údaje VS Veľká Domaša za obdobie r. 1989 – august 2019

Tabuľka 3. Prehľad straty objemu nádrží vplyvom zanášania

VS	Celkový objem v m ³	
	Medziročná strata objemu v m ³ /km ² povodia	Priemerná medziročná strata (tis. m ³)
Bukovec	13,2	0,5
Ružín I	122,1	232,9
Zemplínska Šírava	172,6	267,9
Veľká Domaša	425,5	351,9
Starina	803,5	105
Palcmanová Maša	272,4	20,3

Tabuľka 4. Prehľad vyťažených sedimentov z priestoru MVN

Vodná stavba	Celkový objem (projektovaný)	Objem sedimentov	Rok výstavby	Rok čistenia
	m ³	m ³	–	–
Vyrovňavacia nádrž Dobšiná	229 000	14 581	1969	2006
Kanáš	138 000	11 676	1964	2004
Orechová	38 200	6 400	1962	2014
Vyšné Zbojné	187 000	14 833	1948	2006
Kľušov	72 188	24 507	1983	2006
N.Ruskov	84 885	405	1965	2011
Parchovany	28 000	1 056	1966	2013

dôsledku, ale už teraz môžeme konštatovať, že výpovedná hodnota správnosti nastavenia manipulácie v zmysle záverov odbornej štúdie vypracovanej VÚVH Bratislava v novembri 2013 bude výrazným spôsobom ovplyvnená a skreslená z dôvodu zásahov do manipulácie formou mimoriadnych rozhodnutí vodoprávneho orgánu v doterajšom priebehu roku 2019.

Celkový priebeh základných hydrologických údajov za hodnotené obdobie je znázornený v nasledujúcom grafe 3.

Vlastný proces zanášania akumuláčného priestoru vodných nádrží je možné zhrnúť do nasledovných aspektov: zanášanie priestoru transportom splavenín z horných úsekov spádového povodia, brehová abrázia a pri nádržiach s rozvinutou sukcesiou na konci vzdutia, aj proces opätovného zazemňovania priestoru odumretou biomasou.

V záujme zjednodušenia pre jednotlivé veľké vodné nádrže boli zaznamenané priemerné medziročné straty objemu uvedené v nasledujúcej tabuľke č.2. Pre zlepšenie aspoň hrubej miery prehľadu sme vykonali základné posúdenie v pomerných jednotkách t.j. priemerné množstvo nánosov za jeden rok pripadajúci na 1 km² spádového povodia.

Síce z predložených výsledkov uvedených v tabuľke č. 3 je najviac zaťažená splachmi vodárenská nádrž Starina, avšak berúc do úvahy skutočnosti, že okrem nultého podrobného zamerania objemov z roku 1990 podrobná aktualizácia robená nebola a pri spracovaní údajov sme vychádzali iba z orientačného batimetrického zamerania morfológie dna z roku 2016 realizovaného pri úrovni hladiny 334m n.m., tento údaj môžeme považovať za málo pravdepodobný. Berúc do úvahy túto anomáliu, v záverečnom hodnotení sme tento stav na nádrži nevyhodnocovali. Otázny je ale aj výsledok zistený v rámci stavu povodia akumuláčnej nádrže na Hnilci, nakoľko posledné merania objemov nádrže Palcmanová Maša tu boli vykonané v roku 1989.

Strata objemov malých vodných nádrží

Celkový počet malých vodných nádrží (MVN) (s objemom do 1 mil. m³) v pôsobnosti SVP š.p. OZ Košice je 43, pričom iba tri nádrže slúžia ako vyrovnávacie nádrže pre využitie hydroenergetického potenciálu. Jedna malá vodná nádrž zmenila svoju funkciu z akumuláčnej (dodávka vody pre vodný mlyn) na protipovodňovú (suchý polder). Ostatné nádrže boli vybudované za účelom akumulácie povrchovej vody pre možnosť zavlažovania poľnohospodársky využívaných plôch. V súčasnosti ale iba

jedna nádrž – Kľčov, túto funkciu aj reálne plní. Pre malé vodné nádrže je vo všeobecnosti možné konštatovať, že miera ich zanesenia v súčasnosti sa pohybuje od cca 6 % u bočných nádrží (napr. Záhradné, Bidovce) až po cca 75 % (Košické Oľšany, Hrčel) u údolných nádrží s povodím vykazujúcim intenzívne agrárne využívanie formou „veľko plošného hospodárenia“. V konečnom dôsledku je priemerná strata na objeme odhadovaná v súčasnosti na cca 38% projektovanej úrovne. V súčasnosti teda drvivá väčšina predmetných vodných stavieb funguje v režime prítok – odtok.

Funkcionalita jednotlivých vodných stavieb sa odzrkadľuje aj na nákladoch správcu spojených s odstraňovaním sedimentov. V tabuľke č. 4 je spracovaný celkový prehľad uvedených udržiavacích prác.

V tomto prípade sa ako najefektívnejšie riešenie osvedčilo budovanie sedimentačných prehrádzok na hlavných prítokoch situovaných nad priestorom stáleho nadržania.

Záver

Pre zlepšenie pripravenosti správcu vodných stavieb na novú celospoločenskú objednávku na vodu v súčasnosti je potrebné v podmienkach SVP š.p. OZ Košice obnoviť pravidelnú periodicitu meraní údolných profilov veľkých vodných nádrží. Pri malých nádržiach, nakoľko predmetné VS nemali zriadené referenčné údolné profily, je žiadúce využiť nové technológie (napr. batimetria) na zistenie ich skutočného disponibilného objemu, ktorý môže mať zásadný dosah na včasnú a pomerne finančne málo nákladnú reakciu pri adaptácii na dopady klimatických zmien.

Literatúra

- [1] Prevádzková dokumentácia správcu
- [2] MYDLA, Dušan, Božena PÍSEČNÁ a Ľubomír UHORŠČÁK. Prevádzkovanie vodných nádrží z pohľadu zmien od ich uvedenia do prevádzky. *Priehradne dni 2018*. Košice: SVP š.p. 2018
- [3] MYDLA, Dušan. Skúsenosti s vývojom reozno – sedimentačných procesov na východnom Slovensku. *Sedimenty vodných tokov a nádrží*. Košice: SVP š.p. 2019
- [4] MYDLA, Dušan, Eva KOLESÁROVÁ a Jana ROŽŇOVJAKOVÁ. VS Veľká Domaša – prevádzka vodnej nádrže v súčasnosti. *Manažment povodí a extrémne hydrologické javy 2019*. Košice: SVP š.p. 2019

STAV SEDIMENTOV VÝZNAMNÝCH VODNÝCH STAVIEB VÁHU

Andrej Šille, Michal Mičuda

*Slovenský vodohospodársky podnik, š.p., Odštepny závod Piešťany, Nábřežie Ivana Krasku 3, 921 80 Piešťany,
tel. +421 337 764 209, Andrej.Sille@svp.sk*

Abstrakt

Príspevok sa zaoberá zhodnotením súčasného stavu zanesenie významných vodných stavieb v povodí Váhu dnovými sedimentmi. Výsledky súčasných meraní sú konfrontované s údajmi dostupnými z obdobia výstavby. Opísané sú legislatívne procesy spojené s odstraňovaním a likvidáciou sedimentov na Slovensku.

Kľúčové slová: nádrže; sedimenty; Váh.

Abstract

The contribution deals with the evaluation of the current state of the clogging of significant water structures in the Váh river basin by bottom sediments. The results of current measurements are confronted with data available from the construction period. Described are legislative processes related to sediment removal and disposal in Slovakia.

Keywords: reservoirs; sediments; Váh river.

Úvod

Na vodnom toku Váh je vybudovaných niekoľko významných vodných stavieb (VS). Z hľadiska tvorby sedimentov sa v príspevku budeme venovať vodným stavbám Krpeľany, Hričov, Nosice, Drahovce a Kráľová. Vodné stavby Krpeľany, Hričov, Nosice a Drahovce sú súčasťou Vážskej kaskády, nachádzajú sa v severnej časti Slovenska, resp. na Považí. Okolie je tvorené svahovitým terénom, ktorý tvoria prevažne lesné porasty a poľnohospodársky využívaná pôda. Okolité svahovité terény, skladba podložia, nesprávne vykonávaná ťažba v lesoch, nerešpektovanie zásad agrotechnických postupov sú faktory, ktoré sa z veľkej časti podieľajú na zanášaní priestoru vodných nádrží. Vodná stavba Kráľová je umiestnená v rovinatome teréne v južnej časti Slovenska. Sedimentácia vodných zdrží, nádrží, ale aj vodných tokov je stále aktuálnym a dá sa povedať, že stále aj závažnejším problémom vodného hospodárstva na Slovensku. O problematike sucha a jeho častejších a výraznejších výskytov sa dnes už diskutuje prakticky vo všetkých odvetviach, ktoré sú akokoľvek naviazané na hospodárenie z vodou. Menšie rieky v suchých obdobiach často vysychajú, vytráca sa z nich život. Poľnohospodársky využívaná pôda dlhodobo trpí nedostatkom vody počas vegetačného obdobia, stáva sa tvrdým a popraskaným územím, pripomínajúcim oblasti, ktoré sa v našich zemepisných šírkach v minulosti nevyskytovali. Následné zrážky, často lokálne a intenzívne, sa následne len ťažko udržia v mieste ich dopadu. Okamžite sa vytvára povrchový odtok, ktorý so sebou dokáže odniesť v celku slušné množstvo ornice. Lesy trpia nedostatkom podzemnej vody, ktorá je silne previazaná s tou povrchovou. V neposlednom rade sedimentácia nepriaznivo ovplyvňuje problematiku protipovodňovej ochrany.

Či už ide o znižovanie prietochného profilu vodných tokov alebo znižovanie stáleho objemu nádrží. Pre podmienky povodia Váhu sa pozrieme na nádrže, ktoré sú z pohľadu sedimentácie zaujímavé, je k nim dostupný rad zameraní, na ktorom môžeme pozorovať vývoj zanášania a tiež práce vykonávané na zmiernenie následkov sedimentácie.

Stav sedimentov na vodnej stavbe Krpeľany

Vodná stavba Krpeľany bola vybudovaná v rokoch 1952–1957, je súčasťou tzv. Horno-vážskej kaskády a pozostáva celkovo z 3 stupňov: Krpeľany – Sučany – Lipovec. Primárnym účelom všetkých spomínaných stavieb je využitie hydroenergetického potenciálu v úseku medzi Kľačanmi a Lipovcom. Sekundárne slúžia na zníženie prietokov veľkých vôd v koryte Váhu a priláhanie úseku. Celkový projektovaný objem vodnej stavby Krpeľany je 8,33 mil. m³. Hať vodnej stavby Krpeľany je umiestnená v rkm 294,250. VS Krpeľany sa nachádza pod sútokom Váhu s Oravou, kde sa môže vyskytnúť zvýšená miera zanášania a jej proces je značne ovplyvnená režimom prúdenia v dôsledku prevádzky vodných nádrží Orava a Liptovská Mara, resp. ich vyrovnávacích nádrží Tvrdošín a Bešeňová. [1]

So sledovaním procesu zanášania VS Krpeľany sa začalo v roku 1960. Zameranie z roku 1961 ukázalo, že od spustenia vodnej stavby do prevádzky sa v nej usadilo približne 250 tis. m³ sedimentov (t.j. 3% z celkového objemu zdrže). Do roku 1967, v ktorom sa vykonalo ďalšie zameranie, sa objem usadenín zvýšil na 1,8 mil. m³ a miera zanesenia na takmer 22% z celkového objemu zdrže. Priemerný ročný prírastok sedimentov v rokoch 1957–1967 predstavoval cca 180 tis. m³.rok⁻¹. Toto obdobie považujeme za prvé intenzívne zanášanie zdrže. Obdobie intenzívneho zanášania z prvých rokov prevádzky stavby bolo vystriedané obdobím miernejšieho zanášania, ktoré bolo pozorované do roku 1976 a ukázalo, že množstvo sedimentov sa od roku 1967 zvýšilo o cca 400 tis. m³ na celkových 2,2 mil. m³ (t.j. cca 27% z celkového objemu zdrže). V tomto období sa priemerný ročný prírastok sedimentov znížil na približne 44 tis. m³.rok⁻¹. Po vyhodnotení procesu zanášania v roku 1976 bolo konštatované, že po dosiahnutí určitého stupňa zanesenia a hydraulické stabilizácie nových prietokových pomerov v nádrži výrazne klesá intenzita procesu zanášania zdrže [2]. Toto konštatovanie podporoval aj fakt, že v roku 1975 bolo do prevádzky uvedené vyššie položené vodné dielo Liptovská Mara [3]. Ďalšie zameranie sa uskutočnilo až po 16 rokoch, v roku 1992. Prekvapivým výsledkom bol nárast množstva sedimentov o viac než 2,6 mil. m³ na celkových 4,8 mil. m³ (t.j. cca 58% z celkového objemu zdrže). Priemerný ročný prírastok sedimentov sa zvýšil na cca 163 tis. m³.rok⁻¹. K výrazným stratám na stálom a úžitkovom priestore došlo aj napriek tomu, že v rokoch 1981–1992 bolo zo zdrže vyťažených približne 870 tis. m³ sedimentov. Predpoklad poklesu intenzity zanášania sa nepotvrdil, naopak, došlo k ďalšej prudkej akcelerácii procesu zanášania [3]. Zaujímavosťou je, že v rokoch 1976–1992 sa vyššie prietoky, ktoré sú pre prísun sedimentov rozhodujúce, vyskytli iba zriedkavo. Z hľadiska zrážkovo – odtokového môžeme roky 1976–1992

hodnotiť skôr ako deficitné. Pod výrazný prísun sedimentov do priestorov zdrže sa tak pravdepodobne podpísali sanačné práce a priebežné preplachovanie vodného diela Orava – Tvrdošín počas revízie v rokoch 1990–1991 [2]. Roky 1992–1998 predstavovali opätovný pokles intenzity zanášania a do priestorov zdrže pribudlo približne 176 tis. m³ sedimentov a celkové zanesenie dosiahlo cca 5,0 mil. m³ (t.j. cca 60 % z celkového objemu). Posledné dostupné zameranie je z roku 2016. Jeho vyhodnotenie potvrdilo klesajúci trend zanášania. Od roku 1998 do roku 2016 do priestorov zdrže pribudlo približne 300 tis. m³ sedimentov, čo predstavuje nárast kumulovaného objemu zanesenia o ďalšie 4 % na 5,3 mil. m³ sedimentov (t.j. takmer 65 % z celkového objemu) [2][4].

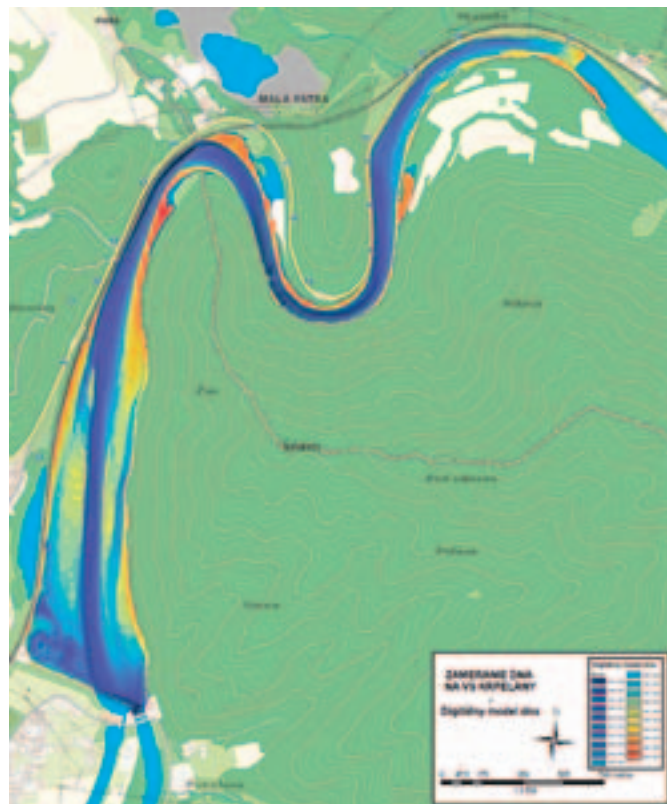
Vzhľadom k takémuto výraznému zanášanju zdrže bolo potrebné vykonať opatrenia v podobe ťažby a uskladňovania materiálu. Prvá ťažba začala v roku 1981, a to pomocou plávajúceho korčiekového bagra. Vyťažný materiál sa uskladňoval na provizórnu skládku pri zemnej hrádzi, kam sa presúval za pomoci 2 ks samovýšpných pramíc. Súčasne sa vykonával aj rozvoz sedimentov nákladnými autami na pokusné políčka a zavážala sa časť mŕtveho ramena Váhu v obci Krpeľany. Ťažba za pomoci korčiekového bagra pokračovala až do roku 1991, menil sa však spôsob presunu a skladovania sedimentov. V rokoch 1983–1988 prepravovali nánosy pomocou tlačných remorkérov a dnových samovýšpných člnov, nánosy vtedy ukladali na skládku pod hrádzou. V 1989–1991 bol presun vyťažného materiálu zabezpečený pomocou výšpných kontajnerov na skládku pri Váhu. Od roku 1992 bolo nutné realizovať ťažbu cez teleso hrázde, prebiehala totiž príprava a montáž novej technológie na ťažbu sacím bagrom a potrubím TDS – Putzmeister. So samotnou ťažbou pomocou novej technológie sa začalo v roku 1997. Ťažba sa realizovala pomocou tlakovej dopravnej stanice a presun sedimentov cez potrubie s priemerom 125 mm s dĺžkou približne 1 500 m na pripravené medzisklárky na pravom brehu Váhu [2]. Ťažba pokračovala do roku 2002. Po zistení, že prísun do materiálu do zdrže je vyšší ako kapacita sacích zariadení sa od ťažby upustilo. Po ukončení ťažby a ďalšieho nárastu zanesenia sa v zdrži vytvoril kvázi rovnovážny stav zanesenia a výraznejšiu sedimentáciu pozorujeme najmä pred objektami vodnej stavby. [6]

Problematiku zanášania zdrže a možnosti udržiavania priestorov zdrže preplachovaním riešili vodohospodári už v štádiu prípravy projektu. Zdrž sa mala preplachovať pravidelne pri vyšších prietokoch, pri prietoku nad 500 m³.s⁻¹, prepúšťaním prietokov cez hať pri vyhradených hradidlách. Z uvedeného vyplýva, že



Obrázok 1. Sedimenty pred hrablicami vodnej elektrárne vodnej stavby Krpeľany

existovala snaha udržať projektované objemy zdrže preplachovaním niekoľko dní trvajúcimi vyššími prietokmi a pripúšťal sa aj pokles hladiny pri preplachovaní pod minimálnu hladinu. Takáto manipulácia sa však neuskutočňovala z dôvodov výrazných strát na výkone a výrobe elektrickej energie [3]. V súčasnosti sa odstránenie sedimentov z problémových oblastí zdrže realizuje preplachom podľa manipulačného poriadku pri prietoku cca 500 m³.s⁻¹. Takéto preplachovanie sa odporúča minimálne jedenkrát ročne za vhodných hydrologických podmienok [1].



Obrázok 2. Vyhodnotenie digitálneho modelu dna vodnej stavby Krpeľany, HELICOP, s.r.o., 2016

Stav sedimentov na vodnej stavbe Hričov

Vodnú stavbu Hričov uviedli do prevádzky v roku 1962, je súčasťou kaskády troch stupňov: Hričov – Mikšová – Považská Bystrica a primárnym účelom je využívanie hydroenergetického potenciálu v úseku medzi VS Žilina a VS Nosice. Celkový projektovaný objem zdrže je 8,467 mil. m³, hať vodnej stavby je postavená v rkm 245,000 [7]. Zdrž je z pohľadu sedimentov trvale pod vplyvom zanášania z Váhu, z flyšovej oblasti povodia Kysuce a pred vybudovaním vodného diela Žilina aj toku Varínka a ostatných pravostranných prítokov Váhu.

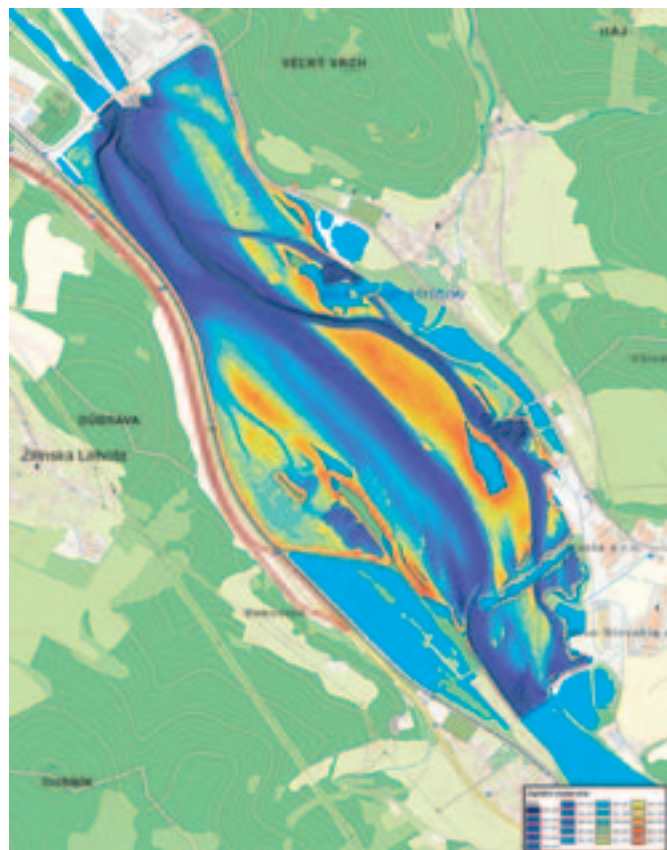
Tvorba sedimentov bola najvýraznejšia počas prvých siedmich rokov od spustenia do prevádzky (do roku 1969), počas ktorých bol približný ročný prísun nánosov 268 tis. m³.rok⁻¹. Neskôr sledujeme pokles intenzity zanášania. V rokoch 1969 až 1988 predstavoval približný priemerný ročný prísun sedimentov do priestorov zdrže 43 tis. m³.rok⁻¹. V roku 1988, pred vykonaním revízie na vodnej stavbe, bol celkový objem nánosov vo VS Hričov 2,69 mil. m³, čo predstavuje takmer 32% celkového projektovaného objemu zdrže. Po ukončení revízie sa po roku 1989 opätovne zvýšila intenzita zanášania zdrže na približný ročný prísun sedimentov 88 tis. m³.rok⁻¹ a tento stav trval až približne do roku

2000 [8]. Objem sedimentov sa zvýšil na celkových 3,06 mil. m³, t.j. viac ako 36% celkového projektovaného objemu zdrže. V roku 2002, po vykonaní revízie Stredno-vážskej kaskády, sa podarilo znížiť podiel zanesenia nádrže na úroveň približne 25%. V roku 2016 vykonala spoločnosť HELICOP, s.r.o. pre SVP, š.p. doposiaľ posledné zameranie zdrže. Z vykonaných meraní bola vynesená krivka objemov maximálne pri kóte 325,00 m n.m. (max. prevádzková hladina podľa manipulačného poriadku – 326,10 m n.m.). Z krivky je možné odčítať objem nádrže necelé 3 mil. m³. Vzhľadom k tomu, že meranie nebolo možné vykonať na celej dĺžke vzdutia, nie je možné výsledky konfrontovať s údajmi z projektovej dokumentácie. Pri meraní sa zistilo, že výška sedimentov sa pohybuje v rozmedzí od 0 (v mieste pôvodného koryta) až po cca 3,5 metra v priestoroch hlavnej nádrže, kde dochádza k sedimentácii a nebola vykonaná ťažba materiálu. V priemer dosahuje výška nánosov na celej ploche zdrže cca 1,4 m [9].

Výrazná sedimentácia od začiatku prevádzkovania vodnej stavby podnietila prevádzkovateľa k začatiu regulačného bagrovania v roku 1968, keďže sa už pri znížených prevádzkových hladinách objavovali rozsiahle plochy nánosov. Ťažbu vykonával prevádzkovateľ za pomoci korčekového bagra, 5-článkovej transportnej plávajúcej trasy a vlečného remorkéra. Regulačná ťažba sa koncom 60-tych a počas 70-tych rokov sústreďovala na strednú časť nádrže pozdĺž pravého brehu. Vyťažené sedimenty boli deponované na pobrežných pozemkoch a po „odtečení“ boli využívané na terénne úpravy okolia zdrže a prebytok odoberali odberatelia ako zásypový materiál. Na začiatku 80-tych rokov sa ťažba presunula do hornej časti zdrže. VÚVH Bratislava navrhol na základe modelu usmernenie sedimentácie k pravej strane nádrže. Riešením bolo vybudovanie kamennej ponornej usmerňovacej hrádze od ľavého brehu smerom k pravému. Samotná realizácia hrádze prebehla počas revízie v roku 1988 [10]. V roku 2002 prebehla ďalšia plánovaná revízia zdrže, počas ktorej bola zdrž vypustená 72 dní. Prázdnenie bolo realizované pri udržiavaní hladiny na kóte 322,0 m n.m. a postupným odplavovaním nánosov pred haťovými poľami sa podarilo sprietočniť upravenú časť koryta v zdrži. V priebehu revízie bolo vykonané aj zameranie zdrže, ktorého výsledky spracoval VÚVH Bratislava [11].



Obrázok 3. Letecká snímka na vypustenú zdrž Hričov, vyerodované riečište Váhu pred haťou



Obrázok 4. Vyhodnotenie digitálneho modelu vodnej stavby Hričov, HELICOP, s.r.o., 2016



Obrázok 5. Záber na vodnú stavbu Hričov počas revízie, september 2019

Stav sedimentov na vodnej stavbe Nosice

S plnením vodnej stavby Nosice sa začalo v decembri 1956. Teleso priehradného múru je umiestnené v rkm 207,70 a zadržaná voda je využívaná primárne na výroby elektrickej energie. Sekundárnym využitím stavby je čiastočné zníženie maximálneho povodňového prietoku na Váhu, vyrovnanie zvýšených prietokov z kaskády Hričov – Mikšová – Považská Bystrica a pod. Celkový projektovaný objem nádrže je 35,9 mil. m³ pri maximálnej prevádzkovej kóte 279,60 m n.m. [12].

Po jedenástich rokoch od začiatku napúšťania nádrže sa v roku 1967 vykonalo zameranie, ktoré slúžilo na zistenie kvantitatívnych zmien v nádrži a ukázalo, že prísun sedimentov za toto

obdobie činil bez mála 1 mil. m³ (približne 3% projektovaného objemu). Ďalšie zameranie sa uskutočnilo v roku 1976. Meranie, rovnako ako to predchádzajúce, využívalo pôvodnú geometrickú sieť pozostávajúcu z 21 priečných profilov. Toto zameranie naznačilo, že v oblasti obce Udiča sa v nádrži vytvorila mohutná štrková lavica. Preto v roku 1976 došlo k zahutneniu priečných profilov v tejto oblasti. Za účelom podrobnejšieho zmapovania rozmiestnenia nánosov v tejto oblasti nádrže narástol pôvodný počet profilov na 41. Z vyhodnotenia zamerania vyplýva, že miera zanesenia stúpla o viac než 8,5% z projektovaného objemu nádrže na celkových 11,4%. Objem sedimentov v nádrži v roku 1976 bol 4,1 mil. m³. Zahutnenie profilov sa neskôr ukázalo ako nepostačujúce a v roku 1982 bol zvýšený ich počet na 102 profilov, ktoré sú pomerne rovnomerne rozmiestnené od priehradného múru až po most v Považskej Bystrici. Zameranie v roku 1982 už teda prebehlo na obnovení siete priečných profilov, jeho výsledky preto nie sú homogénne s predchádzajúcimi meraniami. Porovnanie je možné s projektovaným stavom. Do roku 1982 narástol objem nánosov na 6,4 mil. m³. Toto číslo predstavuje 17,9% zanesenie v porovnaní s projektovaným stavom. Z vyhodnotení vyplýva, že najintenzívnejšie zanášanie v rokoch 1976–1982. Táto skutočnosť viedla k návrhu technických opatrení, ktorými sa sledovala úprava podmienok trčenia v nádrži takým spôsobom, aby sa ťažisko sedimentácie sústredilo do hlbších častí nádrže. Z tohto dôvodu sa pristúpilo k výstavbe usmerňovacej hrádze (od roku 1983). Tá bola budovaná z vyťaženého materiálu z nádrže v časti nádrže v blízkosti obce Udiča (mala slúžiť aj na zlepšenie kvality vody v tejto oblasti), prerušená bola v oblasti zaústenia pravostranného prítoku do nádrže – potoka Maríková. Z dôvodu zhodnotenia účinnosti vybudovanej usmerňovacej hrádze bolo v roku 1992 vykonané ďalšie zameranie. Tým sa zistil nárast objemu nánosov na celkových 8,05 mil. m³ – 22,4% z celkového projektovaného objemu nádrže [13]. Posledné dostupné zameranie zabezpečila spoločnosť HELICOP, s.r.o. v roku 2018. Hodnoty objemov boli vypočítané v softwarovom prostredí ArcGIS a výsledky ukazujú, že objem nádrže pri maximálnej prevádzkovej hladine predstavuje necelých 23,5 mil. m³. Konštatujeme zníženie objemu nádrže v porovnaní s projektovaným stavom o 12,4 mil. m³. Celkové zanesenie v percentuálnom vyjadrení je 34,5% [14].

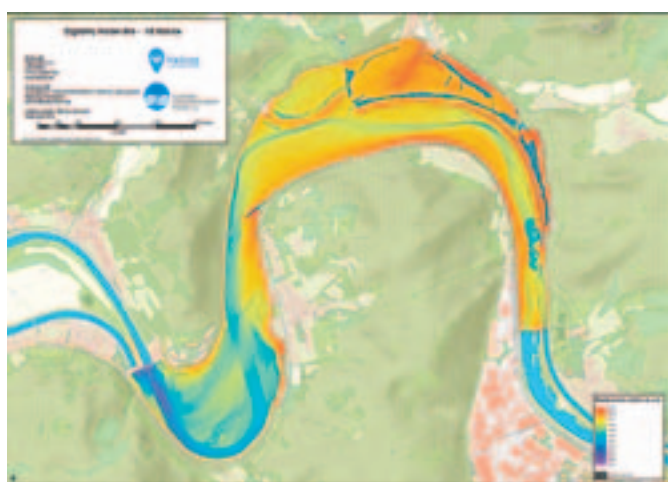
Od roku 1999 Slovenský vodohospodársky podnik, š.p. vykonával do roku 2014 regulačnú ťažbu z priestorov nádrže v objeme približne 25–30 tis. m³ ročne. Od roku 2014 zabezpečuje regulačnú ťažbu súkromná spoločnosť, takže sa dá predpokladať, že množstvo odťažených nánosov narástlo.

Stav sedimentov na vodnej stavbe Drahovce

Vodná stavba Drahovce bola uvedená do prevádzky v roku 1960. Je súčasťou vodného diela Madunice – Drahovce. Hať Drahovce, ktorá je vybudovaná v rkm 113,4000, vytvára zdrž Slňava s maximálnou prevádzkovou hladinou na úrovni 158,10 m n.m.



Obrázok 6. Pohľad na usmerňovaciu hrádzu v oblasti zaústenia vodného toku Maríková



Obrázok 7. Vyhodnotenie digitálneho modelu dna vodnej stavby Nosice, HELICOP, s.r.o., 2018

a celkovo zadržiava 12,5 mil. m³ vody. Vodnou stavbou je možné využiť hydroenergetický potenciál Váhu na výrobu elektrickej energie, odoberať povrchovú vodu pre rôzne účely a zabezpečiť tiež rekreačnú plavbu v tomto úseku [15].

K vodnej stavbe Drahovce sú k dispozícii údaje z vykonanej revízie z roku 2007. Počas nej sa v priestoroch zdrže Slňava, ako aj na samotnom telese hate vykonávali rôzne sanačné a zabezpečovacie práce. Odstraňovanie sedimentov v rámci revízie sa realizovalo z priestoru pred haťou Drahovce, najmä v okolí hrubých hrablic. Plánovaná bola aj ťažba sedimentov pred haťovým poľom č. 6. Počas revízie sa vyskytli zvýšené prietoky, ktoré spôsobili silné

Tabuľka 1. Vývoj sedimentov vodnej stavby Nosice

Rok	Nárast sedimentov [m ³]	Kumulované množstvo sedimentov [m ³]	Objem nádrže [m ³]
1957	–	–	35 900 000
1967	999 943	999 943	34 900 057
1976	3 100 505	4 100 448	31 799 552
1982	2 338 424	6 438 872	29 461 128
1992	1 615 728	8 054 600	27 845 400
2018	4 362 704	12 417 304	23 482 696

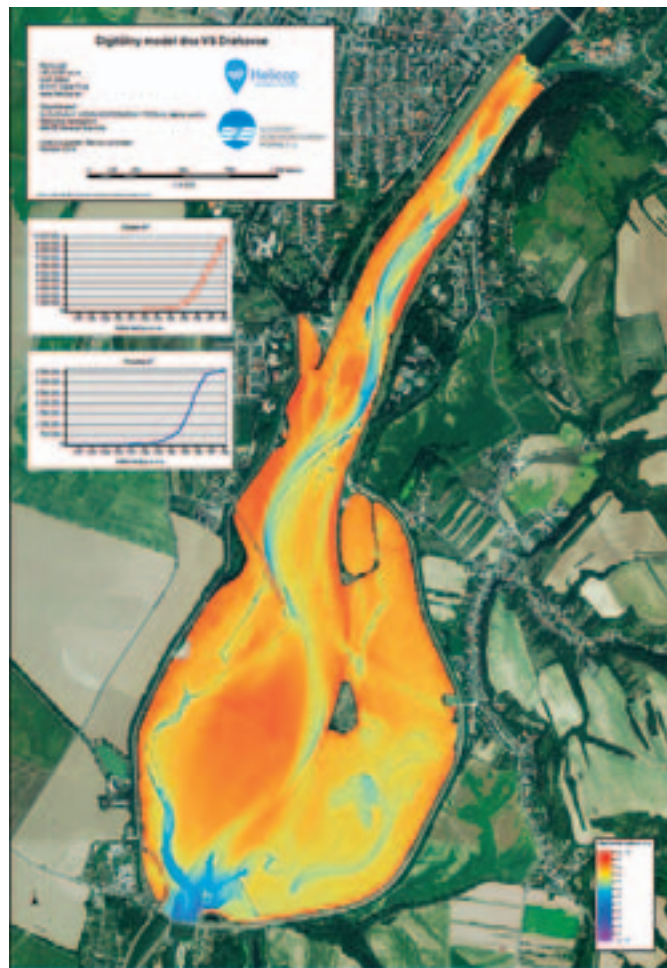
prúdenie v starom koryte Váhu, ktoré vyúsťuje práve pod haťové pole č. 6. Po znížení prietokov sa predpokladané zvýšené nánosy neobjavili – pravdepodobne boli strnuté pri zvýšených prietokoch cez hať. V šírke haťových polí č. 1 a 2 sa vytvorila rozsiahla štrková lavica, ktorá bola čiastočne odťažená. V priestoroch zdrže Sĺňava sa v projektovej dokumentácii revízie uvažovalo s odťažením 10,3 tis. m³ nánosov. Keďže počas revízie panovalo daždivé počasie, práce spomaľovali mokré nánosy. Kvôli pretrvávajúcim problémom s počasím pracovníci pristúpili k ťažbe sedimentov na úseku pred vtokom do Lodenice. V prvej fáze mechanizmy presúvali nánosy bližšie k brehu odkiaľ ich po preschnutí bolo možné odviezť. Z tejto lokality bolo odťažených 4850 m³ sedimentov. Podľa štúdie Ing. I. Brachtla z roku 1981 – Výskum zanášania vybranej nádrže bolo v rokoch 1961–1978 vyťažených z priestorov zdrže celkovo 809 tis m³ materiálu. Počas prechodu veľkých vôd dochádza v oblasti konce vzdutia zdrže k pohybu splavenín. K najvýraznejšej sedimentácii dochádza v úseku vyústenia obtokového kanála do zdrže, v oblasti Krajinského mosta, ale najmä pod Kolonádovým mostom, čo spôsobuje zvyšovanie hladiny a tým zvyšuje ohrozenie mesta Piešťany a Kúpeľného ostrova v čase povodní. V roku 2006 boli zamerané sedimenty v úseku Kolonádový most – vyústenie odpadového kanála do Váhu v množstve 53 tis. m³. Nánosy boli zistené aj v úseku medzi Kolonádovým mostom a Krajinským mostom v množstve 15 tis. m³. Pre uvoľnenie prietočného profilu nad Kolonádovým mostom sa uvažovalo s vyťažením 2,4 tis. m³ sedimentov. Vyššie prietoky vo Váhu zapríčinili väčšiu hĺbku vody pod mostom a nebolo možné pristúpiť k ťažbe sedimentov. V oblasti Dolnej hati sa v rámci revízie odťažilo 4,7 tis. m³ sedimentov, ktoré obmedzovali a sťažovali manipuláciu s klapkami [16].

Revíziu v konečnom dôsledku výrazne skomplikovalo a obmedzilo počasie, ktoré znemožňovalo či už prístup k samotným nánosom, alebo ich ťažbu, keďže boli neustále silne zavodnené. Môžeme však konštatovať, že sa podarilo odstrániť nánosy z kritických miest a zabezpečiť plynulú a bezpečnú prevádzku vodnej stavby.

Dostupné komplexné zameranie vodnej stavby je z roku 2018 a vykonala ho spoločnosť HELICOP, s.r.o. pre SVP, š.p. Zameranie konštatuje celkový objem nádrže pri maximálnej prevádzkovej hladine 9,9 mil. m³. Ide o pokles stáleho objemu o 2,6 mil. m³ v porovnaní s projektovaným stavom (strata objemu v percentuálnom vyjadrení – 20,8%) [17].



Obrázok 8. Letecká snímka vodnej stavby Drahovce a zdrže Sĺňava počas revízie v roku 2007



Obrázok 9. Vyhodnotenie digitálneho modelu dna zdrže Sĺňava, HELICOP, s.r.o., 2018

Stav sedimentov na vodnej stavbe Kráľová

Vodná stavba Kráľová bola uvedená do prevádzky v roku 1985. Teleso hrádze je vybudované v rkm 63,150 a vodnou stavbou vzdutá voda je využívaná na výrobu elektrickej energie, zabezpečenie vody pre veľkoplošné závlahy a taktiež slúži pri zvýšených prietokoch na zmiernenie následkov povodní. Celkový projektovaný objem zdrže pri maximálnej prevádzkovej kóte (124 m n.m.) predstavuje 65,47 mil. m³. Vodná stavba Kráľová je situovaná v rovinnatom teréne a prakticky celý objem zdrže je nad úrovňou okolitého terénu. Na zachytenie objemu vody boli vybudované obvodové hrádze, ktoré sú sypané z miestnych materiálov [18].

Vzhľadom k tomu, že počas bežných prevádzkových stavov a ani pri znížených hladinách v zdrži neboli pozorované výraznejšie známky sedimentácie, prvé zameranie dna zdrže bolo vykonané až v roku 1996. Zameraním sa zistilo, že nánosy v priestoroch zdrže sú, vzhľadom k celkovému objemu, len mierne a nebolo potrebné venovať im výraznejšiu pozornosť. Napriek tomu sa v roku 2000 pristúpilo k úplnému vypusteniu nádrže. Týmto vypustením bolo možné podrobne preveriť mieru zanesenia nádrže ako aj vykonať kontrolu objektov trvale zaplavených vodou. Počas vypustenia bolo potrebné v malom množstve odstrániť sedimenty z odberných objektov pre závlah a vykonať čistenie hrubých hrabíc od naplavených nečistôt a väčších priplavených objektov. Pri vypustení bolo možné konštatovať, že teleso obvodových hrádzi je stabilné, na návodnej strane len s minimálnym množstvom nánosov v podobe jemných kalov. Výraznejšie zanesenie bolo

pozorované len v pôvodnom koryte Váhu vo forme hlinito-piesčitých sedimentov v mocnosti do jedného metra, najmä v hornej polovici zdrže. V rámci vypustenia zdrže sa pristúpilo k vyťaženiu štrkových nánosov na konci vzdutia pod cestným mostom v Sereďi v objeme približne 15 tis. m³. Následné vypustenie zdrže v roku 2011 preukázalo, rovnako ako kontrolné zameranie počas prevádzky z roku 2008, že stav sedimentov v priestoroch zdrže je stabilný a môžeme konštatovať, že zodpovedá situovaniu vodnej stavby Kráľová na najnižšom stupni kaskády. Najbližšie zameranie dna zdrže je plánované na rok 2020 a prípadné odťaženie zistených sedimentov bude realizované v rámci pripravovaného vypustenia zdrže v roku 2021.

Zhodnotenie a záver

V závere môžeme konštatovať, že miera zanesenia nádrží na najväčšej slovenskej rieke Váh je značná. S výnimkou vodnej stavby Kráľová sa úroveň zanesenia pohybuje na úrovni 20% a viac. V extrémnom prípade akým je vodná stavba Krpeľany je to až 65% z projektovaného objemu. Vzhľadom k skutočnosti, že množstvá sedimentov sa pohybujú rádovo v miliónoch m³ je na stole otázka ako s takýmto množstvom materiálu naložiť. Súčasná legislatíva je z pohľadu nakladania s dnovými sedimentmi nastavená prísne a zapracovanie vyťažených sedimentov na poľnohospodársku pôdu alebo ich využitie na iné účely je veľmi obtiažne. Zákon č. 188/2003 Z.z. v znení neskorších predpisov [19] definuje množstvo podmienok, ktoré musí vyťažený dnový sediment spĺňať, aby bolo možné nakladanie s ním. Najobtiažnejšie splniteľným kritériom sa praxe ukázalo dodržanie minimálne 18% podielu organických látok v sušine. Táto podmienka je v zákone ukotvená najmä preto, aby zapracovaný materiál nespôsobil zníženie kvality pôdy v porovnaní s počiatočným stavom. Rozbory odoberaných vzoriek dnových sedimentov, či už z vodných tokov, alebo z vodných nádrží vykazujú priemerný podiel organických látok v sušine na úrovni 5%. Limitné hodnoty nebezpečných látok, ťažkých kovov, úrovne pH a podobne sú

takmer vo všetkých prípadoch splnené. K dnovým sedimentom je z uvedeného dôvodu nutné pristupovať ako k odpadu a zabezpečiť jeho bezpečné uskladnenie. Ďalšími problémami, ktoré ako vodohospodári na Slovensku intenzívne vnímame, sú nerešpektovanie zákona č. 220/2004 Z.z. v znení neskorších predpisov [20], ktorý definuje povinnosti vlastníka alebo užívateľa poľnohospodárskej pôdy na ochranu pôdy pred účinkami veternej a vodnej erózie a nerešpektovanie zákona č. 326/2006 Z.z. v znení neskorších predpisov [21], v ktorom sú definované povinnosti obhospodarovateľa lesa a nákupcu dreva na ochranu lesnej pôdy proti vodnej erózii. Zmierňujúce opatrenia mimo vodných tokov môžu napomôcť k zníženiu zanášania vodných nádrží, neustáleho zmenšovania stálych a úžitkových priestorov a v neposlednom rade znížiť náklady na neustále odstraňovanie sedimentov, keďže ako správca vodných tokov je Slovenský vodohospodársky podnik, š.p. povinný zabezpečiť odstraňovanie nánosov tak, aby neohrozovali plynulý odtok vôd [22], a tým neohrozovali obyvateľov účinkami povodňových prietokov.

Pretrvávajúce a opakujúce sa absencie dlhodobých dažďov z miernou intenzitou musí rozprúdiť debatu o potrebe zadržiavania vody v mieste dopadu a jej následné rozdeľovanie v čase a priestore. Pre takéto hospodárenie potrebujeme dostatočný priestor na vytvorenie zásob vody. Údaje, ktoré sa uvádzajú v štatistikách už nezodpovedajú reálnemu stavu. Sedimentáciou prichádzame o obrovské zásobné priestory a musíme si uvedomiť, že nevyužitý priestor v nádržiach nám môže v časoch nedostatku výrazne chýbať. Rovnako je potrebné opäť diskutovať o potrebe výstavby nových vodných nádrží.

Podakovanie

Podakovanie patrí pracovníkom Správ Odštepného závodu Piešťany, ktorí svojím aktívnym prístupom, ochotou, skúsenosťami a vedomosťami prispeli výraznou mierou k vypracovaniu tohto príspevku.



Obrázok 10. Pohľad na koryto Váhu vo vodnej stavbe Kráľová počas revízie v roku 2011

Literatúra

- [1] Manipulačný poriadok pre vodný stavbu Krpeľany – Sučany – Lipovec na rieke Váh od km. 294,250 (Krpeľany) po km. 275,500 (sútok odpadového kanála VE Lipovec s Váhom). Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik, Banská Štiavnica, Odštepny závod Piešťany, Správa povodia horného Váhu Ružomberok, 2014
- [2] Čuban, R.: Sedimenty vo vzťahu k zmene objemu VN Krpeľany. In: *Sedimenty vodných tokov a nádrží, Zborník prednášok z VIII. Konferencie s medzinárodnou účasťou*, Bratislava, Bratislava 17.–18. máj 2017. Vyd. Slovenská vodohospodárska spoločnosť pri Výskumnom ústave vodného hospodárstva v Bratislave, s. 143–146, ISBN 978-80-89740-13-0
- [3] GEMERAN, Daniel. Odstraňovanie sedimentov z nádrží vodných diel 2. VD Krpeľany. Bratislava: Hydromedia, 1997
- [4] HOLIČ, Rastislav: Zameranie dna a prieskum sedimentov na VS Krpeľany, Technická správa, GeoTime, s.r.o., s. 6 a 12, 2016
- [5] MIČUDA, Michal, Andrej ŠILLE. Problematika sedimentov očami prevádzkovateľa vodných stavieb a vodných tokov na území OZ Piešťany – história – súčasnosť. In: *Sedimenty vodných tokov a nádrží, Zborník prednášok z IX. Konferencie s medzinárodnou účasťou, Šamorín-Čilistov, Šamorín-Čilistov 22.–23. mája 2019*. Vyd. Slovenská vodohospodárska spoločnosť pri Výskumnom ústave vodného hospodárstva v Bratislave, s. 37–48, ISBN 978-80-89740-21-5
- [6] CHLAPÍK, Dušan. Technické správa zámeru tlakovej dopravy sedimentov na VN Krpeľany, s. 2, 1991
- [7] Manipulačný poriadok pre vodné stavby Hričov – Mikšová – Považská Bystrica. Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik, Banská Štiavnica, Odštepny závod Piešťany, Správa povodia stredného Váhu I. Nimnica, 2015
- [8] LUKÁČ, Miroslav, Zuzana Capeková. Modelové posúdenie protipovodňovej ochrany a transportu sedimentov v oblasti nádrže Hričov. In: *40 rokov prevádzky Stredno-Vážskej kaskády Hričov – Mikšová – Považská Bystrica. Zborník príspevkov, Nimnica, Nimnica 9.–10. novembra 2004*. Vyd. Trenčín: Pobočka Slovenskej energetickej vedeckotechnickej spoločnosti pri SE-VE, 2004. Piešťany. Pobočka Slovenskej vodohospodárskej spoločnosti pri SVP, š.p. OZ Piešťany, 2004, s. 161–163.
- [9] HALINÁR, M.: Zameranie dna a prieskum sedimentov na VS Hričov, Technická správa, HELICOP, s.r.o., s. 6 a 12, 2016
- [10] FILADELFI, Pavol. Regulačná ťažba vo vodnej nádrži Hričov. In: *XXX. Priehradné dni 2006: Zborník príspevkov konferencie s medzinárodnou účasťou pod záštitou ministra životného prostredia SR László Miklósa a s podporou Medzinárodného višegradskeho fondu*, Piešťany, 23.–25. mája 2006. Vyd. Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik, Odštepny závod Piešťany, pobočka SVHS, s. 295–297
- [11] FILADELFI, Pavol. Skúsenosti a poznatky z prevádzky na hati Hričov. In: *40 rokov prevádzky Stredno-Vážskej kaskády Hričov – Mikšová – Považská Bystrica. Zborník príspevkov, Nimnica, Nimnica 9.–10. novembra 2004*. Vyd. Trenčín: Pobočka Slovenskej energetickej vedeckotechnickej spoločnosti pri SE-VE, 2004. Piešťany. Pobočka Slovenskej vodohospodárskej spoločnosti pri SVP, š.p. OZ Piešťany, 2004, s.167–169
- [12] Manipulačný poriadok pre vodnú stavbu Nosice. Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik, Banská Štiavnica, Odštepny závod Piešťany. 2013
- [13] HOLUBOVÁ, Katarína, Jelica, Klúčovská. *Výskum účinnosti usmerenej sedimentácie v nádrži Nosice z hľadiska prúdenia vody, kvality a kvantity sedimentov, Záverečná správa etapy 05*. Bratislava, 1993, s. 2–10.
- [14] HALINÁR, M.: Zameranie brehov a dna VS Nosice, Technická správa, HELICOP, s.r.o. s. 11, 2018
- [15] Manipulačný poriadok pre vodné stavby Drahovce – Madunice. Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik, Odštepny závod Piešťany, Správa povodia stredného Váhu II. Piešťany, 2010
- [16] Zhodnotenie revízie na vodnej stavbe Drahovce – Madunice z roku 2007.
- [17] HALINÁR, M.: Zameranie brehov a dna VS Drahovce, Technická správa, HELICOP, s.r.o. s. 11, 2018
- [18] Manipulačný poriadok pre vodnú stavbu Vodné dielo Kráľová.
- [19] Zákon č. 188/2003 Z.z. Zákon o aplikácii čistiarenského kalu a dno-vých sedimentov v znení neskorších predpisov
- [20] Zákon č. 220/2004 Z.z. Zákon o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy v znení neskorších predpisov
- [21] Zákon č. 326/2005 Z.z. Zákon o lesoch v znení neskorších predpisov
- [22] Zákon č. 364/2004 Z.z. Zákon o vodách v znení neskorších predpisov

EMISE DUSÍKU A FOSFORU V ZÁVISLOSTI NA VELIKOSTI OBCE, TYPU VODOHOSPODÁŘSKÉ INFRASTRUKTURY A PRŮTOKU

Daniel Fiala, Anna Kólová, Lenka Matoušová, Pavel Rosendorf, Lada Stejskalová, Miroslav Váňa

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Podbabská 30, 160 62 Praha 6,
tel. +420 221 197 348, daniel.fiala@vuv.cz

Abstrakt

V letech 2017 až 2019 jsme sledovali produkci hlavních živin (C, N a P) z bodových zdrojů v povodí VN Švihov a jejich transformaci ve vodních ekosystémech. V prvním roce jsme z devatenácti obcí lišících se velikostí (15.000 – 60 obyvatel) a typem vodohospodářské infrastruktury (VK vs. ČOV) odebrali tři sady 24-h vzorků během sezóny (jaro, léto, podzim), abychom pokryli základní rozdíly v odtokové situaci a teplotě. Ve druhém a třetím roce jsme v polovině obcí (10) rozšířili měření emisí o další imisní profily (1–4) na toku a provedli opět tři sady odběrů. Díky intenzivnímu vzorkování (15'), detailnímu měření průtoku (1') a vodivosti (5') můžeme velmi přesně bilancovat jak denní odnosy N a P, tak jejich transformaci v hydrografické síti. Detailní a strukturovaný popis emisí živin a jejich transformací bude sloužit k parametrizaci bilančního modelu emise farmak.

Klíčová slova: VN Švihov; bodové zdroje; fosfor; eutrofizace.

Abstract

In the years 2017–2019 we measured production of macro-nutrient (C, N, P) from point-sources within Švihov reservoir's watershed. Up to twenty municipalities differing in size and waste-water infrastructure were sampled for daily production in 2017. Three sampling series were proceeded to cover hydrological season. In the 2018 and 2019 another three sampling series were repeated but in half of sizes. At the same time we doubled the number of profiles within each village to describe in-stream transformation. Precise monitoring of nutrients runoff allow us to parametrize simple budget model of pharmaceutical production and fate.

Keywords: Švihov reservoir; point-source of pollution; phosphorus, eutrophication.

Úvod

Cílem rozsáhlého projektu je modelování emisí farmak a jejich osudu v povodí vodárenské nádrže Švihov. O produkci a chování těchto specifických polutantů máme velmi omezené znalosti, jejich stanovení je finančně náročné a kvantitativní měření prakticky chybějí [1]. Proto je nezbytné postupovat při získávání základních parametrů emise a transformace látek přísně kvantitativní cestou, byť na malém, ale reprezentativním souboru obcí [2] a alespoň několika typových úsecích toků a stojatých vod. I přes velké zobecnění jsme se rozhodli rozdělit xenobiotika pracovní na dvě základní skupiny, které se lze charakterizovat chováním

jako konzervativní a nekonzervativní látky. K jejich základnímu popisu chceme využít jako analogů znalosti a detailní měření emisí a transformace celkového fosforu a amoniakálního dusíku. V příspěvku budou v této perspektivě analyzovány denní odnosy živin a popsána závislost koncentrací na velikosti obce, vodohospodářské infrastruktury a průtoku. Dále budou zřejmě charakterizovány transformační efekty toků a rybníků.

Metodika

V rámci terénních prací byly během tříletí 2017–2019 sledovány emise a transformace cílových i analogických látek na celkem devatenácti obcích [3] v povodí VN Švihov (**obr. 1**). Vybrané obce reprezentují velikostní spektrum zastoupené v ploše povodí a dva hlavní způsoby nakládání s odpadními vodami (OV).

Měření emisí základních živin (C, N, P) a farmak (PPCP) proběhlo v roce 2017 v osmi obcích vybavených volnou výustí kanalizace (ústí VK), v deseti obcích s čistírnou odpadních vod (přítok a odtok ČOV) a v Pelhřimově (3x VK a přítok a odtok ČOV). Celkem bylo vzorkováno 33 profilů v obcích od 15.000 do 65 obyvatel. Do výběru bylo zahrnuto všech pět obcí se zdravotním zařízením, kde lze očekávat vyšší spotřeby léčiv (**tab. 1**). Vzorkování proběhlo ve třech sériích, aby pokrylo základní variabilitu průtoku a teploty během roku. Průtok byl měřen přímou metodou bodově na měrných přelivech (VK) nebo odečten sumárně z měřicího zařízení (ČOV). Odběry dílčích prostých vzorků proběhly manuálně (12x VK) nebo pomocí autosamplerů (24x ČOV). Dílčí vzorky byly analyzovány na amoniakální dusík, zatímco ve slévaném vzorku byla změřena vodivost a analyzovány hlavní živiny (CHSK_{Cr} , $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, TP a SRP) a farmaka. V případě VK byl směsný vzorek sléván poměrem k okamžitému průtoku, zatímco v případě ČOV byl sléván rovným dílem. V periodě od 15.V do 13.XII 2017, tj. během 23 odběrových dnů, bylo odebráno 107 směsných a 1318 dílčích vzorků.

V roce 2018 byl výběr obcí zúžen na polovic (5x VK a 5x ČOV), aby mohl být zdvojnásoben počet profilů (34) pro měření transformace látek v potocích a rybnících bezprostředně pod zdrojem (**obr. 2**). Odběry 24-hodinových vzorků proběhly plně automaticky (4x 15' do jedné vzorkovnice, 24 lahví v karuselu autosampleru), spolu s měřením výšky hladiny (tlakové sondy Solinst s korekcí na atmosférický tlak po 1') a vodivosti (teplotně kompenzovaná sonda HACH nebo WTW po 5') a opět ve třech sériích. Dílčí vzorky byly analyzovány na celkový fosfor a amoniakální dusík. Směsné vzorky byly slity z dílčích vzorků rovným dílem a analyzovány ve stejném rozsahu jako v roce 2017. Ve všech vzorcích byla změřena elektrická vodivost pro detailní zjištění produkce odpadních vod (OV). Vzhledem k extrémnímu suchu byla poslední série odložena na jaro roku 2019. Od 6.VI do 13.XI 2018 během 14 odběrových dnů bylo odebráno 1497 vzorků z toho 65 směsných a od 13.III do 26.VI 2019 975 vzorků z toho 41 směsných.

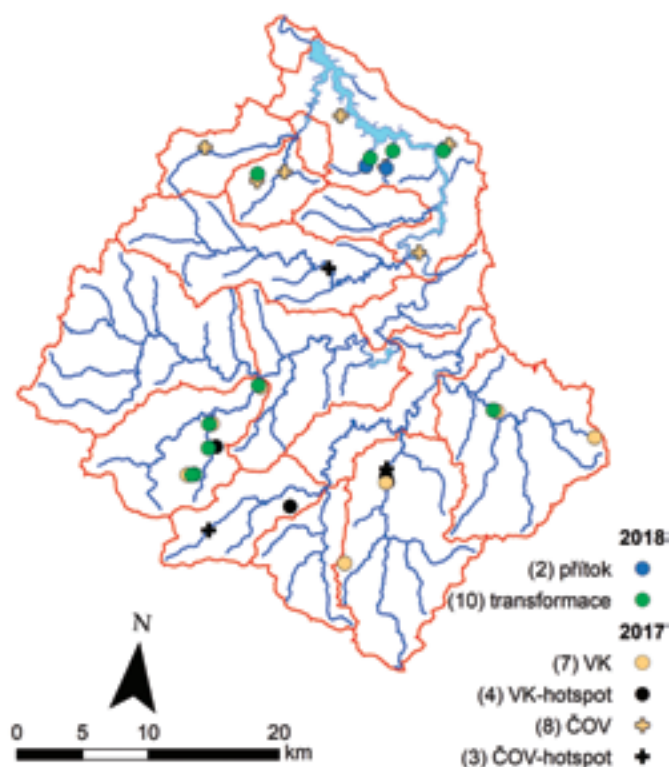
Tabulka 1. Hlavní charakteristiky sledovaných obcí a počty sledovaných profilů

Obec	Počet obyvatel	Počet zdravotnických lůžek	typ VH infrastruktury	Počet sledovaných profilů	
				2017	2018-9
Pelhřimov	15410*	461	ČOV + 2xBR	5	6
Čechtice	962		ČOV + 3xBR	2	4
Dolní Kralovice	633		ČOV + BR	2	5
Kožlí	510		ČOV + BR	2	4
Křivsoudov	387		ČOV	2	
Lidmaň	222	97	ČOV	2	
Bernartice	210		ČOV	2	
Onšov	202	50	KČOV	2	
Tomice	136		ČOV	2	4
Chmelná	126		KČOV	2	
Vojslavice	81		ČOV	2	
Proseč-Obořiště	187*	70	VK	1	
Libkova Voda	223		VK	1	
Kámen	219		VK + rybník	1	3
Mladé Bříště	169		VK	1	2
Pošná	147		VK	1	2
Kalhov	128		VK	1	
Proseč	93	85	ČOV + VK	1	2
Přáslavice	65		VK	1	2

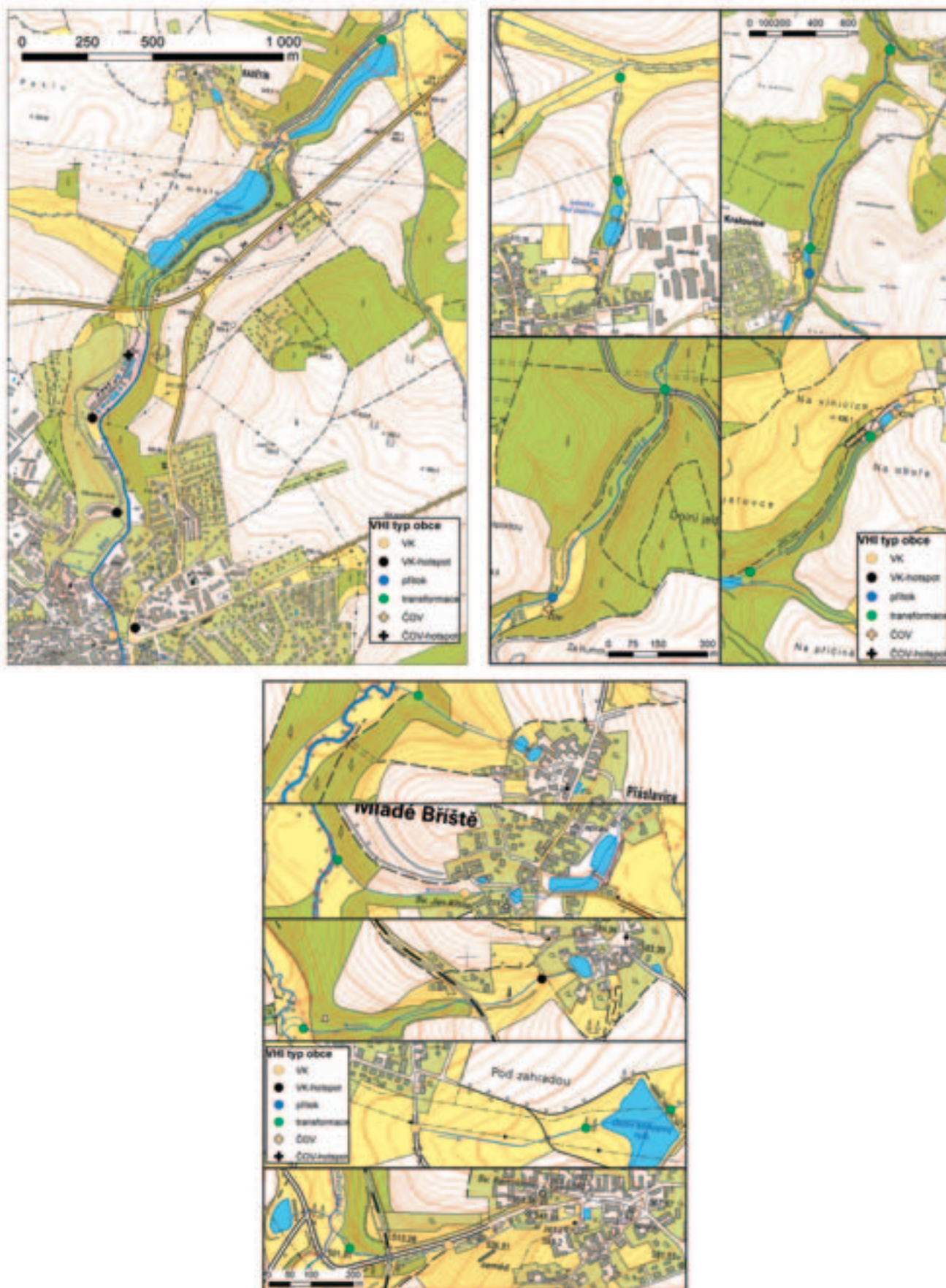
Během odběrů byly vzorky chlazeny ledem a poté ihned převezeny do akreditované laboratoře VÚV T.G.M., v.v.i. ke zpracování. Pro stanovení PPCP v akreditované laboratoři Povodí Vltavy, s.p. v Plzni byly vzorky zamrazeny a uchovány ve tmě při -15 °C (50 ml vzorku do tří 100ml vzorkovnic – 2x sklo, 1x plast).

Výsledky a diskuse

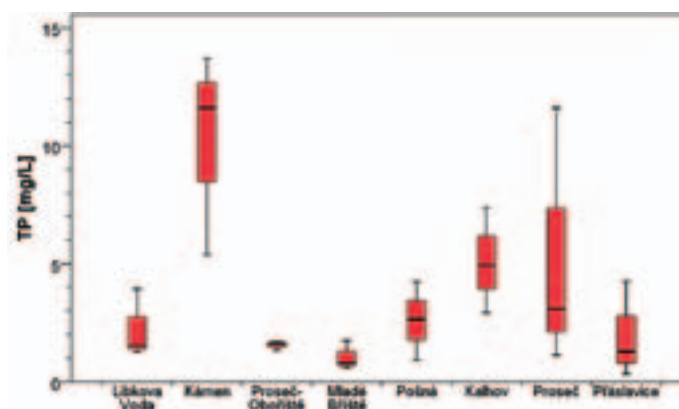
Při měření emisí amoniakálního dusíku bylo ve volných výustích v roce 2017 zjištěno široké rozpětí 1,73 – 94,7 mg/l, když vynecháme extrémní hodnotu 120 mg/l naměřenou v kanalizaci obce Kámen. V přítocích na ČOV bylo rozmezí ještě větší, 5,48 – 110 mg/l, což se ale dá očekávat vzhledem k právně a technicky definovanému stupni čištění (ČOV). Také ze srovnání emisí celkového fosforu (**graf 1**) je patrné, že obec Kámen vypouští koncentrace odpovídající přítoku na ČOV a nikoli OV předčištěné v systému septiků a jímek. Proto lze tamní rybník považovat funkčně za biologický, byť tak není veden. Naopak obec Kalhov má rybník úředně vedený jako biologický, ale ve skutečnosti jej OV bez ředění a podstatnější transformace ve vodním sloupci obtékají. Rozmezí koncentrací TP na VK vs. přítoky ČOV jsou pro celý soubor nicméně srovnatelná 0,329 – 18,5 mg/l resp. 0,738 – 20,8 mg/l. Nejvyšší hodnoty pro přítoky na ČOV byly zaznamenány v Křivsoudově, kde je v provozu technologie SBR, jejíž odtokové koncentrace jsou poměrně nízké (**graf 2**). Naopak ČOV Lidmaň je provozována za hranici hydraulického optima a vzhledem k neustálé přetíženému retenčním objemem aktivace dochází často k úniku kalu. Většina ČOV dosahuje podstatné redukce TP i $\text{NH}_4\text{-N}$ na odtoku. Průměrné koncentrace TP na odtoku z ČOV (2,43 mg/l) a ústí VK (5,72 mg/l) jsou z pohledu



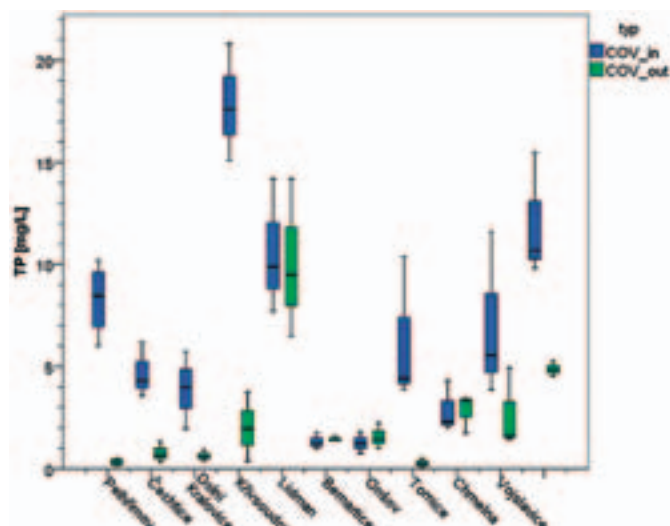
Obrázek 1. Mapa povodí VN Švihov a vzorkovaných lokalit v letech 2017–2019



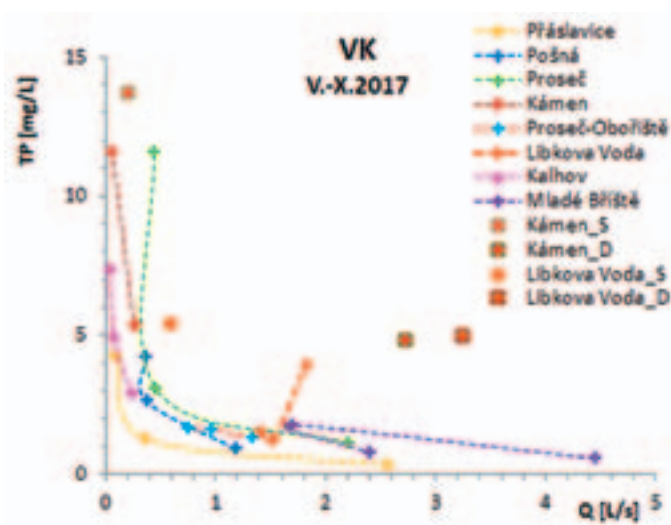
Obrázek 2. Detailní plány obcí sledovaných v roce 2018-9.
a) vlevo nahoře: Pelhřimov, b) vpravo nahoře: ČOV Čechtice,
Dolní Kralovice, Kozlí a Tomice, c) dole volné výusti,
odshora: VK Přáslavice, Mladé Bříště, Proseč, Kámen a Pošná



Graf 1. Koncentrace celkového fosforu ve volných výstřích osmi obcí vzorkovaných ve třech sériích roku 2017



Graf 2. Porovnání koncentrace celkového fosforu na přítoku a odtoku z 11 ČOV seřazených podle velikosti obce (poslední je z technických důvodů ČOV Kožlí bez popisku)

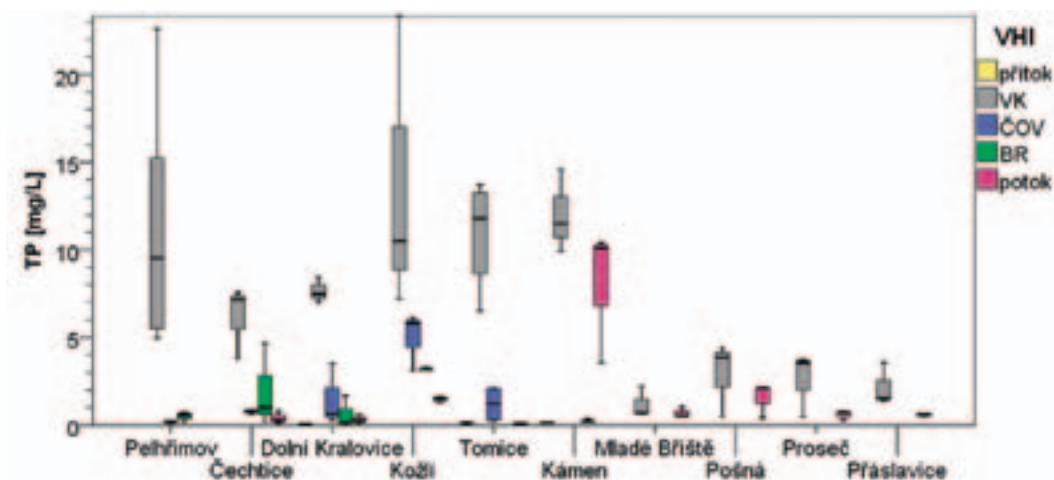


Graf 3. Závislost koncentrace celkového fosforu na průtoku v osmi obcích s jednotnou kanalizací vzorkovaných v roce 2017

eutrofizace nicméně fatální. Závislosti odnosů N i P na počtu obyvatel nejsou zřejmé, ale po zpracování dat o průtoku lze očekávat alespoň rámcovou korelaci. Denní odnosy $\text{NH}_4\text{-N}$ dosahují značného rozpětí 4,78 – 0,020 mg/l. Odchytky od statistického průměru nám pravděpodobně napoví mnohé o podstatě chování obou živin v závislosti na specifikách místních podmínek.

Zásadním zjištěním detailního měření denní produkce N a P je silně hyperbolická závislost koncentrace na odtoku (**graf 3**). Taková charakteristika potvrzená jak pro dusík, tak pro fosfor zcela odporuje tradičnímu a hluboce zakořeněnému předpokladu o konstantní denní produkci z daného sídla [4]. Vysvětlení je nyní ještě nejisté, ale lze se odůvodněně domnívat, že příčinou bude enormní sucho, které odřízne citelnou „část obce“ na nějaký čas od recipientu. Bohužel bude taková zásoba živin zůstat v místě produkce odplavena při nejbližším dešti [5].

V roce 2018 a 2019 byly měřeny jak emisní charakteristiky, tak imisní situace v toku, resp. po průchodu rybníkem. Z výsledků (**graf 4**) je velmi dobře patrné široké rozpětí, ve kterém fungují zdánlivě standartní systémy nakládání s OV. Degradační funkce, které nás budou zajímat ve spojitosti s osudem farmak, závisí podstatně na hydromorfologických podmínkách dané lokality. Tristní je z tohoto pohledu opět obec Kámen, kde zpevněné,



Graf 4. Podélné profily v deseti obcích vzorkovaných v roce 2018-9. Koncentrace celkového fosforu jsou v pořadí: přítok – ústí kanalizace – odtok z ČOV – biologický rybník – potok (5 obcí s ČOV je vlevo, 5 obcí s VK je vpravo)

napřímené a zahloubené koryto prakticky eliminuje stěžejní složky biodegradace. Většina zbývajících potoků vykazuje naopak větší míru odbourávání resp. zachytávání (N i P).

Za zmínku stojí určitě efekt rybníků. Na jedné straně stojí oba biologické rybníky pod ČOV Pelhřimov, které i přes problémy v nedávné minulosti, tč. stále bez odbahnění, stabilizují výsledné koncentrace na velmi nízké úrovni (0,500 mg/l). Naopak série biologických rybníků pod Čechticemi (1,96 mg/l) a částečně i BR pod ČOV Dolní Kralovice (0,645 mg/l) výrazně zhoršují solidní koncentrace na odtoku z ČOV (0,782 resp. 0,781 mg/l). V tomto ohledu je Dolní Konopný rybník pod obcí Kámen nesmírně efektivní záchranou pro níže ležící toky. Efektivita je určena ohromnou dobou zdržení a absencí jiného zásadního znečištění. Naopak BR pod ČOV v Kozlí je svojí malou kapacitou omezen.

Závěr

Výhodou extrémně detailního průzkumu emisí N a P z reprezentativního výběru bodových zdrojů je možnost nahlédnout do mechanismů, které „tvoří“ v běžné bilanční praxi nezpochybňované mechanismy denních odnosů a charakteristických koncentrací. Jinde rozvedeným poznatkem [6] je spolehlivá, byť místně specifická, závislost konduktivity na produkovaných OV. Protože je vodivost měřitelná fyzikálně s minimálními náklady, umožňuje tento vztah výrazné zpřesnění produkce OV a to jak v časovém horizontu, tak v celkovém množství a navíc bez ohledu na objem balastních vod. Získané poznatky budou využity při konstrukci modelu emisí a transformace farmak, ale poslouží zároveň jako zpřesnění při rozhodování o opatřeních proti eutrofizaci. Největší vodárenský zdroj je vystaven mnohým tlakům z povodí [7], a tak je třeba soustavné péče na jeho ochranu. Zde uvedené poznatky mohou být samozřejmě využity nejen pro ochranu Želivky, ale v celé ČR.

Poděkování

Příspěvek byl zpracován za finanční podpory projektu MV ČR VI20172020097 „Ochrana kritické infrastruktury – vodního zdroje Želivka – před účinky PPCP a pesticidů v podmínkách dlouhodobého sucha“. Zvláštní poděkování patří obsluze ČOV Pelhřimov, ČOV Čechtice, ČOV Dolní Kralovice, ČOV Tomice a ČOV Kozlí. Za technickou asistenci v laboratoři děkujeme Šárce Šustrové a Zuzaně Hamzové, za pomoc v terénu Vojtovi Mrázkovi a Jiřímu Kučerovi.

Literatura

- [1] HUGHES, Stephen R., Paul KAY and Lee E. BROWN (2013): Global Synthesis and Critical Evaluation of Pharmaceutical Data Sets Collected from River Systems.– *Environmental Science & Technology* 47(2): 661–677.
- [2] FIALA, Daniel a Pavel ROSENDORF (2017): Role malých obcí v koloběhu fosforu a jejich význam při eutrofizaci vod v povodí VN Švihov.– In: AMBROŽOVÁ, Jana a PECINOVÁ, Alena (eds.) *Vodárenská biologie 2017*, Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r. o., Chrudim, s. 93–102.
- [3] FIALA, Daniel, ROSENDORF Pavel, KUČERA Jiří, VÁŇA Miroslav, STEJSKALOVÁ Lada a MATOUŠOVÁ Lenka (2019): Variabilita koncentrací makronutrientů v typových obcích povodí VN Švihov a jejich transformace ve vodních ekosystémech.– In: ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana a PECINOVÁ, Alena (eds.) *Vodárenská biologie 2019*, Vodní zdroje EKOMONITOR, s.r.o. Chrudim, s. 124–133.
- [4] FUKSA, Josef, K. a Václav ŠTĚSTNÝ (2016): Dopady odpadních vod na jakost povrchových vod v době sucha.– In: Činnosti k podpoře výkonu státní správy v problematice SUCHO v roce 2016 – úkolový list 31, VÚV T.G.M., Praha. p. 44.
- [5] WITHERS, Paul, J.A., Philip JORDAN, Linda MAY, Helen P. JARVIE and Nancy E. DEAL (2014): Do septic tank systems pose a hidden threat to water quality?– *Frontiers in Ecology and the Environment*.– 12(2): 123–130.
- [6] FIALA, Daniel, KUČERA Jiří, MATOUŠOVÁ Lenka, ROSENDORF Pavel, STEJSKALOVÁ Lada a VÁŇA Miroslav (2018): Denní odnosy živin z obcí prizmatem jejich velikosti a vodohospodářské infrastruktury. In: ŘÍHOVÁ, Jana a PECINOVÁ, Alena (eds.) *Vodárenská biologie 2018*, Vodní zdroje EKOMONITOR, s.r.o. Chrudim, s. 191–196.
- [7] LIŠKA, Marek, a kol. (2016): Jakost vody ve vodárenské nádrži Švihov na Želivce a jejím povodí se zaměřením na specifické organické látky.– *VTEI*, 58(3): 4–11.

POVODÍ VN HRACHOLUSKY: FOSFOR A SAMOČIŠTĚNÍ V KOSOVÉM POTOCE

Michal Marcel, Jindřich Duras

Povodí Vltavy, státní podnik, Denisovo nábřeží 14, 301 00 Plzeň, tel. +420 377 307 352, michal.marcel@pvl.cz

Abstrakt

Řešení otázky, jak minimalizovat vstup sloučenin fosforu do nějaké vodní nádrže, často využívá nějakého modelu, kde se běžně počítá s hodnotou retence (lépe retardace) fosforu v korytě vodních toků. Konstanty používané v modelech jsou empirické a nevycházejí z měřených hodnot. Pro Kosový potok jsme se pokusili účinnost samočištění zjistit v létě suchého roku 2019 cíleným monitoringem 14 monitorovacích profilů na Kosovém potoce v úseku dlouhém 27,4 km, kde koryto je trvale v přirozeném stavu a bez antropologických vlivů na hydromorfologii. Výsledky po prvním vyhodnocení ukazují, že přiblížit se realistickému odhadu účinnosti retence P je velmi těžké, a to především vlivem proměnlivé interakce vody v potoce a v jeho okolí: mizení a doplňování vody. To se projevuje zejména při propočtu látkových bilancí. Během 6 monitorovacích kampaní byly látkové toky látek přepočteny na denní úhrny. Zatímco v počátečním monitorovacím profilu (Chotěnov, pod ČOV M. Lázně) protékalo v jednotlivých monitorovaných dnech 3,5–7,0 kg P (koncentrace 0,13–0,45 mg l⁻¹), v uzávěrovém profilu to bylo 1,1–2,8 kg P (0,11–0,05 mg l⁻¹). Při započtení vstupu P z mezipovodí bylo odhadnuto, že ve sledovaném úseku bylo v jednotlivých dnech zadrženo 1,7–6,1 kg P, tedy 47–87%. Naznačena je pozitivní souvislost s počáteční koncentrací P a negativní s velikostí průtoku, tedy s dobou dotoku vody. Jakkoli je toto zjištění nezbytné zatím považovat za předběžné, je zřejmé, že retence či retardace sloučenin P v korytech vodních toků je důležitým faktorem při úvahách o protieutrofizačních opatřeních. Revitalizace se tak jeví jako přínosné pro řešení omezování látkových toků v povodích.

Klíčová slova: VN Hracholusky; eutrofizace; samočištění; fosfor.

Abstract

When issue of P input minimization into a water reservoir is calculated a model is used very often. Empirical constants for P retention (better retardation) in watercourses are used usually. These constants are not based on any terrain measurements. We tried to estimate effectivity of self-purification processes for a stream Kosový potok during dry vegetation season 2019. Monitored segment was 27.4 km long with 14 monitoring profiles, and was not disturbed by anthropogenic changes of hydromorphological characteristics. The results show after first calculations that realistic estimation of P retention is very difficult mainly due to variable interactions between the stream and its surroundings: the water sometimes disappeared from the stream and sometimes was supplied. This fact is reflected especially in mass calculations. During 6 monitoring campaigns were mass flows recalculated as daily flows. In starting point (Chotěnov, below WWTP of M. Lázně) passed daily 3.5–7.0 kg P (concentration 0.13–0.45 mg l⁻¹) in end profile passed 1.1–2.8 kg P (0.11–0.05 mg l⁻¹). When input from watershed between both the points was included it appeared that 1.7–6.1 kg P was retained (67–87%) in individual days. Positive relationship on start P concentration and negative relationship with water flow was indicated. As much as our findings should be seen as preliminary results that will be further analysed it is clear that P retention (retardation) in streams is an important factor when anti-eutrophication measures are taking into consideration. Therefore, revitalisations seems to be reasonable ways how to help the situation.

Keywords: Hracholusky Reservoir; eutrophication; self-purification; phosphorus.

MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ DOPADU OPATŘENÍ NA VNOS ŽIVIN DO NÁDRŽE HRACHOLUSKY

Pavel Tachecí, Markéta Součková

DHI, a.s., Na Vrších 1490/5, 100 00 Praha 10, pt@dhigroup.com

Abstrakt

Podrobný bilanční model MIKE BASIN byl použit pro hodnocení předpokládaného dopadu dvou rozdílných sad navržených opatření v povodí vodní nádrže Hracholusky na vnos fosforu a dusíku do nádrže. Model byl kalibrován pomocí ročních charakteristických hodnot průtoku a koncentrací látek Pcelk, Ncelk, P-PO₄, N-NO₃ na průměrné podmínky v období 2012–2017. Z výsledků modelu současného stavu plyne, že z bodových zdrojů vstupuje do říční sítě asi 26 t Pcelk ročně, z ostatních zdrojů asi 16 t/r. Do nádrže doputuje při běžných průtocích asi 14.6 t/r (35%). Pro účinnější kombinaci opatření v povodí (Varianta 1) model simuluje snížení vnosu Pcelk do nádrže: o 5.3 t/r z řeky Mže a o 0.9 t/r z ostatních přítoků. Průměrná koncentrace Pcelk v řece Mži (v ústí do nádrže) by se snížila ze současných 0.091 mg/l na 0.057 mg/l.

Klíčová slova: model MIKE BASIN; bilance látek v povodí; dopad opatření na jakost vody; VN Hracholusky.

Abstract

A detailed water balance and water quality model MIKE BASIN was used for modelling assessment of expected measures impact in Hracholusky reservoir catchment area (CZ). Long term (2012–2017) annual average discharge and concentrations of P_{tot}, N_{tot}, P-PO₄ and N-NO₃ were used for calibration. Point sources in catchment area produce about 26 tons of P_{tot} per annum, other sources about 16 t/a. About 14.6 t/a (35%) of P_{tot} reaches reservoir water body. Model simulates decrease of P_{tot} input to the reservoir about 6.2 t/a P_{tot} for Variant 1.

Keywords: MIKE BASIN water quality model; nutrients balance in catchment; impact of measures to water quality; Hracholusky reservoir.

Úvod

Ve vodní nádrži Hracholusky během letní sezóny opakovaně dochází k intenzivní eutrofizaci se všemi negativními dopady na jakost vody a rekreační využití nádrže. Plzeňský kraj proto zadal vypracování „Studie na zlepšení jakosti vod na VD Hracholusky“ [1], konsorciu společností VRV a.s. a DHI a.s. Studie byla dokončena (s využitím podkladů a měřených dat Povodí Vltavy, s.p.) v roce 2018. Příspěvek prezentuje výsledky etap III a IV studie: použití podrobného bilančního modelu MIKE BASIN pro hodnocení předpokládaného dopadu dvou sad navržených opatření v povodí vodní nádrže Hracholusky na vnos fosforu a dusíku do nádrže.

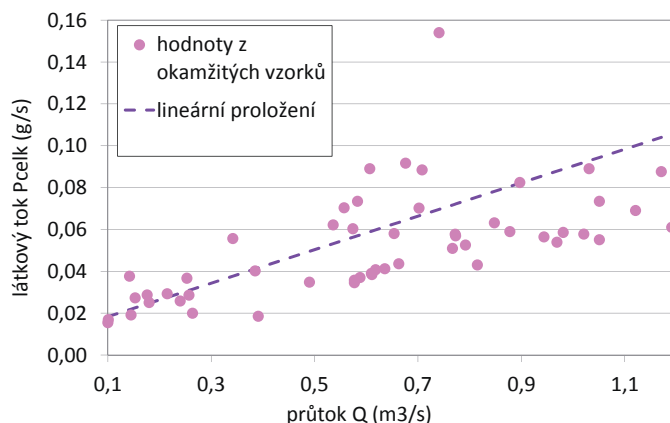
Modelovací nástroj MIKE BASIN

MIKE BASIN je modelovací prostředek v prostředí ESRI ArcGIS 9.3. MIKE BASIN využívá vektorovou schematizaci vodních toků pomocí systému uzlů a úseků toků mezi nimi, dále zahrnuje soutoky, odběry, nádrže a uživatele vody. Model umožňuje časově proměnnou simulaci průtoků a změn koncentrací. Lze jej využít ke zjednodušené simulaci průtoků a koncentrací látek v říční síti. Schematizace změn koncentrací látek ve vodě předpokládá konzervativní transport nebo rozpad popsaný kinetikou prvního řádu. V případě modelu povodí vodní nádrže Hracholusky (1607 km²) je model využit pro bilanci, jsou tedy použity ustálené podmínky (neproměnné v čase), kdy je jako vstup využita jedna sada charakteristických hodnot pro dané období.

Použitá data a zpracování

Pro kalibraci modelu bylo využito období let 2012–2017, které se v daném povodí nevymyká srážkovému normálu. Pro kalibraci průtoků bylo využito řad denních průtoků z devíti stanic v povodí, provozovaných ČHMÚ, Povodí Vltavy, s.p. a Povodňovým informačním systémem Plzeňského kraje. Pro kalibraci koncentrací Pcelk, Ncelk, P-PO₄, N-NO₃ bylo použito dat v 19 profilech sledování jakosti ČHMÚ, Povodí Vltavy, s.p. V profilech bylo k dispozici 24 až 93 změřených hodnot koncentrací. Dále byly využity údaje o vypouštěných množstvích a koncentracích pro 451 bodových uživatelů vody v povodí vodní nádrže Hracholusky. Pro ostatní zdroje fosforu a dusíku byly vypočteny koncentrace na odtoku z jednotlivých mezipovodí na základě podílu typů využití území v daném povodí. Střední koncentrace pro jednotlivé typy využití území byly určeny základě rešerše literatury platné pro podmínky ČR [2–6].

Z denních průměrných průtoků byly vypočteny mediánové hodnoty za celé období 2012–2017 a ty použity pro sestavení modelu bilance množství vody. Do bilance bylo zahrnuto množství vypouštěné bodovými uživateli, vyjádřeny roční charakteristické plošné odtoky z mezipovodí a následně průtoky v profilech sledování jakosti. Ty byly přepočteny na odhadované hodnoty průtoku ve dnech odběru vzorků jakosti. Okamžité hodnoty koncentrací z diskrétních vzorků v profilech sledování jakosti byly převedeny na látkové toky a lineárně proloženy vůči průtokům v profilech. Pomocí tohoto vztahu byly vyjádřeny charakteristické koncentrace pro Pcelk, Ncelk, P-PO₄, N-NO₃ v každém profilu sledování. Tyto hodnoty byly použity pro kalibraci modelu v profilech měření.



Obrázek 1. Vztah mezi průtokem a vypočteným okamžitým látkovým tokem celkového fosforu ve dnech měření. Profil 3042 Stříbro (Úhlavka), celková plocha povodí 296 km²

Model povodí VN Hracholusky, kalibrace na současný stav

Model povodí v MIKE BASIN byl sestaven z přibližně 300 modelových povodí a 1400 úseků toků. Pro každé výpočetní povodí byl doložen odhad odtoku a odnosu živin. Pro každý úsek byly pomocí kalibrace určeny dva parametry: koeficient degradace a odhad doby zdržení.

Model jako celek byl kalibrován vůči charakteristickým průtokům a koncentracím v profilech měření. Odchylka hodnot koncentrací a průtoků simulovaných modelem od hodnot zpracovaných z dat je ve většině případů menší než 3%. Model tak lze považovat za kalibrováný, tj. dobře odpovídající podmínkám v reálné říční síti při středních a nižších průtocích ve zkoumaném období. Výjimkou je malé povodí Hamerského potoka k profilu Broumov, kde vysoké měřené koncentrace neodpovídají předpokládaným zdrojům a také povodí Lichovského potoka k profilu Krsov, kde nebyly k dispozici měřené koncentrace P-PO₄ a Ncelk. Povodí Úterského potoka se vymykalo ostatním povodím ve vysoké míře úbytku fosforu i dusíku podél toku.

Na základě výsledků bilančního modelu pro období 2012–2017 (referenční období) lze učinit odhadovat roční vstup Pcelk z bodových zdrojů: 26 t (61%), z ostatních zdrojů: 16 t (39%). Z celkového množství 42 t Pcelk /r do nádrže při běžných průtocích doputuje asi 14.6 t /r (35% vstupů). Kromě hodnot za celé povodí lze z výsledků modelu usuzovat i na změny koncentrací a látkových toků podél jednotlivých vodních toků. Jako příklad jsou uvedeny koncentrace N-NO₃ v povodí řeky Mže v úseku VN Lučina – Milíkov (obr. 2) a látkové toky Pcelk v povodí Úhlavky a Mže k VN Hracholusky (obr. 3).

Porovnání variant opatření

Pomocí dat dodaných spoluřešiteli studie (VRV a.s.) byl posléze model upraven tak, aby vystihoval stav po provedení dvou sad opatření v povodí: Varianty 1 (117 bodových zdrojů, 8 revitalizací, 6 úprav hospodaření na rybnících) a Varianty 2 (99 bodových zdrojů, 13 revitalizací, 2 úpravy hospodaření na rybnících). Jednotlivé typy opatření byly do modelu zavedeny takto:

- Opatření na bodových zdrojích (výstavba, intenzifikace ČOV, kořenová ČOV, kanalizace) pomocí změny ve vypouštěném množství a v koncentracích v místě bodového zdroje.

- Úpravy na vodních tocích (revitalizace, mokřady): úpravou kalibračních parametrů v daném úseku
- Změna hospodaření na rybnících: změna koncentrací na odtoku

Pro obě varianty byly opět provedeny simulace a z výsledků vypočteny rozdíly v koncentracích a látkových tocích dusíku a fosforu vůči referenčnímu stavu. Vykresleny byly také variantní mapy koncentrací a látkových toků. Přehled rozdílů ve vybraných profilech řeky Mže uvádí tabulka 1, příklad pro variantu 1 obrázek 4. Z výsledků simulací plyne, že Varianta opatření č. 1 vede k výraznějšímu snížení vnosu Pcelk do nádrže: o 5.3 t/r z řeky Mže a o 0.9 t/r z ostatních přítoků zaústěných do nádrže, Varianta opatření č. 2 má efekt nižší.

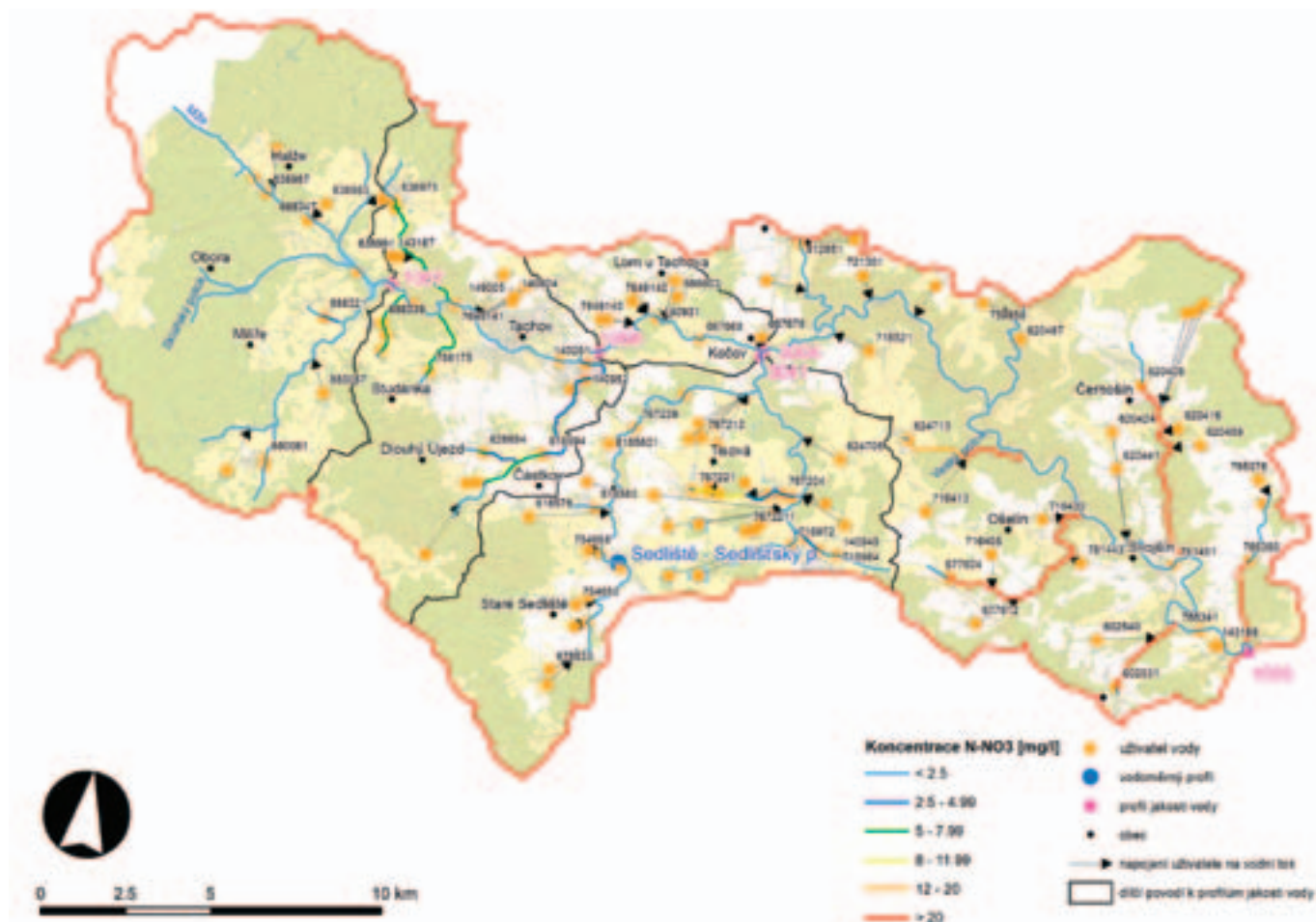
Závěry a náměty

Hlavním výsledkem simulací modelem je porovnání předpokládaného dopadu sady opatření na koncentrace živin (především fosforu) na vstupu do nádrže Hracholusky. Simulace ukazují pro Variantu 1, že průměrná koncentrace Pcelk v řece Mži (v ústí do nádrže) by se snížila z 0.091 mg/l na 0.057 mg/l, což jsou hodnoty již blízké předpokládané hranici pro možnost omezení eutrofizace vody v nádrži. Ukazuje se, že podle výsledků modelu mají největší dopad opatření na velkých bodových zdrojích situovaných v povodí relativně blízko nad nádrží.

Dále se díky komplexnímu modelovému řešení ukázaly rozdíly mezi měřenými daty v profilech a odhadovaným vstupem látek z povodí. Také se ukázaly významné rozdíly v úbytku živin ve vodě podél jednotlivých přítoků řeky Mže. Na základě výsledků byly navrženy možné úpravy v režimu odběru vzorků jakosti vody v povodí nádrže Hracholusky s cílem lépe vystihnout poměry v povodí a jejich změny v čase.

Přestože bylo využito maximum dostupných dat, ukázalo se, že pro snížení nejistot v tomto typu studie je zapotřebí doplnit především čtyři okruhy informací a datových podkladů:

1. Měření průtoků a koncentrací v nejdůležitějších profilech během srážkoodtokových událostí (nejlépe kontinuální). Současný model vystihuje (na základě dostupných dat) především podmínky pro střední a nižší průtoky. Během omezených epizod zvýšeného průtoku však může do nádrže doputovat srovnatelné množství živin, které není běžným monitoringem zachyceno. S využitím těchto dat by bylo možné model rozšířit na časově dynamickou simulaci a významně snížit nejistotu v celoroční bilanci
2. Podrobnější monitoring ve více místech v podélném profilu vybraných přítoků (Úterský potok, Úhlavka, Hamerský a Kosový potok). Z analýzy dat a modelového zpracování vyplynuly značné rozdíly v míře snižování koncentrací živin podél těchto vodních toků. Nalezení příčin rozdílu a jejich propojení s obecnými charakteristikami (např. celkový stav, morfologie, biota) vodního toku by mohlo významně přispět k efektivnímu navrhování opatření pro zlepšení stavu vodních toků a snižování odnosů živin.
3. Podrobnější monitoring rybníků a jejich kategorizace podle stavu trofie. Z malého souboru dat, který byl k dispozici v rámci této studie vyplývají velké rozdíly v koncentracích dusíku a fosforu odtékajících ze sledovaných rybníků. Ty mohou být významnými bodovými zdroji nutrientů, ale také mohou naopak zlepšovat koncentrace ve vodním toku. Odnos látek z většiny hospodářsky využívaných rybníků má výrazně epizodní charakter. V současnosti je nedostatek datových podkladů pro věrohodný výpočet celoroční bilance pro různé typy rybníků.



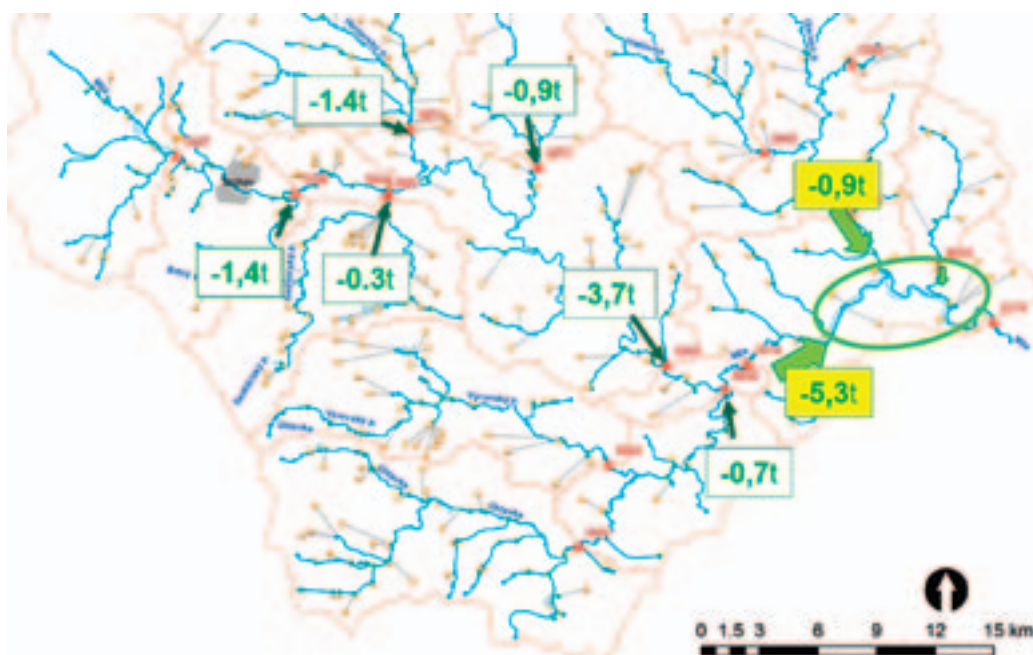
Obrázek 2. Koncentrace N-NO₃ (mg/l) v říční síti povodí Mže nad profilem Milíkov. Simulace referenčního období 2012–2017

Tabulka 1. Porovnání simulovaných koncentrací a látkových toků pro varianty návrhů opatření

místo	pod VN Lucina	Oldřichov	Kočov	pod Hamerským p.	pod Kosovým p.	Milíkov	pod Úhlavkou	Stříbro	nad Petřským p.	součet do nádrže
profil	1067	1068	3004			1069		1070		
látkový tok Pcelk (t/r)										
referenční stav	0.93	2.80	3.56	6.56	8.91	9.41	11.67	12.1	12	14.6
Varianta opatření 1	0.83	1.44	2.09	3.78	5.4	5.71	7.24	7.63	7.58	9.3
Varianta opatření 2	0.83	1.46	2.14	5.14	7.56	7.73	9.33	9.8	9.71	11.5
koncentrace Pcelk (mg/l)										
referenční stav	0.036	0.087	0.081	0.096	0.086	0.086	0.090	0.093	0.091	
Varianta opatření 1	0.032	0.045	0.048	0.055	0.052	0.052	0.056	0.058	0.057	
Varianta opatření 2	0.032	0.045	0.049	0.075	0.073	0.071	0.072	0.075	0.074	



Obrázek 3. Látkový tok Pcelk (kg/r) v říční síti povodí Hamerského a Kosového potoka. Simulace referenčního období 2012–2017



Obrázek 4. Snížení vnosu celkového fosforu v tunách za rok z jednotlivých povodí (zelené rámečky) oproti referenčnímu stavu. Simulace MIKE BASIN, Varianta 1. Nádrž Hracholusky označena zelenou elipsou.

4. Pro přesnější kvantifikaci efektu opatření na koncentrace dusíku a fosforu pro některé typy opatření (např. úpravy toků, revitalizace, mokřady) není dostatek měřených dat ze srovnávacích pokusů, zejména dlouhodobých. Kvantifikace je pak založena na odborném odhadu. Pro snížení těchto nejistot je nezbytné vybudovat datovou základnu s využitím výzkumných povodí z podrobným monitoringem.

Poděkování

Tento příspěvek byl zpracován na základě výsledků Studie na zlepšení jakosti vod na VD Hracholusky, financované Plzeňským krajem. Za spolupráci v oblasti datových vstupů děkujeme pracovníkům Povodí Vltavy, s.p.

Literatura

- [1] Studie na zlepšení jakosti vod na VD Hracholusky. Sdružení společností VRV a.s. a DHI a.s., Praha 2018. [www.plzensky-kraj.cz › system › files › users › studie_jakosti_vd_hracholusky_zprava.pdf](http://www.plzensky-kraj.cz/system/files/users/studie_jakosti_vd_hracholusky_zprava.pdf)
- [2] HEJZLAR J. (2009) Metodika bilanční analýzy zdrojů živin v povodí. BC AV ČR
- [3] HEJZLAR J. a kol. (2010): Bilance zdrojů fosforu a dusíku v povodí nádrže Orlík, BC AV ČR. Zpráva pro Povodí Vltavy, s.p.
- [4] FIALA, D. a ROSENDORF, P. (2011): Variabilita odnosu fosforu ze zemědělské půdy v měřítku mikropovodí.– VTEI 53(6): 27–31, příloha Vodního hospodářství 12/2011
- [5] HANÁK R, RYŠAVÝ, S. (2015): Jakostní model povodí VD Vranov. Příspěvek konference Vodní nádrže 2015 (ed. Kosour. D.), ISBN 978-80-260-8726-7
- [6] KVÍTEK T., BYSTRICKÝ V., PETERKOVÁ J., ŽLÁBEK P. a MORAVCOVÁ J. (2012): Dynamika koncentrací a interakce odnosu dusičnanů a fosforu na malých zemědělsko-lesních subpovodích v povodí VN Švihov na Želivce, Vodní hospodářství 6/2012

KOMPLEXNÍ SOUBOR OPATŘENÍ PRO ZAMEZENÍ VNOSU DO VODNÍ NÁDRŽE HRACHOLUSKY

Lukáš Vlček¹, Pavel Tachecí, Jindřich Duras

¹ Vodohospodářský rozvoj a výstavba, a.s., Nábřeží 90/4, 150 56 Praha – Smíchov, tel. +420 724 759 725, vlcek@vrv.cz

Abstrakt

Vodní nádrž Hracholusky se potýká s přemnožením sinic, což brání plnému využití rekreačního potenciálu nádrže. Důvodem přemnožení je nadměrné množství fosforu, který se do nádrže dostává z jejího povodí. Krajský úřad Plzeňského kraje se rozhodl tento problém řešit a zadal si zpracování Studie, jejíž řešení probíhalo od listopadu 2017 do listopadu 2018. Cílem studie bylo určit dominantní zdroje fosforu v povodí a navrhnout opatření k jejich redukci. Studie vznikla za podpory Povodí Vltavy, státního podniku. Analytická část projektu byla vystavena na základech mimořádné monitorovací kampaně, která výrazně zahustila monitorovací síť správce povodí. V průběhu zpracování studie se dále podařilo zajistit unikátní data o vlivu některých odlehčovacích komor. Opatření byla navržena na vodohospodářské infrastruktuře, na vodních tocích i na způsobu nakládání s dešťovou vodou ve městech. Příspěvek se zaměřuje na metodický postup návrhu opatření a návrh dalšího postupu pro krajský úřad.

Klíčová slova: fosfor; VN Hracholusky; opatření, odlehčovací komory; individuální čištění odpadních vod.

Abstract

Hracholusky reservoir is faced with an overgrowth of cyanobacteria, which prevents the full exploitation of the recreational potential of the reservoir. The reason for the overgrowth is the excessive amount of phosphorus entering the reservoir from its catchment area. The Regional Authority of the Pilsen Region decided to solve this problem and commissioned a Study, which was carried out from November 2017 to November 2018. The aim of the study was to identify dominant sources of phosphorus in the river basin and propose measures for their reduction. The study was supported by the Vltava River Basin, a state-owned enterprise. The analytical part of the project was built on the basis of an extraordinary monitoring campaign, which significantly dampened the monitoring network of the river basin administrator. During the study, unique data on the influence of some relief chambers were also obtained. Measures were proposed on water management infrastructure, watercourses and the way of rainwater management in cities. The paper focuses on the methodological procedure of the draft measure and the proposal of further procedure for the regional authority.

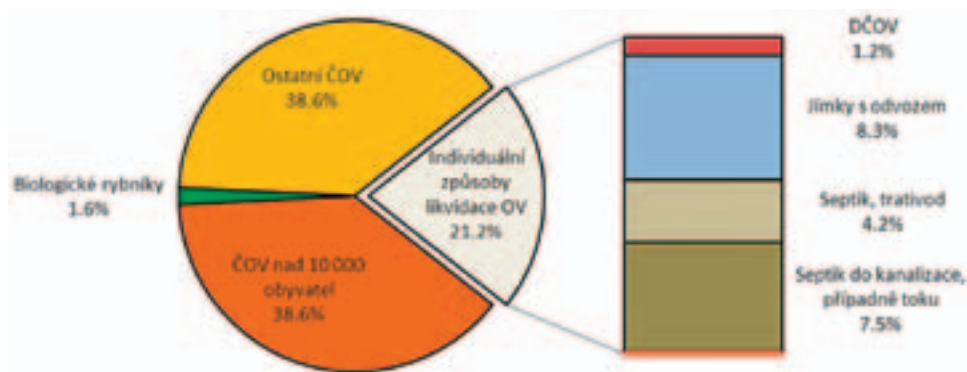
Keywords: phosphorus; Hracholusky reservoir; measure, relief chamber; individual waste water treatment.

Úvod

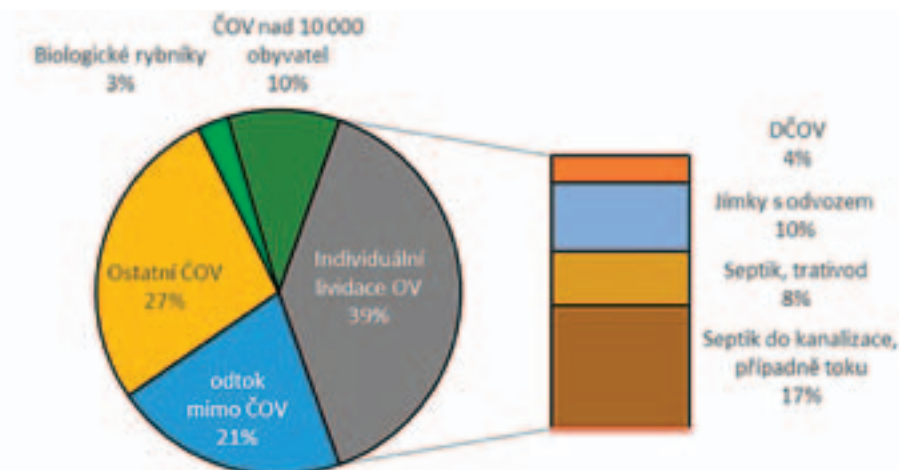
Eutrofizace vodních nádrží je problém, se kterým se naše společnost potýká a v budoucnu bude potýkat nadále. Vodní nádrže jsou elementy s dlouhou reakční dobou. Po uvedení do provozu a napuštění mohou dlouhé roky přijímat vysoký látkový tok živin, aniž by se to, alespoň senzoricky, výrazně projevilo na kvalitě vody. Přítok do v.n. Hracholusky se do roku 1997 pohyboval koncentrací nad 0.2 mg/l P_{celk} , následovalo období zlepšování vodohospodářské infrastruktury, během kterého poklesl k hodnotě 0.12 mg/l, od roku 2010 je koncentrace v zásadě ustálená na hodnotě 0.11 mg/l. Po určité době, která je u každé nádrže jiná se populace sinic stane natolik silnou, že ekosystém nádrže téměř ovládne. Chceme-li nádrži pomoci, můžeme přistoupit k některému z opatření přímo na nádrži. Pokud pomineme odtěžení fosforem kontaminovaného sedimentu, které se vzhledem k ploše nádrže nejeví jako proveditelné, můžeme přímo na nádrži aplikovat hlinitý koagulant ke dnu, v místech uvolňování fosforu ze sedimentu. Samotná stabilizace sedimentu, ale ke zlepšení kvality vody v nádrži stačit nebude. Každou sezónu totiž do nádrže přiteče okolo 20 tun celkového fosforu. Pokud nedostaneme pod kontrolu fosfor přitékající z povodí, nemá smysl zabývat se opatřením na nádrži. Srážení fosforu na přítoku, po vzoru Brněnské vodní nádrže je jedním z možných řešení. Plzeňský kraj si ale vzal za cíl snížit vnos fosforu do povodí.

Metodika

Základem pro návrh opatření byla podrobná analýza zdrojů znečištění v povodí v.n. Hracholusky. V povodí o celkové ploše 1611 km² se nachází, a do analýzy vstoupilo 234 sídelních jednotek (katastrů), ty spadají pod správní území 73 obcí. Celkem bylo do analytické části studie zahrnuto 80 000 obyvatel. Základní informace o produkci znečištění byla čerpána z databáze odběrů a vypouštění. Z tohoto zdroje ale zjistíme jen údaje o evidovaných vypouštěních, studie si kladla za cíl postihnout také zdroje neevidované. Proběhla podrobná zjišťovací kampaň, při které se ze zaslaného dotazníku, nebo následným telefonátem podařilo získat základní informace o produkci a způsobu likvidace komunálních odpadních vod ve 227 katastrech, 7 katastrů bylo doplněno ze statistického úřadu. Studie tak disponovala informacemi o počtu stálých obyvatel i rekreatů a způsobu nakládání s odpadní vodou, rozlišovalo se připojení na veřejnou ČOV a její velikost, individuální způsoby čištění, jako DČOV, jímky s odvozem, septik s trativodem, septik do kanalizace, nebo rovnou do vodního toku. Neevidovaným způsobům nakládání s odpadní vodou byly dopočteny látkové toky celkového fosforu podle denní produkce EO a účinnosti odstraňování fosforu jednotlivých způsobů likvidace. U větších sídel se tímto způsobem často zjistil nesoulad mezi nátokem na čistírnu a produkovaným množstvím celkového fosforu. Souhrnně tuto skupinu studie



Obrázek 1. Způsoby likvidace OV v povodí VD Hracholusky



Obrázek 2. Podíl produkce komunálních zdrojů P_{celk} dle způsobu likvidace OV

nazývá odtok mimo ČOV. Reálně si pod tímto lze představit úniky nevidovanými výustími, netěsnostmi v kanalizacích, a významně také vypouštění skrze odlehčovací komory.

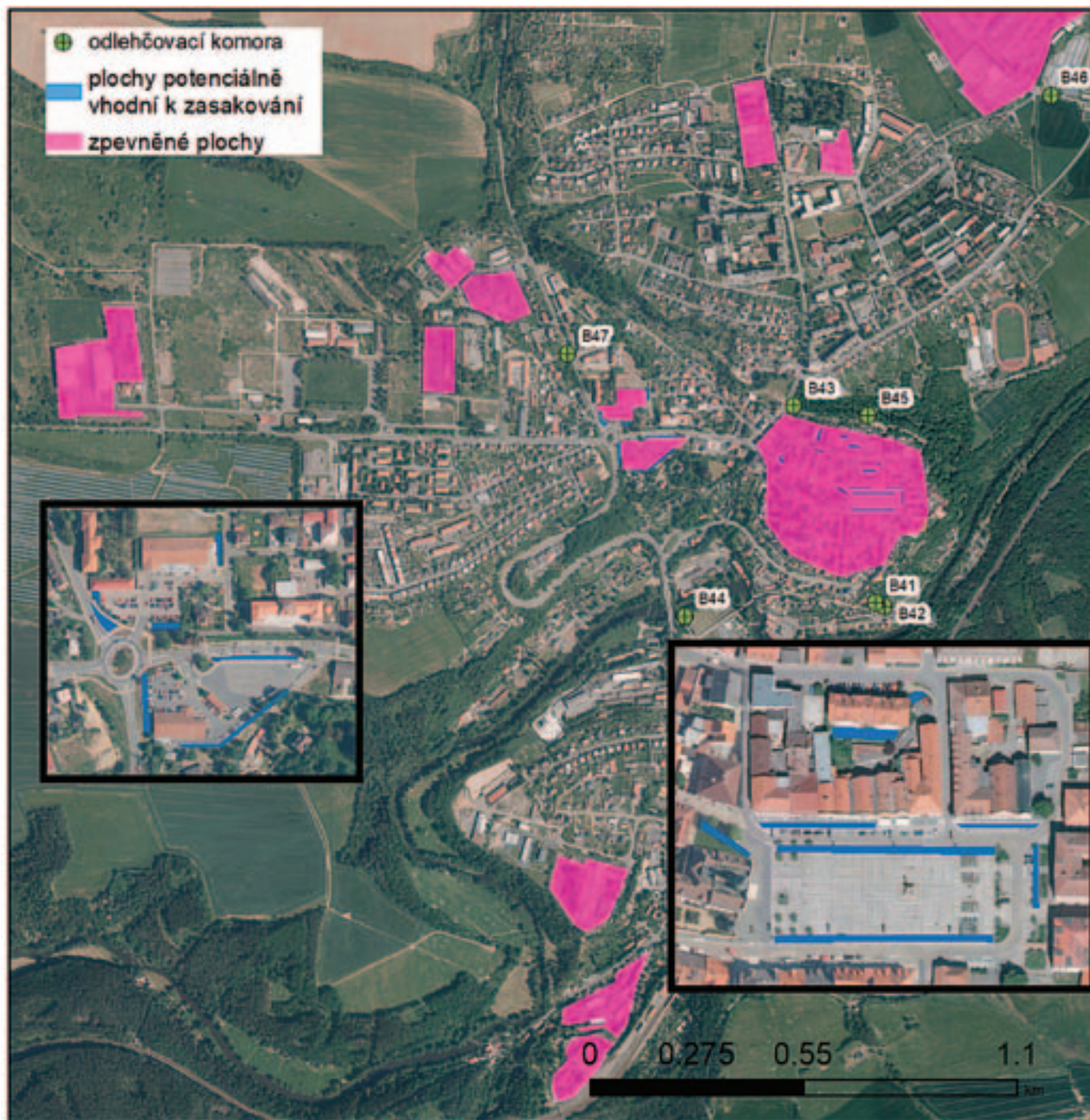
Na obrázku 1 vidíme spíše nižší podíl odpadních vod čistěných individuálně, významnost ČOV do 10 000 EO je stejná jako významnost ČOV nad 10 000 EO, obrázek 1 přináší informaci o objemu OV. Na obrázku 2 sledujeme nikoliv objem ale vnos celkového fosforu do povodí z jednotlivých zdrojů. Významnost individuálních způsobů čištění tím naroste přibližně dvojnásobně. Také významnost menších ČOV je vyšší než při sledování pouze objemu OV. Zvýšenou pozornost zasluhuje ukazatel odtok mimo ČOV, který na prvním obrázku zastoupen vůbec není.

Z analýzy významnosti jednotlivých způsobů vypouštění vyplývá postup návrhu opatření v povodí. Jako vůbec neefektivnější opatření jsou navrhována zvýšení účinnosti odstraňování fosforu na čistírnách. První skupinou jsou čistírny nad 2000 EO které technologií na srážení fosforu disponují, ale s ohledem na dostupné technologie je možné odtokové koncentrace dále snižovat. Tento typ opatření byl navržen u šesti čistíren a jeho realizací by bylo možno dosáhnout snížení 1813 kg P_{celk} ročně. Opatření je velmi efektivní, protože negeneruje investiční náklady, průměrná cena za odstranění 1 kg P_{celk} ročně činí 2600 Kč. Druhou skupinou jsou čistírny pod 2000 EO, které technologii na odstraňování fosforu nemají. Opatření spočívá v pořízení technologie na srážení fosforu a její provoz s účinností na 80 až 90 % v závislosti na velikosti ČOV. Toto opatření bylo aplikováno u 21 čistíren a je jím možno teoreticky dosáhnout snížení až 1906 kg celkového fosforu ročně. Průměrná cena za odstranění 1 kg P_{celk} ročně činí 210 tis Kč.

Další opatření na vodohospodářské infrastruktuře jsou již

výrazně méně efektivní, obvykle se jedná o dostavby ČOV, často spojené se stavbou několik km dlouhých přivaděčů, cílem bylo připojit i menší obce a eliminovat individuální způsoby čištění odpadních vod. V řadě lokalit bylo přistoupeno k variantnímu řešení, zda několik částí obce řešit odděleně a navrhnout 2 nebo více ČOV, anebo zda produkci odpadních vod přivést na centrální ČOV. Z pravidla platí, že menší čistírna dosahuje menších účinností. Dlouhé kanalizační přivaděče na druhou stranu výrazně prodražují celou akci. Nákladová efektivita, ale z variant vybírala řešení vhodné pro danou lokalitu. Toto opatření bylo aplikováno v 85 lokalitách teoreticky je možné jím dosáhnout redukce 2097 kg P_{celk} za rok. Nákladová efektivita je už ale velmi nízká. Jeden kg odstranění celkového fosforu ročně vyjde průměrně na 760 tis Kč.

Variantně bylo navrženo také několik opatření takzvané přírodě blízkých. Smyslem je revitalizací toku podpořit zvýšení retenční a retardační schopnosti vodního toku na protékající komunální znečištění a celkový fosfor. Inspirací k tomuto typu opatření je Kosový potok, který vlivem vypouštění z ČOV Chotěnov a odtoků mimo ČOV na kanalizaci v Mariánských Lázních vykazuje na horním toku vysoké koncentrace znečištění i látkové toky (průměrná letní koncentrace pod ČOV Chotěnov je 0.2 mg/l), při ústí do Mže je ale koncentrace přibližně 0.1 mg/l. Kosový potok má tedy zdá se značnou retenční schopnost, kterou může způsobovat dobrý morfologický stav toku. Úseků toku určených k revitalizaci s vysokou prioritou realizace bylo ve studii navrženo 10. Nevyššího efektu může dosáhnout zřejmě opatření na Hamerském potoce. Odstranění fosforu přirozenými procesy ve vodním toku je záležitost neprobádaná, studie na tento jev upozornila ovšem podrobnější zkoumání, teprve probíhá.



Obrázek 3. Příklad návrhu odpojení zpevněných ploch v centru města Stříbro od jednotné kanalizace

Hospodaření s vodou ve větších městech je opatření, které má za úkol řešit znepokojivě vysoký podíl vnosu fosforu z měst s jednotnou kanalizací, mimo ČOV. V rámci studie se podařilo zajistit unikátní měřená data z činnosti odlehčovacích komor. Konkrétně byl monitorován vnos z města Stříbro, Planá u Mariánských Lázní a Mariánské Lázně, vždy šlo o vnos oddělení od vnosu ČOV. Při první měřené epizodě ve městě Stříbro (16.5.2018) byl celkový látkový tok z odlehčovacích komor stanoven na 5.56 kg, přepočtem na roční úhrn srážek vychází roční vnos tímto způsobem na 259 kg. Při druhé epizodě (24.5.2018) byl vnos stanoven na 7 kg. Většího významu zdá se dosahuje vnos z odlehčovacích komor ve městě Planá, kde bylo zaznamenáno 10.8 kg celkového fosforu, přepočteno na roční úhrn může jít až o 544 kg za rok. Nejvyššího významu z měřených epizod dosáhlo měření

na Úšovickém a Kosovém potoce kdy 24.5. byl zaznamenán vnos 48.5 kg celkového fosforu [5]. Monitoring srážkových epizod prokázal význam odlehčovacích komor na vnos fosforu do povodí. Je vhodné zmínit, že jde o epizodní záležitost, kterou pravidelný monitoring obvykle nepostihne. Znečištění vnesené do povodí během srážkových epizod se projeví až v údolní nádrži, kde se akumuluje. V reakci na tato zjištění studie navrhla opatření pojmenované jako hospodaření s dešťovou vodou ve větších sídlech. Je-li požadováno snížit vnos znečištění z odlehčovací komory, je potřeba hledat příčinu tohoto problému. Existují i případy, kdy lze zlepšení dosáhnout úpravou hydraulických parametrů přímo v odlehčovací komoře. Mnohem častěji je potřeba hledat příčinu i řešení problému v povodí odlehčovací komory. Rostoucí plocha měst a připojených zpevněných ploch způsobuje přetížení

jednotných kanalizací. Opatření tedy spočívá v postupném „odpojování“ zpevněných ploch od jednotné kanalizace. Nad podkladem ortofoto mapy byly vybrány zpevněné plochy, u kterých je doporučeno začít hledat potřebný retenční prostor. Technická řešení retence a zasakování dešťových vod ve městech byla převzata z metodických postupů [1] [2]. Opatření je navrženo u 12 sídel v povodí. Celková redukce vlivem tohoto opatření se odhaduje na 520 kg celkového fosforu ročně. Přestože studie prokázala, že vnos z odlehčovacích komor může být významný, přesné číslo ze všech sídel v povodí stále neznáme, další neznámou je kolik zpevněných ploch by se reálně podařilo od kanalizace odpojit. Proto je odhadovaná redukce pouze hrubým odhadem. Odhad redukce fosforu vychází z produkce mimo ČOV v daném sídle a podílu zpevněných ploch pro které je navrženo odpojení od jednotné kanalizace.

Rekreační chatové kolonie v bezprostředním okolí nádrže byly řešeny variantně, současný stav předpokládá využívání bezodtokých jímek a vyvážení na ČOV. Bylo prokázáno, že k vyvážení na ČOV v očekávané míře nedochází, ve skutečnosti to není ani možné, protože v plné letní sezóně se v okolí nádrže může vyskytovat až 8000 lidí. Jediná ČOV v okolí která může pojmout takové množství externích vod je Plzeň. Dojezdová vzdálenost 40 až 50 km činí vývoz jímek finančně neúnosným. Absence kanalizace ale zdá se chránit nádrž před vnosem znečištění z tohoto zdroje. Sledování vývoje jakosti v nádrži prokázalo, že příčinou eutrofizace nádrže je přítok Mží, částečně také Úterským potokem (i když v mnohem menší míře). Studie nezkoumala vliv na podzemní vody, v tomto případě je možné, že by se rekreace v okolí nádrže mohla projevit významněji. Byly posuzovány varianty posílení kapacit příjmu externích vod čistíren v blízkosti nádrže, jde ale o opatření technologicky komplikované a omezené poměrem ředění. Realizace se nejeví příliš reálně. Další variantou byl návrh odkanalizování největších chatových kolonií a připojení na dostupné ČOV, toto opatření vycházelo finančně velmi neefektivně.

Výsledky a diskuze

Soubor všech opatření navržených ve studii čítá na 208 návrhů, zdaleka ne všechny jsou efektivní. Vedle již zmíněných hodnocení nákladů na odstranění kg celkového fosforu ročně, byla posuzována také poloha opatření, respektive zdroje znečištění v povodí, přičemž vyšší hodnocení dostala opatření ležící přímo u nádrže. Nebo na páteřním toku, s rostoucím řádem vodního toku hodnocení klesalo. Poslední hodnocený aspekt tvořila realizovatelnost, ta má nejvyšší význam u opatření revitalizace toku, kde dostupnost nebo nedostupnost pozemků často rozhoduje o realizaci nebo nerealizaci opatření. Ze všech navržených opatření jich bylo 174 doporučeno k realizaci. Z hodnocení kritérií bylo možno

vytvořit celkové hodnocení každého opatření celý soubor seřadit a rozdělit do třech etap.

Celkový potenciál redukce vnosu fosforu do povodí je 8236 kg ročně. Zatímco u opatření na čistírnách lze efekt vyjádřit poměrně přesně, u opatření přírodě blízkých nebo hospodaření s dešťovou vodou ve větších sídlech není přesné vyjádření redukce možné. V obou případech ale jde o opatření s vícenásobným efektem.

Vliv rybníků byl zahrnut bilančním výpočtem, dle kterého je celková bilance fosforu v rybnících záporná, tento závěr nekoresponduje s monitorovanými daty, která prokázala zvýšený odtok fosforu zejména z rybníků, na kterých dochází ke kombinovanému chovu ryb a takzvaných mysliveckých kachen. Podrobnější monitoring rybníků je zadavateli studie doporučen do další fáze rozšířit. Podíl vybraných rybníků na vnosu fosforu do povodí se z dosavadních výsledků jeví jako významný, avšak data potřebná k podrobnému popisu fungování rybníčních soustav chybí [3]. Doporučením studie bylo radikálně snížit počet chovaných kachen na 8 vybraných rybnících.

Závěr

Soubor opatření navržených a doporučených k realizaci může přinést snížení až 8.2 t celkového fosforu ročně, přičemž roční vnos do povodí se pohybuje okolo 20 t. Koncentrace přítoku do nádrže ale realizací může klesnout na 0.057 mg/l [3] což je hodnota velmi blízká přirozenému pozadí. Soubor navržených opatření je velké části založen na dobrovolnosti. V povodí v.n. Hracholusky nebylo zjištěno protiprávní jednání v souvislosti s nakládáním s vodami. Všechny čistírny, u kterých je navrženo zvýšit účinnost odstraňování fosforu plní legislativou stanovené limity. Stejně tak čistírny do 2000 EO, které fosfor neodstraňují tak činí zcela v souladu s platnou legislativou. Odlehčovací komory, které množství ani jakost odlehčovaných vod nevidují rovněž nemají povinnost na současném stavu cokoliv měnit. Nejsilnější pozice kraje vůči znečišťovatelům se tak jeví u rybníků, protože výjimka, podle které je možno aplikovat závadné látky za účelem krmení ryb dle § 39 zákona 254/2001 [4] je udělována vodoprávním úřadem. V odůvodněných případech, nejlépe prokázaných monitoringem tedy může být také odebrána. Je vhodné zmínit, že s největším provozovatelem vodovodů a kanalizací v povodí v.n. Hracholusky – VODAKVA byla po celou dobu výborná spolupráce, řada čistíren, u kterých bylo doporučeno zvýšit efekt odstraňování fosforu tak učinila ještě v průběhu zpracování studie. Odstraňování fosforu nad rámec legislativních požadavků tak možné je. Hospodaření s vodou ve větších sídlech je opatření, o kterém v budoucnu jistě uslyšíme v souvislosti s bojem proti suchu, tento druh investičních akcí bude mít ve městech

Tabulka 1. Souhrn všech navržených opatření doporučených k realizaci

typ opatření	etapa 1 [kg/rok]		etapa 2 [kg/rok]		etapa 3 [kg/rok]		celkem
	počet	redukce P _{celk} /rok	počet	redukce P _{celk} /rok	počet	redukce P _{celk} /rok	
Opatření na vodohospodářské infrastrukturu	43	4 969	30	760	33	434	6 163
Opatření přírodě blízká	13	99	5	54	3	0	153
Hospodaření s vodou ve větších sídlech	10	1 151	10	507	4	100	1 758
Individuální zdroje	2	40	9	94	3	19	153
celkem	68	6 259	54	1 415	43	553	

doufejme stále větší podporu, i když jeho souvislost s kvalitou vody v údolních nádržích byla doposud málo zřejmá. Opatření by se nemělo ubírat cestou megalomanských akcí, spíše by se mělo dostat do povědomí stavebních úřadů a místních samospráv. Laicky řečeno každé kopnutí do země v intravilánu za účelem oprav a údržby inženýrských sítí, zkapacitnění komunikací, chodníků nebo parkovišť by mělo být doprovázeno opatřením na zasakování vody z dané plochy. Zasakovat dešťovou vodu ve městech je totiž efektivně možné jen odděleně, z malých ploch. Osvěta domácností je opatření poměrně levné, a přitom může vést k velmi účinnému snížení odtoku dešťových vod kanalizací. Co se týče opatření na snížení vnosu z rekreačních oblastí kolem nádrže, nejpravděpodobněji se jeví zachování státu quo, který sice není v pořádku, avšak pro kvalitu vody v nádrži zdá se není bezprostředním ohrožením.

Realizace opatření bude obtížná a bude záviset na vůli obcí a kraje ke spolupráci, i na vůli jednotlivých obcí něco měnit.

Literatura

- [1] HEISIGOVÁ M., et. al., Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území, MS Architekti, hl. město Praha, 2014
- [2] NOVOTNÁ J., et. al., Možnosti řešení vsaku dešťových vod v urbanizovaných územích ČR, Geotest, Sweco, 2015
- [3] TACHECÍ P., SOUČKOVÁ M., matematické modelování dopadu opatření na vnos živin do nádrže Hracholusky, Vodohospodářská konference s mezinárodní účastí Vodní nádrže; 2019
- [4] zákon o vodách a o změně některých zákonů, 254/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů
- [5] DURAS J., VLČEK L., TACHECÍ P., Studie na zlepšení jakosti vod na vodním díle Hracholusky; Doplnění informací o výsledky aktuální monitorovací kampaně, průzkumu povodí nad nádrží a zhodnocení získaných dat; VRV, a.s., DHI, a.s., Povodí Vltavy, s.p., 2018

PROJEKT HRACHOLUSKY – CHOVÁNÍ NÁDRŽE

Jindřich Duras, Michal Marcel

Povodí Vltavy, státní podnik, Denisovo nábřeží 14, 301 00 Plzeň, tel. +420 377 307 352, jindrich.duras@pvl.cz

Abstrakt

Řešení otázky, jak zlepšit jakost vody ve vodní nádrži (VN) Hracholusky na Mži, bylo nutně soustředěno na sloučeniny fosforu a jejich přísun do nádrže přítoky. V této souvislosti je třeba věnovat se i tomu, jak s fosforem hospodář ekosystém nádrže. Na tom totiž záleží, jak bude nádrž na snižování vstupu fosforu reagovat. Bylo zjištěno, že k vnitřnímu zatížení nádrže sloučeninami fosforu uvolněnými ze sedimentů (za anoxie s paralelním vyčerpáním nitrátů) dochází především v oblastech dna pod termoklinou, takže využitelnost takto uvolněného P je velmi nízká. Zvláštní pozornost byla při monitoringu jakosti vody věnována horním partiím nádrže, kde se produkční vrstva vody setkává s povrchem dna a odkud mohou být uvolňovány zásoby fosforu při změnách redox poměrů, teploty vody či hodnoty pH. Výsledky sledování z let 2018 a 2019 neprokázaly, že by k významnějšímu negativnímu vlivu usazenin v horních mělkých partiích nádrže docházelo. Vždy se jednalo o dominantní vliv přítoku, kde kromě běžného vstupu fosforu dochází i k epizodickým přísunům při odlehčování odpadní vody za srážko-odtokových událostí. Vliv sedimentů je tedy třeba zkoumat buď metodami sedimentologickými. Opatření aplikovatelná přímo na nádrži nebyla v rámci projektu zatím navržena.

Klíčová slova: VN Hracholusky; eutrofizace; sinice; protieutrofi-zační opatření; fosfor.

Abstract

Question how to improve water quality of Hracholusky Reservoir on the river Mže was concentrated on phosphorus compounds and their loads via inflows. In this context it was necessary to study how the ecosystem uses all the phosphorus. On this issue depends the recovery process after the P input reduction. It was found that internal loading by P compounds released from sediments (under anoxic conditions with nitrate depletion parallelly) appeared predominantly on bottom area situated under thermocline – utility of this P was very low. A special attention by monitoring activities was paid to upper shallow parts of the reservoir where production layer meets the surface of the bottom. These parts were suspected to release P compounds under certain changes of redox conditions, temperature or pH value. Results obtained during 2018 and 2019 did not confirm such P release. The influence of P inflows via Mže River was always recognized as dominant – parallelly with standard P input there are epizodic charges of P compounds from sewer overflows during rainy events. Influence of sediments should be studied by the means of sedimentological methods. No measures applicable directly to the Hracholusky Reservoir were proposed, yet.

Keywords: Hracholusky Reservoir; eutrophication; cyanobacteria; measures against eutrophication; phosphorus.

NÁDRŽ LANDŠTEJN – OD OLIGOTROFIE K EUTROFII ... NEVRATNĚ?

Rodan Geriš, Dušan Kosour

Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno, tel. +420 541 637 326, geris@pmo.cz

Abstrakt

Vodárenská nádrž Landštejn patřila mezi nejkvalitnější zdroje pitné vody v povodí Moravy. Vyznačovala se vysokou průhledností, nízkou koncentrací chlorofylu *a* i biomasy. V roce 2014 došlo k intenzivnímu rozvoji sinic rodu *Dolichospermum* a k dlouhotrvajícímu vodnímu květu. Současně došlo k výraznému zvýšení koncentrace chlorofylu *a* i biomasy v průběhu hlavní vegetační sezóny. Toto intenzivní zhoršení pokračovalo až do roku 2018, kdy došlo k částečnému návratu k původní mezotrofii. V roce 2019 se však biologická kvalita vody opět zhoršila, ovšem bez dominantního letního výskytu sinic.

Klíčová slova: vodárenská nádrž; biomasa; vegetační zákal; vodní květ; sinice; klimatické změny; nedostatek dusičnanů.

Abstract

The Landštejn water reservoir was one of the highest quality drinking water sources in the Morava river basin. It was characterized by high water transparency, low chlorophyll concentrations and low phytoplankton biomass. In 2014 there was an intensive development of cyanobacterial genus *Dolichospermum* and prolonged water bloom. There was a significant increase in the chlorophyll concentration and the phytoplankton biomass during the main growing season.

Keywords: Water-supply reservoir; phytoplankton biomass; water bloom; Cyanobacteria; climate changes; shortage of nitrates.

Úvod

V minulosti se v nádrži nevyskytoval intenzivní sinicový vodní květ s výjimkou letního rozvoje spíše mezotrofní sinice *Dolichospermum lemmermanii* v době okolo přelomu tisíciletí. Tehdy docházelo k vytváření sinicových návějí a zbarvení břehové zóny, ovšem koncentracemi chlorofylu *a* odpovídal fytoplankton na nejvyšší mezotrofii. Nejvyšší koncentrace chlorofylu *a* zatím zapříčinily zlativky rodu *Dinobryon* a v roce 2013 zelenivky rodu *Gonyostomum*, které dosáhly biomasy blízké nízké eutrofii. V létě roku 2014 se v epilimniu objevily sinice rodu *Dolichospermum*, které se v červenci rozvinuly do intenzivního vodního květu, přetrvávajícího masově do září a slabě zachyceného ještě v říjnu [1]. A do roku 2017 se situace opakovala s tím, že biologická kvalita vody byla silně snížena. V roce 2018 došlo k výraznému zlepšení, ale v létě 2019 se opět zvýšila primární produkce a spolu s rozsivkami prosadily planktonní sinice.

Parametry a charakteristika nádrže

Landštejn je nevelká vodárenská nádrž v oblasti zvané Česká Kanada v bezprostřední blízkosti rakouské hranice. Má lesnaté a antropogenně minimálně ovlivněné povodí s nepatrnou rozlohou. Leží na přítoku Pstruhovec, který teče do Rakouska a tam ústí do Moravské Dyje.

VN Landštejn má celkovou délku 1,7 km, maximální hloubku 19 m, zásobní objem 2,592 mil. m³ a celkový objem 3,261 mil. m³. Zatopená plocha je 40,5 ha a plocha nejmenšího povodí v Povodí Moravy 12,7 km². Průměrný roční průtok je 0,087 m³ s⁻¹. Nádrž byla uvedena do provozu v roce 1973 [2].

Metodika

Biologické i chemické odběry v nádrži jsou dlouhodobě prováděny na nehlubší svislici v přehradě naproti vodárenskému odběru 7x ročně v průběhu vegetační sezóny. Pomocí multiparametrické sondy YSI byly proměřovány in-situ parametry jako teplota, pH, vodivost nebo koncentrace O₂. Průhlednost je dlouhodobě měřena hrázným 1–2krát týdně. Chemické analýzy provedla laboratoř Povodí Moravy. Celkový fosfor byl stanovován metodou ICP-MS, chlorofyl *a* metodou ISO, řasy a sinice byly počítány v sedimentačních komůrkách v mikroskopu Leica DM-IL, přesnější determinace byly prováděny mikroskopem Olympus BX-60. Byly propočítány hlavní dominanty fytoplanktonu a pro výpočet biomasy byl použit program FYTO-HBU.

Výsledky a diskuse

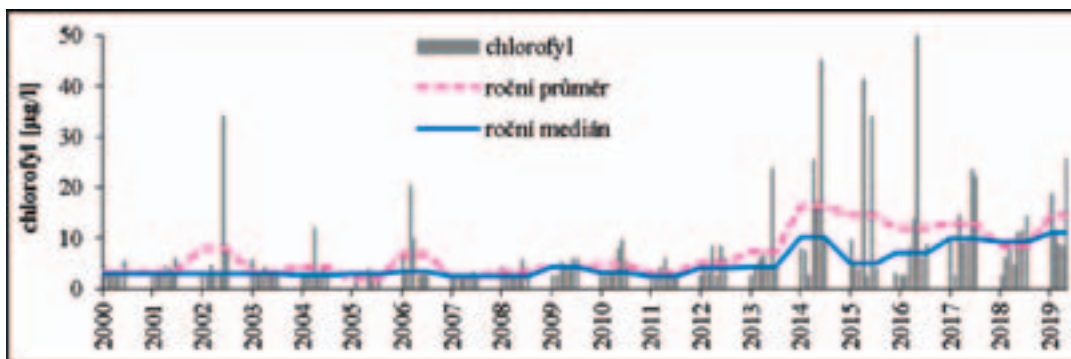
1. Biologické hodnocení

Složení fytoplanktonu v letech 2012–2015

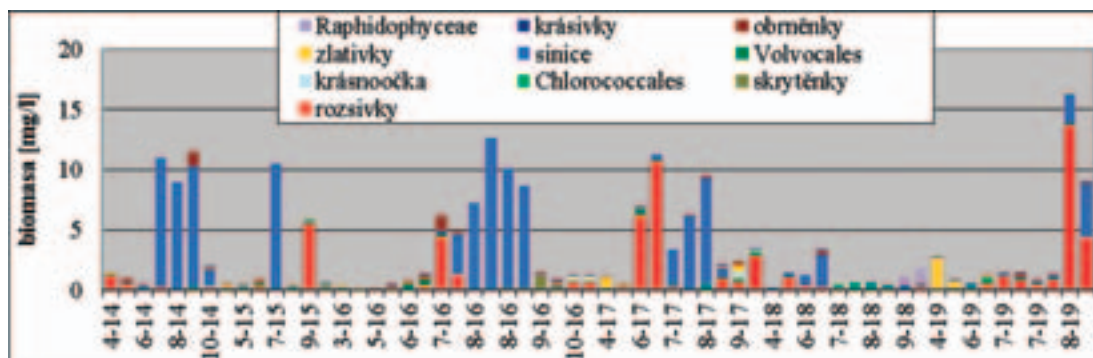
Fytoplankton v nádrži Landštejn se od roku 2012 vyvíjel oproti předcházejícím letům velice rozdílně. Zcela jiný byl průběh vegetační sezóny 2014. Proto jsme popis rozvoje fytoplanktonu v nádrži Landštejn rozdělili do čtyř částí:

2009–2011 mezotrofní období, odpovídající dlouhodobému předchozímu stavu

V tomto období jarnímu fytoplanktonu dominují rozmanité zlativky, velké i malé skryténky a drobné zelené řasy. V létě zcela převažovaly zelené kokální řasy (např. *Planktosphaeria gelatinosa*, *Willea vilhelmii* aj.) a také drobné kokální koloniální sinice preferující mezotrofní jezera a hlavně neschopné tvořit pravý vodní květ (*Aphanothece* sp., *Aphanocapsa* sp., *Radiocystis* sp., *Cyanodictyon* sp., *Merismopedia* sp.). Od srpna se v těchto letech prosazovala centrická rozsivka *Aulacoseira subarctica*.



Obrázek 1. Chlorofyl *a* ve 4m hladinové směšné vrstvě u hráze, VN Landštejn



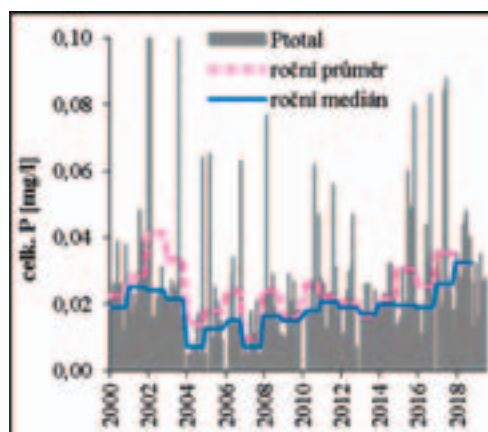
Obrázek 2. Biomasa skupin fytoplanktonu ve 4m hladinové směšné vrstvě, VN Landštejn

2012–2013 období „něco se začíná dít“

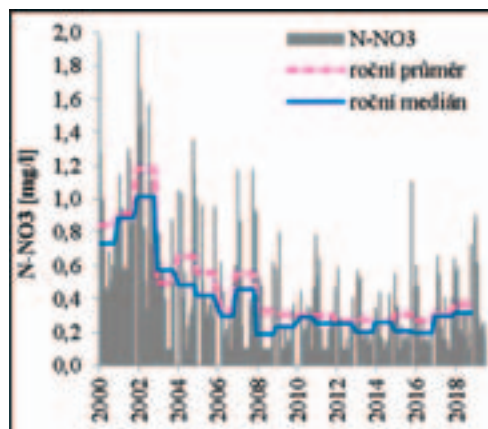
Jarní fytoplankton se vyvíjel velmi podobně jako v předcházejícím období, ale již v červenci došlo k viditelným změnám. Kromě zelených kokálních řas se prosadila rozsivka *Fragilaria crotonensis*, která se více rozvíjí spíše v eutrofních nádržích. Koncem léta se v obou sledovaných letech objevil vegetační zákal, tvořený velkými buňkami zelenivek, pravděpodobně rodu *Gonyostomum*.

2014–2017 výrazné zhoršení biologické kvality vody, letní dominance sinic

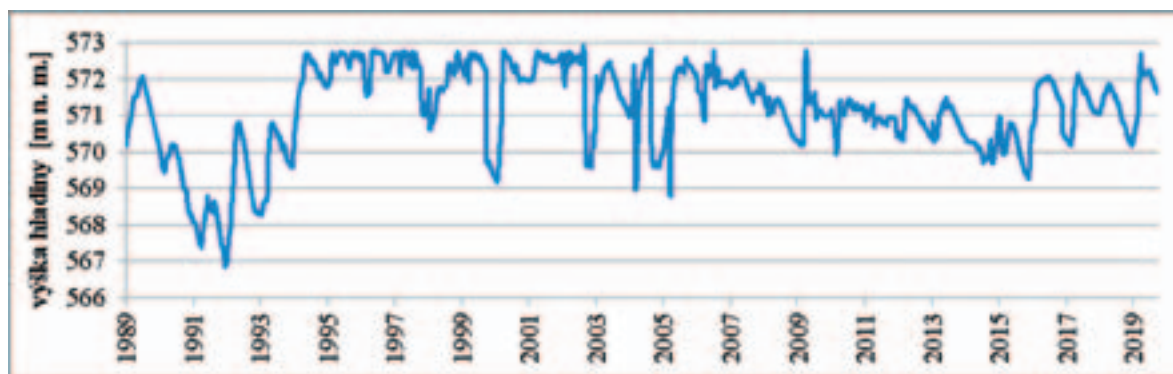
2014 Na jaře došlo k vegetačnímu zákalu, způsobenému pevnatní rozsivkou *Asterionella formosa*, který již v červenci vystřídal intenzivní sinicový květ tvořený druhem *Dolichospermum danicum*, který vytrval až do října (obr. 4). V roce **2015** nedošlo na jaře k tak intenzivnímu rozvoji vegetačního zákalu jako v roce minulém. Hlavní dominantou fytoplanktonu v dubnu byla koloniální zlativka *Uroglena cf. americana*, která byla v květnu nahrazena společenstvy drobných skrytének a rozsivek. V červenci se rozvinul podobně jako před rokem intenzivní vodní květ vláknité heterocytální sinice rodu *Dolichospermum*, kterou bylo tentokrát možno určit jako druh *Dolichospermum planctonicum*. Na rozdíl od předcházející sezóny však tento vodní květ v srpnu zmizel a po srpnových minimálních koncentracích chlorofylu *a*, spojených s vysokou průhledností jsme v září zaznamenali silný vegetační zákal rozsivky *Fragilaria crotonensis*, druhu, který tvoří vyšší biomasu spíše v eutrofních vodách a v Landštejně se do roku 2012 ve významnějším množství prakticky nevyskytoval. Říjnový fytoplankton byl opět tvořen převážně skryténkami. V roce **2016** se počátkem července prosadila rozsivka *Fragilaria crotonensis*, od srpna se však znovu objevil intenzivní vodní květ, tvořený převážně sinicí *Dolichospermum danicum* a ten vydržel až do počátku září. Podobná situace se opakovala také v roce **2017**, ovšem s tím rozdílem, že až do konce října vytrvala poměrně vysoká biomasa rozmanitých řas.



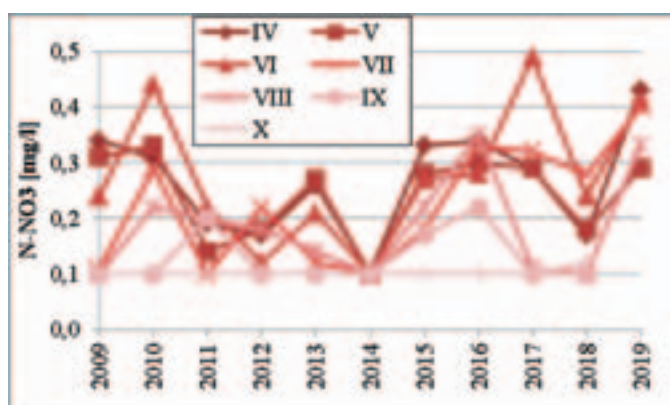
Obrázek 3. Koncentrace P_c na přítoku do nádrže



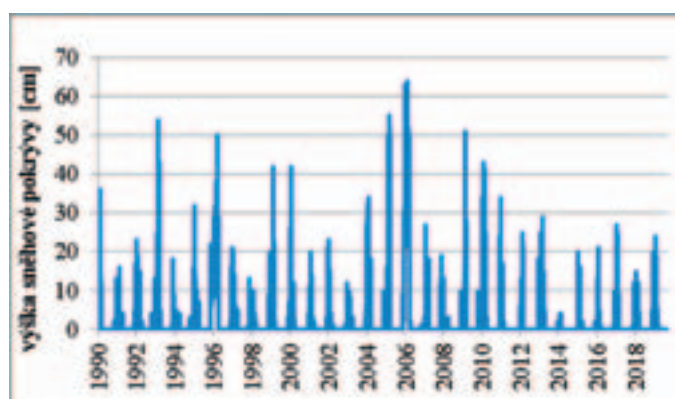
Obrázek 4. Koncentrace $N-NH_4$ na přítoku do nádrže



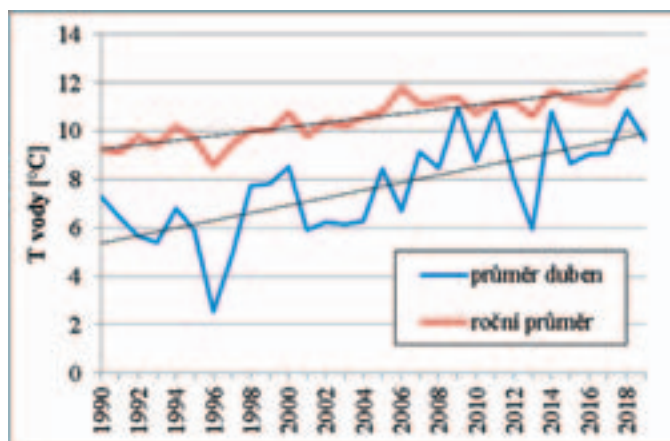
Obrázek 5. Výška hladiny v nádrži Landštejn, denní hlášení



Obrázek 6. Koncentrace N-NO₃ u dna. Hodnota 0,1 mg/l je mez stanovitelnosti použité analytické metody.



Obrázek 8: Výška sněhové pokrývky na nádrži, denní hlášení



Obrázek 7. Teplota vody na hladině, průměry z denních hlášení.

Pozn.: Teplota vody v nádrži dlouhodobě stoupá, za posledních 30 let vzrostla cca o 3 °C. Dubnové teploty vzrostly ještě více, zhruba o 4 °C. To je mimořádně silné oteplení, které nutně vede k urychlení jarního oživení nádrže.

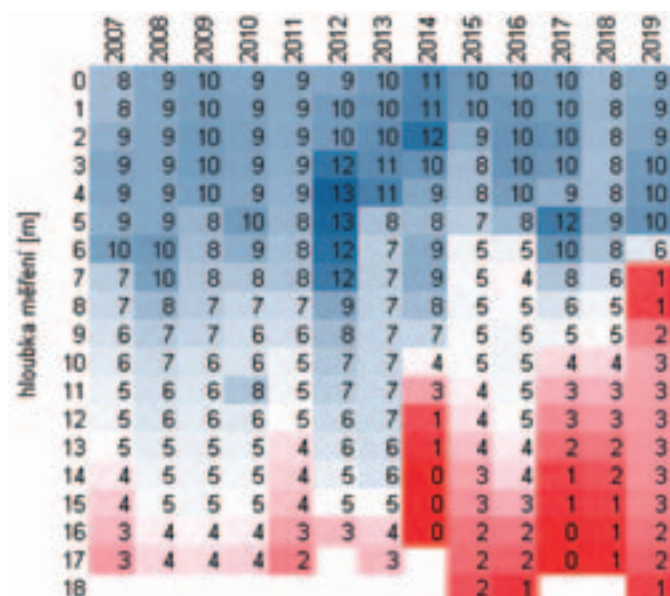
2018–2019 částečné, možná pouze přechodné zlepšení

Rok 2018 byl od zhoršení kvality vody v 2014 po biologické stránce zatím nejlepší. Slabý vodní květ *Dolichospermum danicum* se prosadil pouze v půli července, potom až do konce vegetační sezóny období, kterému dominovaly zelené kokální řasy a velké zelenivky ze skupiny *Raphidophyceae* které podle velikosti biomasy odpovídalo mezotrofii, tedy stavu, ve kterém se nádrž Landštejn dříve dlouhodobě nacházela. Koncem dubna 2019 došlo k poměrně silnému rozvoji zlatívek rodu *Uroglena* a od konce července se prosadila opět jako dominanta rozsívka *Fragilaria crotonensis* a spolu se slabší populací sinice *Dolichospermum danicum* vytrvala až do září. Koncentrace chlorofylu *a* spolu s biomasou ovšem znovu odpovídaly eutrofii.

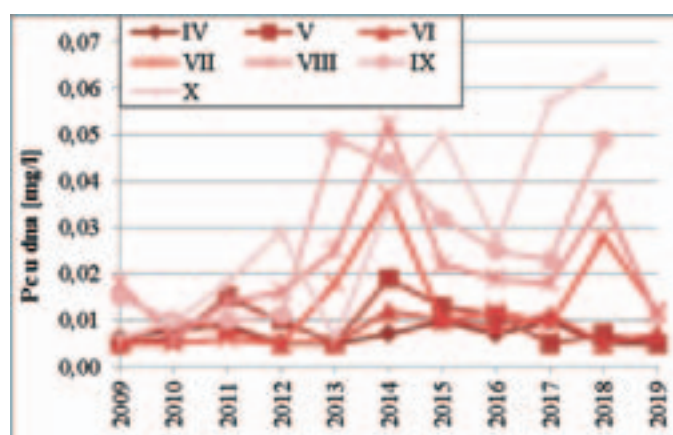
2. Fyzikálně-chemické hodnocení

Živiny potřebné k aktuálnímu rozvoji fytoplanktonu mohou mít dvojí původ: přítok z povodí a vnitřní zátěž nádrže. Z vývoje koncentrace Pc na přítoku je patrné, že v roce 2014 nebyl zaznamenán zvýšený přísun fosforu do nádrže, přitom se prudce zvýšila primární produkce. Zároveň byl na přítoku zachycen pokles dusičnanů od roku 2002 až cca do roku 2017 (obr. 3 a 4).

Neboť nebyl do roku 2014 zaznamenán zvýšený přísun fosforu přítokem, masivní rozvoj fytoplanktonu v sezóně 2014 byl umožněn pravděpodobně aktivací vnitřního zdroje. Tato aktivace mohla nastat jednak mechanickým narušením dna při snížené hladině a resuspenzi částic s navázaným fosforem, jednak vytvořením redukčních podmínek u dna a uvolněním navázaného fosforu.



Obrázek 9. Koncentrace rozpuštěného O₂, červencové hodnoty, vertikála u hráze



Obrázek 10. Koncentrace Pc u dna

Resuspenze zřejmě nastala kvůli snížení hladiny z kóty 572,70 na kótu 571,00 provedené na základě obav obce pod nádrží z povodní (obr. 5). Po vybudování suchého polderu mezi nádrží a obcí byla v roce hladina zvýšena na 572,00, v případě nebezpečí sucha je možné naplnit nádrž až na 572,70. Kvůli nízkým přítokům v posledních letech hladina stále silně kolísá.

Změna redoxních podmínek nastala kvůli úplnému vyčerpání dusičnanů v celém objemu nádrže (obr. 6), který byl výsledkem minimálního přísunu dusičnanů v suché zimě 2013/2014 a následně jeho spotřebou fytoplanktonem (rozsivky), který se na nádrži v roce 2014 rozvinul velmi brzy. Tento brzký rozvoj byl opět umožněn velmi teplou a suchou zimou s malou ledovou a sněhovou pokrývkou a vysokým teplotám na začátku jara (obr. 7 a 8).

V létě 2014 po odeznění jarních společenstev bylo uvolněné místo v nádrži okamžitě obsazeno sinicemi fixujícími vzdušný dusík, které nebyly závislé na zcela vyčerpaných dusičnanech a které využily aktivované zásoby fosforu.

Po roce 2014 se primární produkce nádrže udržuje vyšší, vzniká více biomasy. Její rozklad udržuje nádrž v silnějších a delších stavech anoxie než dříve, což vede k opětovné recyklaci zásob fosforu a jeho zvýšenému množství v nádrži (obr. 9, 10).

V současné době se k uvedeným změnám přidávají další. Je to zejména změna charakteru povodí masivní těžbou smrkových lesů, které usychají vlivem sucha a napadením kůrovcem. Již nyní je možné pozorovat mírný nárůst koncentrací dusičnanů na přítoku, další zvýšení lze očekávat vzhledem ke zvětšujícímu se podílu holin. Na přítoku rovněž zřetelně stoupají koncentrace celkového fosforu. Je otázkou, který ze všech působících vlivů převládá a jestli se nádrž např. díky vyšším hodnotám dusičnanů vrátí do dřívějšího stavu bez dlouhých letních stavů anaerobie.

Závěr

Na vodárenské nádrži Landštejn došlo v roce 2014 k prudkému zhoršení kvality vody kvůli výskytu silného vodního květu sinic, který dříve nebyl na nádrži pozorován. Rozvoji sinic předcházelo hned několik okolností, které se navzájem ovlivňovaly: Pokles hladiny, který narušil sedimenty nádrže, dlouhodobý pokles dusičnanů na přítoku a zejména suchá zima 2013/2014 a teplé jaro 2014. Po vyčerpání dusičnanů došlo k nezvykle brzkému stavu anoxie a zvýšení koncentrace fosforu ve vodním sloupci. Od roku 2014 až do roku 2017 se vyskytoval na nádrži sinicový květ, který se po pauze v roce 2018 vrátil na podzim 2019. V nádrži se od roku 2014 opakují kyslíkové deficity, obsah fosforu v nádrži se významně zvýšil.

V posledních letech je prokazatelné zvyšování koncentrací fosforu a dusičnanů na přítoku, což je pravděpodobně důsledkem zvýšené těžby smrkových porostů v povodí. Zvýšený přísun dusičnanů z obnaženého povodí může nádrži pomoci během letních období anaerobie, na druhou stranu může s erozí přicházet do nádrže více fosforu a trofie nádrže může vzrůstat.

Poděkování

Děkujeme za data poskytnutá doc. RNDr. Petrem Znachorem, Ph.D., z Hydrobiologického ústavu BC AVČR, která doplnila data získaná monitoringem Povodí Moravy, s.p.

Použitá literatura

- [1] GERIŠ, Rodan a Dušan KOSOUR. Nadměrný rozvoj sinic a řas ve dřívě oligo-mezotrofní nádrži Landštejn. In: Vodárenská biologie 2016. Chrudim: Ekomonitor, 2016. ISBN 978-80-86832-90-6. VD Landštejn.
- [2] Povodí Moravy [online]. Brno: Povodí Moravy, s.p., 2010 [cit. 2019-09-27]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/o-podniku/vodni-dila/landstejn/>

PREDIKCE KONCENTRACE FOSFORU A TROFIE V ÚDOLNÍCH NÁDRŽÍCH

Josef Hejzlar, Jiří Kopáček, Yuliya Vystavna

Biologické centrum Akademie věd ČR, Hydrobiologický ústav, Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice,
tel. +420 387 775 876, hejzlar@hbu.cas.cz

Abstrakt

Modelová predikce koncentrace fosforu (P) v nádržích má význam pro řízení kvality vody a trofie, např. pro určování, na jakou úroveň je třeba snížit vnější zatížení P, aby poklesla úroveň trofických podmínek a dosáhlo se dobrého ekologického potenciálu. Hmotnostní bilance P pro 26 nádrží a jezer v ČR ukázaly, že vztah mezi přítokovou koncentrací P a koncentrací P v nádrži není určen výhradně hydrologickými parametry (dobou zdržení vody či hydraulickým zatížením), popř. přítokovou koncentrací P, ale zásadně je ovlivňován vnitřním zatížením ze sedimentů a nádržovým koloběhem P. Vnitřní zatížení a koloběh P jsou individuální charakteristiky každé nádrže, které se ale v čase mohou měnit, např. s akumulací sedimentů nebo změnami vnějšího zatížení P. Predikční modely je proto třeba sestavit a kalibrovat pro každou nádrž jednotlivě a strukturu modelů přizpůsobit konkrétním podmínkám.

Klíčová slova: vodní nádrže a jezera; retence fosforu; hmotnostní bilance fosforu; součinitel rychlosti sedimentace fosforu; empirický model.

Abstract

The model prediction of phosphorus (P) concentration in reservoirs is important for controlling water quality and trophic conditions, e.g. to determine to what level external P load should be reduced in order to decrease trophic conditions and achieve good ecological potential. The mass balance of P for 26 reservoirs and lakes in the Czech Republic showed that the relationship between the inflow P concentration and the in-reservoir P concentration is not determined solely by hydrological parameters (water residence time or hydraulic load) or inflow P concentration but is fundamentally influenced by the internal P loading from sediments and in-reservoir P cycling. These are individual characteristics of each reservoir and may change, for example with sediment accumulation or changes in external P load. Therefore, the prediction models need to be assembled and calibrated for each reservoir individually and the model structure should be adapted to their specific conditions.

Key words: water reservoirs and lakes; phosphorus retention; phosphorus mass balance; phosphorus sedimentation rate coefficient; empirical model.

Úvod

Dostupnost fosforu (P) je považována nejen v limnologii ale také ve vodohospodářské praxi jako hlavní faktor, který určuje produktivitu a jakost vody v nádržích a jezerech [1 – 4]. Nadměrný přísun P má za následek eutrofizaci vnitrozemských vod, která však obvykle není nevratná. Existuje velmi mnoho úspěšných (ale také i řada neúspěšných) případů, kdy se pomocí řízení vnějšího zatížení dosáhlo navrácení eutrofizovaného jezerního či nádržového ekosystému do původního stavu trofie před zvýšením živinového zatížení [5 – 9]. Retence živin je vlastností každého vodního ekosystému a je spojena s jeho geomorfologickými (geografickou polohou, hloubkou, tvarem), hydrologickými a biotickými podmínkami [10, 11]. Retence P ve vodních ekosystémech je řízena především dobou zdržení vody, která určuje, kolik času budou mít přítokové částice obsahující P k usazení na dno, popř. fytoplankton a další organismy v potravních řetězcích k využití rozpuštěného P k tvorbě a přeměnám biomasy, tj. částic, které rovněž podléhají sedimentaci. Současně se ale P ve vodním ekosystému také recykluje, může se uvolňovat ze sedimentu a kolovat ve vodním sloupci mezi organismy nebo vstupovat do různých chemických a fyzikálně-chemických procesů [11].

Relativní velikost zadrženého P vyjadřuje součinitel retence (R_p), který je definován jako $R_p = 1 - P/P_{in}$, kde: P je koncentrace fosforu v nádrži a P_{in} je přítoková koncentrace P, a ze kterého pak lze zpětně, pokud známe jeho velikost, vypočítat nádržovou koncentraci P jednoduchým vztahem $P = P_{in}(1 - R_p)$. Pro predikci R_p bylo v minulosti navrženo mnoho empirickým modelů, např. [2, 12–17], které se uplatňují pro dílčí typy jezer nebo nádrží, ale při univerzálním použití mají přesnost a spolehlivost relativně velmi malou [8, 15]. Pro jednotlivé nádrže je možné v zásadě kterýkoliv z těchto modelů nakalibrovat přesně, ale po změně podmínek ve vodním tělese, pro něž byla kalibrace provedena, např. při změnách vnějšího zatížení P nebo změně klimatických podmínek, se přesnost může ztratit [5, 8, 18, 19].

Cílem naší práce bylo: (i) sestavit hmotnostní bilanci P „vstup – výstup – retence“ pro různé typy nádrží a jezer v ČR, pokrývající velkou škálu trofie, hloubek a doby zdržení vody pokud možno v několikaletých časových řadách (> 3 roky), (ii) pro jednotlivá vodní tělesa vypočítat roční hodnoty ukazatelů retence P, (iii) porovnat rozdíly průměrné retence P mezi nádržemi a jezery a (iv) najít pro jednotlivé nádrže a jezera závislosti ročních hodnot ukazatelů retence na nádržových charakteristikách, zejména na vstupní koncentraci P, zatížení P, průtočnosti či době zdržení. Na základě získaných výsledků ukazujeme, jak predikce odezvy koncentrace P v nádrži na změny v přítokové koncentraci P nebo v zatížení P závisí na volbě modelu a jeho přesnosti.

Materiál a metody

Nádrže a jezera, která byla použita pro studium retence fosforu v naší studii a jejich charakteristiky během hodnoceného období jsou uvedeny v tab. 1.

Tabulka 1. Charakteristické údaje nádrží (průměr ± směrodatná odchylka ročních hodnot) během hodnoceného období: objem (V), plocha (A), průměrná hloubka (z_m), hydraulické zatížení (q_w), průměrná teoretická doba zdržení vody v nádrži (τ_w) a trofické podmínky (O – oligotrofní, M – mezotrofní, E – eutrofní, H – hypertrofní)

Nádrž	Období	V, mil.m ³	A, km ²	z_m , m	q_w , m rok ⁻¹	τ_w , d	Trofie
Boskovice	2006–2010	6,1±0,2	0,49±0,01	12,4±0,1	23±9	228±96	E
Brněnská	2006–2010	12±4,5	1,7±0,5	7±0,6	195±113	17±10	E
Čertovo jezero	1998–2017	1,86±0,00	0,11±0,00	17,4±0,0	8,9±1,8	741±158	O
České Údolí	2006–2010	2,3±0,2	0,91±0,05	2,6±0,1	155±33	6±1	H
Hněvkovice	2007–2009	21,1±0,2	2,7±0,0	7,9±0,1	343±86	9±2	E
Husinec	2007–2009	2,6±0,1	0,37±0,01	7,1±0,1	182±56	15±4	E
Les Království	2006–2010	2,3±1,1	0,31±0,11	7±1,1	973±278	3±1	H
Letovice	2006–2010	9,2±0,6	0,94±0,04	9,8±0,2	25±8	155±51	E
Lipno	1991–2016	233±17	42±1	5,5±0,2	11±3	196±40	E
Ludkovice	2006–2010	0,55±0,03	0,11±0,01	5,1±0,1	27±11	78±26	E
Luhačovice	2006–2010	0,9±0,1	0,22±0,01	4,3±0,2	55±24	34±16	E
Morávka	2006–2010	4,8±0,3	0,52±0,02	9,1±0,2	112±32	32±10	O/M
Mostiště	2006–2010	9,7±0,6	0,81±0,03	11,9±0,3	65±26	76±29	E
Olešná	2006–2010	2,9±0,2	0,39±0,01	7,5±0,2	37±14	84±35	E
Orlík	1972–2015	575±30	21,9±1,0	26,3±0,2	118±37	87±23	E
Plešné jezero	2001–2018	0,55±0,00	0,07±0,00	7,7±0,0	9,7±2,1	302±70	M
Rožmberk	2007–2009	5,9±0,1	4,5±0,1	1,3±0,1	27±4	18±3	H
Římov	1979–2018*	27±3	1,8±0,1	14,7±0,5	72±24	83±27	E
Seč	2006–2010	13,7±0,5	1,51±0,04	9,1±0,1	59±13	59±14	E
Slapy	1979–2015	254±4	11,2±0,1	22,6±0,2	242±81	37±10	E
Slezská Harta	2006–2010	179±6	8,0±0,2	22,3±0,2	23±5	369±67	M/E
Stanovice	2006–2010	19,6±0,8	1,09±0,04	17,9±0,1	20±4	346±81	M
Těrlicko	2006–2010	21±0,6	2,32±0,03	9,3±0,1	20±8	192±66	E
Vranov	2006–2010	96±2	6,2±0,1	15,5±0,1	68±24	94±38	E
Vrchlice	2006–2010	7,6±0,3	0,89±0,02	8,6±0,1	19±8	197±96	M/E
Žlutice	2003–2012, 2018	9,2±0,4	1,3±0,1	7,2±0,6	24±7	120±33	E

*s vyloučením extrémního povodňového roku 2002

Pro bilanční výpočty byla použita: (i) data z provozního sledování hydrologie a jakosti vody v nádržích a jejich přítocích a odtocích získaná od Podniků Povodí (Povodí Vltavy, Ohře, Labe, Moravy a Odry) v rámci řešení výzkumných projektů MZe ČR NAZV č. QI102A265 (2010–2013) a MŽP ČR Metodika pro hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých vodních útvarů – kategorie jezero (2012–2014); (ii) data z dlouhodobého sledování nádrží Slapy, Římov a Lipno a Plešného a Čertova jezera [20, 21, 22] Hydrobiologickým ústavem Biologického centra AV ČR.

Bilanční výpočty retence P byly založeny na rovnici: $Ret\ P = P_{in(m)} - P_{o(m)} - (P_{t=1} - P_{t=0})$, kde $Ret\ P$ [kg rok⁻¹] je retence P; $P_{in(m)}$ [kg rok⁻¹] je množství celkového P ve všech vstupech do nádrže, tj. v přítocích, srážkách i případných vnitronádržňových zdrojích jako např. rybářství či rekreace; $P_{o(m)}$ [kg rok⁻¹] je množství celkového P ve všech výstupech z nádrže, tj. odtocích a odběrech vody; $P_{t=1}$ a $P_{t=0}$ [kg] jsou množství celkového P v nádrži na konci a na začátku bilančního období vypočtená z průměrné koncentrace celkového P a z aktuálního objemu vody v nádrži. Výpočty látkových toků byly prováděny v měsíčním kroku vynásobením

průměrného měsíčního průtoku a průměrné koncentrace P z dat naměřených v daném měsíci, a sumací do ročních hodnot. Z celkového ročního množství P a množství vody proteklé v daném profilu pak byly vypočteny průtokově vážené průměrné roční koncentrace P. Součinitel retence R_p [%] byl vypočten jako: $R_p = Ret\ P / P_{in(m)}$. Součinitel sedimentace $P\ v_p$ [m rok⁻¹] z modelu P v nádrži podle [5, 13] (tj. Model(1)): $P = P_{in(m)} / (1 + v_p / z_m \times \tau_w) / \beta$, byl vypočten vzorcem: $v_p = q_w (P_{in} - P_o) / P_o$, kde q_w [m rok⁻¹] je hydraulické zatížení nádrže ($q_w = Q_{in} / A$ nebo $q_w = z_m / \tau_w$); P_{in} a P_o jsou průtokově vážené koncentrace celkového P ve vstupech a výstupech nádrže; z_m [m] je průměrná hloubka; τ_w [rok] je teoretická průměrná doba zdržení vody v nádrži ($\tau_w = V / Q_{in}$); β [-] je součinitel stratifikace fosforu ($\beta = P_o / P$). Závislosti ročních hodnot v_p na různých charakteristických nádržových veličinách (zejména P_{in} , vnějším zatížení fosforem ($L - P_{in}$) a q_w) byly zjišťovány lineární regresí. Tyto závislosti byly využity v modelu P v nádrži s funkční závislostí součinitele sedimentace $P\ v_{p(f)}$ (tj. Model(2)): $P = P_{in(m)} / (1 + v_{p(f)} / z_m \times \tau_w) / \beta$, kde $v_{p(f)}$ je regresní závislost $v_{p(f)} = ax + b$, přičemž a a b jsou regresní parametry a x může být P_{in} , $L - P_{in}$, q_w nebo τ_w .

Tabulka 2. Průtokově vážené koncentrace P (P_{in} – přítok, P – hladinová vrstva u hráze, P_o – odtok) a chlorofylu *a* (Chla), vnější zatížení P ($L-P_{in}$), součinitel retence P (R_p) a sedimentace P (v_p) (průměry $\pm$ směrodatné odchylky ročních hodnot) a výčet statisticky významných závislostí ($p < 0,05$) v_p na uvedených veličinách pro nádrže a období z tab. 1

Nádrž	P_{in} , $\mu\text{g l}^{-1}$	P, $\mu\text{g l}^{-1}$	P_o , $\mu\text{g l}^{-1}$	Chla, $\mu\text{g l}^{-1}$	$L-P_{in}$, g m^{-2} rok^{-1}	R_p , %	v_p , m rok^{-1}	Závislost v_p
Boskovice	100 $\pm$ 30	26 $\pm$ 2	47 $\pm$ 8	16 $\pm$ 9	2,4 $\pm$ 1,6	52 $\pm$ 11	29 $\pm$ 27	$L-P_{in}$, P_{in}
Brněnská	140 $\pm$ 20	74 $\pm$ 13	77 $\pm$ 20	48 $\pm$ 28	28 $\pm$ 20	44 $\pm$ 14	148 $\pm$ 66	$L-P_{in}$, P_{in}
Čertovo jezero	6 $\pm$ 2	4 $\pm$ 1	4 $\pm$ 1	4 $\pm$ 1	0,05 $\pm$ 0,01	18 $\pm$ 13	2,3 $\pm$ 1,9	$L-P_{in}$, P_{in}
České Údolí	190 $\pm$ 30	150 $\pm$ 20	170 $\pm$ 30	133 $\pm$ 29	29 $\pm$ 10	6 $\pm$ 15	14 $\pm$ 27	–
Hněvkovice	90 $\pm$ 10	43 $\pm$ 7	79 $\pm$ 6	21 $\pm$ 7	31 $\pm$ 13	11 $\pm$ 7	47 $\pm$ 41	$L-P_{in}$, P_{in} , q_w , τ_w
Husinec	50 $\pm$ 10	32 $\pm$ 1	24 $\pm$ 9	18 $\pm$ 4	8,6 $\pm$ 3,9	48 $\pm$ 15	171 $\pm$ 80	$L-P_{in}$
Les Království	110 $\pm$ 40	100 $\pm$ 20	84 $\pm$ 6	60 $\pm$ 24	101 $\pm$ 38	15 $\pm$ 26	233 $\pm$ 435	$L-P_{in}$, P_{in}
Letovice	170 $\pm$ 90	28 $\pm$ 5	55 $\pm$ 3	15 $\pm$ 3	4,5 $\pm$ 3,4	61 $\pm$ 13	56 $\pm$ 55	$L-P_{in}$, P_{in}
Lipno	54 $\pm$ 8	33 $\pm$ 6	33 $\pm$ 6	16 $\pm$ 4	0,58 $\pm$ 0,17	38 $\pm$ 8	7 $\pm$ 3	q_w , τ_w
Ludkovice	110 $\pm$ 20	60 $\pm$ 20	89 $\pm$ 11	32 $\pm$ 9	2,8 $\pm$ 0,6	16 $\pm$ 20	5 $\pm$ 6	–
Luhačovice	140 $\pm$ 30	44 $\pm$ 8	80 $\pm$ 15	26 $\pm$ 5	7,3 $\pm$ 1,8	44 $\pm$ 8	43 $\pm$ 23	$L-P_{in}$, q_w , τ_w
Morávka	15 $\pm$ 3	13 $\pm$ 4	14 $\pm$ 3	5 $\pm$ 1	1,6 $\pm$ 0,5	5 $\pm$ 14	5 $\pm$ 15	–
Mostiště	120 $\pm$ 30	48 $\pm$ 18	71 $\pm$ 13	22 $\pm$ 9	7,3 $\pm$ 2,5	38 $\pm$ 15	38 $\pm$ 14	–
Olešná	120 $\pm$ 30	77 $\pm$ 4	110 $\pm$ 40	36 $\pm$ 15	4,3 $\pm$ 1,2	3 $\pm$ 38	6 $\pm$ 22	P_{in}
Orlík	170 $\pm$ 30	43 $\pm$ 9	90 $\pm$ 20	12 $\pm$ 4	20 $\pm$ 7	45 $\pm$ 6	97 $\pm$ 36	$L-P_{in}$, q_w , τ_w
Plešné jezero	16 $\pm$ 3	14 $\pm$ 3	14 $\pm$ 3	21 $\pm$ 4	0,16 $\pm$ 0,04	12 $\pm$ 7	1,4 $\pm$ 0,9	–
Rožmberk	290 $\pm$ 20	200 $\pm$ 60	230 $\pm$ 30	204 $\pm$ 15	7,8 $\pm$ 1,1	23 $\pm$ 11	8 $\pm$ 4	$L-P_{in}$, q_w , τ_w
Římov	90 $\pm$ 20	33 $\pm$ 5	36 $\pm$ 6	11 $\pm$ 5	6,3 $\pm$ 2,5	58 $\pm$ 6	100 $\pm$ 29	$L-P_{in}$, P_{in} , q_w , τ_w
Seč	60 $\pm$ 14	38 $\pm$ 13	38 $\pm$ 13	13 $\pm$ 5	3,6 $\pm$ 1,2	33 $\pm$ 28	42 $\pm$ 47	–
Slapy	100 $\pm$ 20	54 $\pm$ 10	69 $\pm$ 12	11 $\pm$ 5	24 $\pm$ 9	29 $\pm$ 6	100 $\pm$ 35	$L-P_{in}$, q_w , τ_w
Slezská Harta	100 $\pm$ 30	24 $\pm$ 8	29 $\pm$ 3	10 $\pm$ 5	2,2 $\pm$ 0,7	68 $\pm$ 7	51 $\pm$ 16	$L-P_{in}$, P_{in}
Stanovice	33 $\pm$ 8	12 $\pm$ 1	10 $\pm$ 2	7 $\pm$ 3	0,6 $\pm$ 0,2	68 $\pm$ 5	42 $\pm$ 11	$L-P_{in}$
Těrlicko	73 $\pm$ 20	37 $\pm$ 10	56 $\pm$ 7	13 $\pm$ 4	1,6 $\pm$ 1,1	21 $\pm$ 15	7 $\pm$ 9	$L-P_{in}$, P_{in} , q_w , τ_w
Vranov	140 $\pm$ 30	38 $\pm$ 6	67 $\pm$ 23	15 $\pm$ 7	10 $\pm$ 6	47 $\pm$ 23	81 $\pm$ 79	$L-P_{in}$, P_{in}
Vrchlice	67 $\pm$ 11	36 $\pm$ 16	36 $\pm$ 16	9 $\pm$ 3	1,2 $\pm$ 0,5	46 $\pm$ 23	18 $\pm$ 12	–
Žlutice	60 $\pm$ 10	28 $\pm$ 4	45 $\pm$ 5	12 $\pm$ 3	1,4 $\pm$ 0,4	25 $\pm$ 15	9 $\pm$ 6	$L-P_{in}$, P_{in}

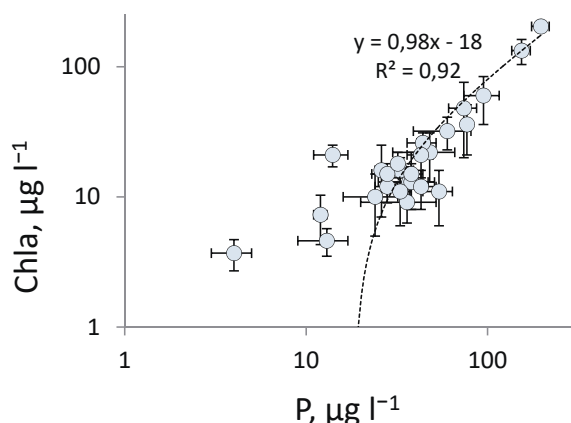
Výsledky a diskuse

Bilanční výsledky popisující koncentrace, zatížení a retenci P, a koncentraci chlorofylu *a* jako hlavního ukazatele trofie pro jednotlivé nádrže jsou souhrnně uvedeny v tabulce 2.

Koncentrace chlorofylu *a* odpovídají relativně dobře koncentracím P v hladinové vrstvě bilancovaných nádrží (obr. 1). Statisticky silně významný lineární vztah ($r = 0,96$, $p < 0,001$) mezi těmito veličinami shodně s četnou literaturou (např. [1, 5, 6, 11]) dokazuje, že P je řídicím faktorem, který prostřednictvím limity fytoplanktonu určuje velikost biomasy a primární produkci v nádržích. Vztah je obzvláště těsný pro eutrofní podmínky a koncentrace P nad cca 20 $\mu\text{g l}^{-1}$. Při nižších koncentracích P se rozptýl kolem regresní přímky zvyšuje, což je zjevně hlavně důsledkem zvyšování významu trofických interakcí a vlivu potravních řetězců ve vodních ekosystémech na koloběhu P za podmínek mezotrofie a oligotrofie. Např. absence herbivorního zooplanktonu a ryb v šumavských jezerech má za následek relativně vyšší koncentrace fytoplanktonu (Plešné jezero: P – 12 $\mu\text{g l}^{-1}$ vs. Chla – 21 $\mu\text{g l}^{-1}$), který se bez žíru zooplanktonem hromadí a jeho

biomasa nepodléhá rychlému obratu [23, 24], na rozdíl od mezo/oligotrofních nádrží s kompletní strukturou potravního řetězce, kde je při obdobných koncentracích P množství fytoplanktonu výrazně nižší (viz nádrže Morávka a Stanovice: P 12–13 $\mu\text{g l}^{-1}$ vs. Chla 5–7 $\mu\text{g l}^{-1}$).

Hodnoty součinitele sedimentace v_p se pohybovaly v našem souboru nádrží a jezer v širokém rozmezí od jednotek do stovek m rok^{-1} (tab. 1, obr. 1), podobně jako i v jiných studiích zahrnujících různorodé vodní systémy [5, 15, 17]. Nízké hodnoty v_p (tj. $< 10 \text{ m rok}^{-1}$) byly zejména u nádrží a jezer s delší dobou zdržení a nízkým zatížením P (např. Morávka, Čertovo jezero, Plešné jezero) nebo u mělčích nádrží s významným vnitřním zatížením P (Lipno [25], České Údolí [26]). Hluboké korytovité nádrže měly bez ohledu na dobu zdržení vody převážně vyšší hodnoty v_p ($> 50 \text{ m rok}^{-1}$). Korelační analýza, kterou jsme zjišťovali, na kterých nádržových parametrech hodnoty v_p mohou záviset, prokázala statisticky významné závislosti v_p na hydrologických ukazatelích (tj. hydraulickém zatížení, době zdržení vody a průměrném průtoku, vysvětlujících 56, 29 a 24 % variability) a na vnějším zatížení $L-P_{in}$ (42 % vysvětlené variability).



Obrázek 1. Závislost koncentrace chlorofylu a na koncentraci P ve 26 nádržích a jezerech ČR. Úsečky kolem bodů – směrodatné odchylky ročních hodnot; čára – regresní přímka

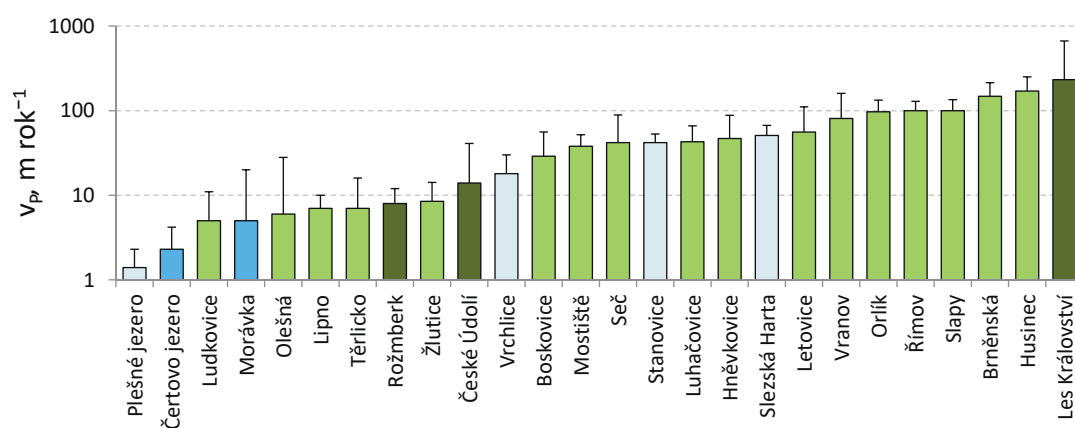
Na průměrné hloubce ani přítokové koncentraci P_{in} hodnoty v_p nezávisely. Tyto výsledky potvrzují obecné tendence a faktory, které v nádržích mohou ovlivňovat retenci P , ale pro zpřesňování predikce odezvy nádrže na změnu přísunu P velký význam nemají (především vinou relativně velkého rozptýlu a z něj vyplývající nejistoty). Několikařákový rozsah hodnot v_p v našem poměrně reprezentativním souboru nádrží ČR a současně absence veličin, pomocí kterých by bylo možné v_p určit přesněji, ukazuje, že pro manažerské výpočty a hodnocení koncentrace P v nádržích je třeba vycházet z hodnot v_p , popř. jiných vhodných veličin popisujících retenci, naměřených přímo pro danou nádrž.

U více než $\frac{2}{3}$ nádrží byly zjištěny statisticky významné závislosti součinitele v_p na hydrologických veličinách (q_w , τ_w) anebo na veličinách popisujících přísun P do nádrží (P_{in} , $L-P_{in}$) (viz tab. 2). Tyto závislosti mají význam pro zlepšení správnosti a přesnosti empirických retenčních modelů při scénářových výpočtech zjišťujících potřebné snížení přísunu P do nádrže k dosažení nějaké cílové koncentrace P v nádrži. Pokud hodnoty v_p závisí na P_{in} anebo $L-P_{in}$, znamená to, že po snížení přísunu P do nádrže bude odezva nádržové koncentrace P jiná, než se jeví podle původního datového souboru, na základě kterého byla průměrná hodnota v_p vypočtena. Na obr. 3 jsou příklady takových závislostí pro tři konkrétní nádrže – Římov, Orlík a Žlutice; v tab. 3 jsou pak pro tyto nádrže vypočtena různými typy modelů potřebná

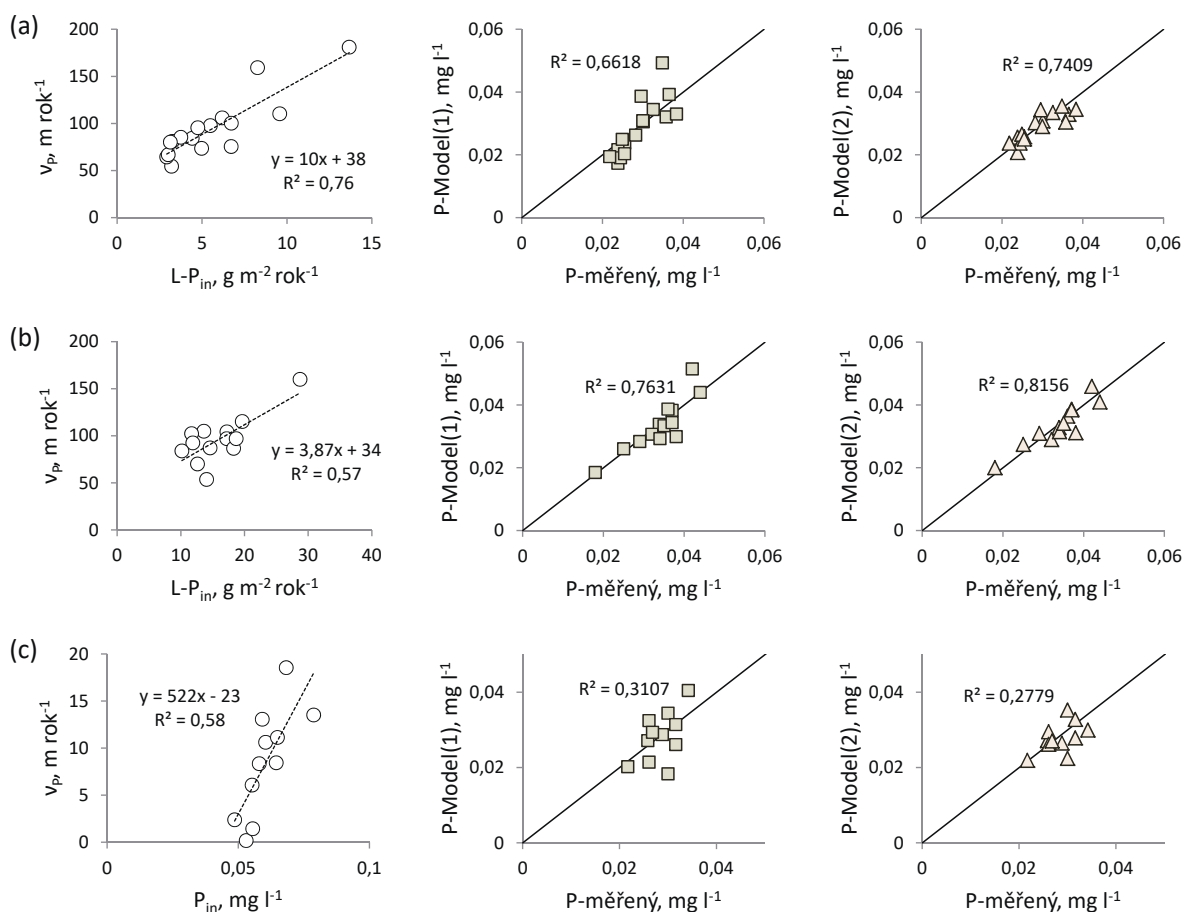
snížení přítokové koncentrace nebo přísunu P k vyvolání změny ze současných eutrofních podmínek (s koncentracemi P v nádrži $28-34 \mu\text{g l}^{-1}$) na mezotrofii s koncentrací P v nádrži $20 \mu\text{g l}^{-1}$.

Závislost v_p na přísunu P byla zjištěna pro všechny tři nádrže jako pozitivní; součinitel sedimentace v_p se tedy s růstem přísunu P zvyšuje, naopak s poklesem P se snižuje. Ve všech třech nádržích tedy existují mechanismy, které tlumí a vyrovnávají účinek změn přísunu P . Těmito mechanismy jsou především na jedné straně velká růstová kapacita nádržového fytoplanktonu a jiných primárních producentů, kteří zvýšený přísun P dokáží zpracovat a dočasně ho z vody odstranit vazbou do biomasy, která odsedimentuje nebo je využita ve vyšších článcích potravních řetězců, na druhé straně proti poklesu koncentrací P působí víceleté zpětné uvolňování P z jeho dočasných zásob v biomase a sedimentech. Závislosti v_p na přísunu P jsou u nádrží Římov a Orlík nepříliš strmé a regresní přímky by při extrapolaci na nulové zatížení $L-P_{in}$ protínaly osu y (pořadnici) při hodnotách v_p 38 a 34 m rok^{-1} . Při snižování přísunu P do těchto nádrží by tedy retence P poněkud klesala, ale ani při výrazném snížení přísunu P by v těchto nádržích vnitřní zatížení P nemělo převládnout a způsobit čisté uvolňování P . U nádrže Žlutice je regresní závislost v_p na přítokové koncentraci P_{in} naopak velmi strmá a pod koncentrací P_{in} $0,044 \text{ mg l}^{-1}$ by se součinitel v_p snížil do záporných hodnot, takže uvolňování P z vnitřních zdrojů v nádrži by převládalo nad retenčními procesy a při dalším snižování přísunu P by koncentrace P v nádrži už neklesala, ale byla by doplňována uvolňováním ze zásob v sedimentech.

Scénářové výpočty potřebné redukce přísunu P do nádrží Římov, Orlík a Žlutice pro snížení trofických podmínek ze současné eutrofie na mezotrofii (tab. 3) ukazují, že Model(1) předpovídá potřebné snížení přísunu P pro jednotlivé nádrže v průměru o 30, 42 a 28 %, kdežto Model(2) předpovídá snížení vyšší, tj. o 38, 46 a 45 %. Je zjevné, že Model(1) potřebné snížení přísunu P podhodnocuje tím, že se v něm nezohledňuje změna součinitele v_p po poklesu zatížení nádrže P . Čím je vyšší podíl vnitřního zatížení v bilanci a koloběhu P , tím je větší rozdíl mezi modely – viz srovnání relativně mělké nádrže Žlutice s nízkou hodnotou v_p ($9 \pm 6 \text{ m rok}^{-1}$) a s předpoklady k vysokému vnitřnímu zatížení P vůči hlubším nádržím Orlík a Římov s řádově vyššími hodnotami v_p (kolem $100 \pm 30 \text{ m rok}^{-1}$) a malým předpokladem k významnějšímu vlivu uvolňování P ze sedimentů. Tyto výsledky ukazují, že pro spolehlivou predikci odezvy nádrže na změny přísunu P je třeba používat modely, které vliv vnitřního zatížení na retenci P v nádržích zahrnují.



Obrázek 2. Součinitel sedimentace fosforu v_p ve 26 nádržích a jezerech ČR. Sloupce představují průměr a úsečky směrodatnou odchylku ročních hodnot v_p ; barva sloupců odpovídá trofickým podmínkám nádrží: oligotrofie – modrá, mezotrofie – světle modrá, eutrofie – zelená, hypertrofie – olivová



Obrázek 3. Závislosti v_p na ukazatelích přísunu P pro nádrže (a) Římov (2003–2018), (b) Orlík (2003–2015) a (c) Žlutice (2003–2012, 2018) (vlevo) a porovnání naměřených ročních průměrných koncentrací P v nádržích s modelovanými koncentracemi P Modelem(1) s konstantní hodnotou v_p (uprostřed) a Modelem(2) s proměnnou hodnotou v_p jako funkcí LP_{in} popř. P_{in} (vpravo)

Tabulka 3. Porovnání scénářových výpočtů potřebného snížení přísunu P do nádrží Římov, Orlík a Žlutice pro dosažení mezotrofních podmínek (tj. průměrné koncentrace P v nádrži $20 \mu\text{g l}^{-1}$) pomocí modelů P (i) s konstantním součinitelem v_p (Model(1)) a (ii) s proměnným součinitelem v_p (Model(2)); uvedená čísla představují průměr $\pm$ směrodatnou odchylku ročních hodnot

Nádrž (období)/ Ukazatel	Římov (2003–2018)	Orlík (2003–2015)	Žlutice (2003–2012, 2018)
<i>Současná situace</i>			
$P, \mu\text{g l}^{-1}$	29 ± 5	34 ± 7	28 ± 4
$P_{in}, \mu\text{g l}^{-1}$	75 ± 16	131 ± 10	61 ± 9
$P_{in(m)}, \text{t rok}^{-1}$	$10,1 \pm 5,1$	340 ± 101	$1,8 \pm 0,5$
<i>(i) Scénář pro dosažení $P = 20 \mu\text{g l}^{-1}$ – Model(1)</i>			
$P_{in}, \mu\text{g l}^{-1}$ (% současnosti)	55 ± 12 (73 ± 16)	82 ± 20 (63 ± 15)	44 ± 7 (72 ± 11)
$P_{in(m)}, \text{t rok}^{-1}$ (% současnosti)	$6,7 \pm 1,3$ (67 ± 13)	204 ± 40 (60 ± 12)	$1,3 \pm 0,4$ (72 ± 22)
<i>(ii) Scénář pro dosažení $P = 20 \mu\text{g l}^{-1}$ – Model(2)</i>			
$P_{in}, \mu\text{g l}^{-1}$ (% současnosti)	48 ± 9 (64 ± 12)	73 ± 19 (56 ± 15)	33 ± 11 (54 ± 18)
$P_{in(m)}, \text{t rok}^{-1}$ (% současnosti)	$5,9 \pm 1,6$ (59 ± 16)	181 ± 43 (53 ± 13)	$1,0 \pm 0,4$ (56 ± 22)

Závěry

Naše studie ukázala, že:

(i) Mezi průměrnými koncentracemi chlorofylu *a* a fosforu ve výběru 26 nádrží a jezer ČR existuje statisticky silně významný lineární vztah, který dokazuje, že fosfor je hlavním určujícím faktorem pro koncentrace fytoplanktonu.

(ii) Schopnosti retence a velikost součinitele sedimentace P jsou individuálními charakteristikami každé nádrže, které mohou v jednotlivých nádržích nabývat řádově rozdílných hodnot.

(iii) Nádrže, které se vyznačují vyšší průtočností, vyšším přísunem P a vyššími přítokovými koncentracemi P , mají také větší retenci i větší velikost součinitele sedimentace v_p .

(iv) Ve dvou třetinách případů (z 26) nebyl součinitel sedimentace v_p konstantní, ale měnil se v závislosti na velikosti přísunu P , přítokové koncentraci P anebo na hydrologických parametrech nádrže, což je způsobeno především jejich vnitřním zatížením P uvolňovaným ze sedimentů.

(v) Predikční modely je proto třeba sestavit a kalibrovat pro každou nádrž jednotlivě a strukturu modelů přizpůsobit konkrétním podmínkám, zejména s ohledem na velikost vnitřního zatížení P .

Poděkování

Studie byla podpořena projektem Biomanipulace jako nástroj zlepšení kvality vody nádrží, reg. č. CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_025/00 07417, financovaným z EFRR/ESF. Autoři děkují státním podnikům Povodí Vltavy, Povodí Labe, Povodí Ohře, Povodí Moravy a Povodí Odry za poskytnutí provozních dat ze sledování jakosti vody a hydrologických ukazatelů ve studovaných nádržích.

Literatura

- [1] SCHINDLER, D.W. *Evolution of phosphorus limitation in lakes*. Science, 1977, roč. 195, s. 260–262.
- [2] VOLLENWEIDER, R.A. & KERÉKES J. *OECD Cooperative Programme for Monitoring of Inland Waters (Eutrophication Control), Synthesis Report*. OECD, Paris, 1980.
- [3] HAVENS, K.E. & SCHELSKE C.L. *The importance of considering biological processes when setting total maximum daily loads (TMDL) for phosphorus in shallow lakes and reservoirs*. Environmental Pollution, 2001, roč. 113, s. 1–9.
- [4] BAI, Z., MA, L., MA, W., QIN, W., VELTHOF, G.L., OENEMA, O. & ZHANG, F. *Changes in phosphorus use and losses in the food chain of China during 1950 – 2010 and forecasts for 2030*. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2016, roč. 104, s. 361–372.
- [5] SAS, H. *Lake restoration by reduction of nutrient loading. Expectation, experience, extrapolation*. Academia Verlag Richarz, St. Augustin, Germany, 1989.
- [6] HARPER, D. *Eutrophication of Freshwaters: Principles, problems and restoration*. Chapman & Hall, London, 1992.
- [7] COOKE, G.D., WELCH, E.B., PETERSON, S.A. & NICHOLS, S.A. *Restoration and Management of Lakes and Reservoirs*. Taylor & Francis, CRC Press, Boca Raton, 2005.
- [8] MÜLLER, B., GÄCHTER, R. & WÜST, A. *Accelerated water quality improvement during oligotrophication in peri-alpine lakes*. Environmental Science and Technology, 2014, roč. 48, s. 6671–6677.
- [9] YAN, K., YUAN, Z.W., GOLDBERG, S., GAO, W., OSTERMANN, A., XU, J.C., ZHANG, F.S. & ELSEY, J. *Phosphorus mitigation remains critical in water protection: A review and meta-analysis from one of China's most eutrophic lakes*. Science of the Total Environment, 2019, roč. 689, s. 1336–1347.
- [10] VITOUSEK, P.M. & REINERS W.A. *Ecosystem succession and nutrient retention: a hypothesis*. BioScience, 1975, roč. 25, s. 376–381.
- [11] WETZEL, R.G. *Limnology: Lake and River Ecosystems, Third Edition*. Academic Press, 2001.
- [12] VOLLENWEIDER, R.A. *Input-output models with special reference to the phosphorus loading concept in limnology*. Schweizerische Zeitschrift Hydrobiologie, 1975, roč. 37, s. 53–84.
- [13] CHAPRA, S.C. *Comment on 'An empirical method of estimating the retention of phosphorus in lakes', by W. B. Kirchner and P. J. Dillon*. Water Resources Research, 1975, roč. 2, s. 1033–1034.
- [14] NÜRNBERG, G.K. *The prediction of internal phosphorus load in lakes with anoxic hypolimnia*. Limnology and Oceanography, 1984, roč. 29, s. 111–124.
- [15] HEJZLAR, J., ŠÁMALOVÁ, K., BOERS, P. & KRONVANG, B. *Modelling phosphorus retention in lakes and reservoirs*. Water, Air, and Soil Pollution: Focus, 2006, roč. 6, s. 487–494.
- [16] BRYHN, A.C. & HÅKANSON, L. *A comparison of predictive phosphorus load-concentration models for lakes*. Ecosystems, 2007, roč. 10, s. 1084–1099.
- [17] BRETT, M.T. & BENJAMIN, M.M. *A review and reassessment of lake phosphorus retention and the nutrient loading concept*. Freshwater Biology, 2008, roč. 53, s. 194–211.
- [18] KÖIV, T., NÖGES, T. & LAAS, A. *Phosphorus retention as a function of external loading, hydraulic turnover time, area and relative depth in 54 lakes and reservoirs*. Hydrobiologia, 2011, roč. 660, s. 105–115.
- [19] HEJZLAR J., JAROŠÍK J., KOPÁČEK J. & VYSTAVNA Y. *Trendy vývoje koncentrací fosforu v nádržích Orlik a Slapy*. VTEI, 2017, roč. 60, č. 2, s. 30–37.
- [20] ZNACHOR, P., HEJZLAR, J., VRBA, J., NEDOMA, J., SEĎA, J., ŠIMEK, K., KOMÁRKOVÁ, J., KOPÁČEK, J., ŠORF, M., KUBEČKA, J., MATĚNA, J., ŘÍHA, M., PETERKA, J., ČECH, M. & VAŠEK, M. *Brief history of long-term ecological research into aquatic ecosystems and their catchments in the Czech Republic. Part I: Manmade reservoirs*. Biology Centre CAS, v. v. i., Institute of Hydrobiology, České Budějovice, 2016. ISBN 978–80–86668–38–3.
- [21] KOPÁČEK, J., HEJZLAR, J., KAŇA, J., PORCAL, P. & TUREK J. *Fluxes of ecologically important solutes in the Plešné catchment–lake system from 2000–2017*. Silva Gabreta, 2018, roč. 24, s. 115–147.
- [22] KOPÁČEK, J., HEJZLAR, J., KAŇA, J., PORCAL, P. & TUREK J. *Fluxes of ecologically important solutes in the Čertovo catchment–lake system from 1998–2017*. Silva Gabreta, 2018, roč. 24, s. 85–114.
- [23] NEDBALOVÁ, L. & VRTIŠKA, O. *Distribution of phytoplankton of Bohemian Forest lakes*. Silva Gabreta, 2000, roč. 4, s. 213–222.
- [24] NEDOMA, J. & NEDBALOVÁ, L. *Chlorophyll content of Plešné Lake phytoplankton cells studied with image analysis*. Biologia, Bratislava, 2006, roč. 61, Suppl. 20, s. 491–498.
- [25] HEJZLAR, J., ZNACHOR, P., SOBOLEKOVÁ, Z. & ROHLÍK, V. *Vysoká eutrofizační účinnost fosforu z odpadních vod v nádrži Lipno*. Vodní hospodářství, 2016, roč. 66, č. 6, s. 8–12.
- [26] DURAS, J. & HEJZLAR, J. *The effect of outflow depth on phosphorus retention in a small, hypertrophic temperate reservoir with short hydraulic residence time*. International Review of Hydrobiology, 2001, roč. 86, s. 585–601.

EUTROFIZACE STAŇKOVSKÉHO RYBNÍKA, ANEB KDE JSOU PŘÍČINY ZHORŠUJÍCÍ SE KVALITY VODY TÉTO VÝZNAMNÉ REKREAČNÍ LOKALITY?

Jan Potužák¹, Jindřich Duras², Michal Marcel², Libor Pechar³, Marek Baxa³, Zdeňka Benedová³,
Martin Musil³, Lenka Kröpfelová³, Jana Šulcová³

¹ Povodí Vltavy, státní podnik, útvar vodohospodářských laboratoří, Pražská tř. 490/90, 370 10 České Budějovice,
tel. +420 387 312 257, jan.potuzak@pvl.cz

² Povodí Vltavy, státní podnik, oddělení plánování v oblasti vod, Denisovo nábřeží 14, 304 20 Plzeň,
tel. +420 377 307 352, jindrich.duras@pvl.cz

³ ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň

Abstrakt

Staňkovský rybník je jedním z největších rekreačně využívaných rybníků v České republice. Po dlouhá léta vykazoval stabilní, velmi dobrou kvalitu vody. Od roku 2009 však začínáme pozorovat změny, které v důsledku znamenají zhoršení jakosti vody, která se projevuje zvyšující se přítomností sinicových vodních květů a tedy i zhoršováním podmínek pro rekreaci. V roce 2017 byl zahájen podrobný bilanční monitoring povodí Staňkovského rybníka, který doplnil dlouhodobě realizovaný monitoring kvality vody ve vlastním rybníce. Získané výsledky ukázaly, že změna v chování Staňkovského rybníka byla vyvolána souhrou několika faktorů. K nejdůležitějším patří zejména dlouhodobý poměrně vysoký přísun fosforu hlavním přítokem z povodí. Ústup kyselých dešťů (acidifikace) vyvolal v povodí řadu změn, které podpořily eutrofizační proces a v neposlední řadě také sucho, které zhoršilo průběh všech těchto negativních trendů.

Klíčová slova: Staňkovský rybník; eutrofizace; acidifikace, fosfor.

Abstract

The Staňkovský pond is one of the largest recreational ponds in the Czech Republic that had stable and very good water quality for many years. However, since 2009, we have started to observe water quality deterioration, which was reflected in the increasing presence of cyanobacterial blooms, and hence worsening conditions for recreation. The detailed monitoring of the catchment area of Staňkovský pond have started in 2017 and supplemented the long-term monitoring of water quality in the pond. The results obtained show that the changes in Staňkovský pond were caused by a combination of several factors. One of the most important factors is the long-term high supply of phosphorus via a main inflow from the catchment area. The decline of acid rains (acidification) has caused several changes in the catchment area, which supported the eutrophication process, and overall rain deficiency and drought exacerbated all these negative trends.

Keywords: Staňkovský fish pond; eutrophication; acidification; phosphorus.

Úvod

Staňkovský rybník (241 ha, 6,3 mil. m³, plocha povodí 122,2 km²) je svou rozlohou dvanáctým největším rybníkem v České republice. Rybník byl vybudován v 16. století (r. 1550) Mikulášem Ruthardem z Malešova, především kvůli omezení negativního vlivu povodní na Koštěnickém potoce. Kromě této funkce je v současnosti rybník využíván zejména k vodní rekreaci. Oficiálně je tento rybník největším rekreačním rybníkem v Jihočeském kraji. Není na něm realizován produkční chov ryb (pouze sportovní rybolov). Vlastníkem rybníka je Rybářství Třeboň Hld. a.s.

Staňkovský rybník, vykazoval dlouhodobě velmi dobrou kvalitu vody s úrovní na hranici mezo až mírné eutrofie. Od roku 2009 jsme však začínali zaznamenávat změny, které se v důsledku projevovaly zhoršením kvality vody a to zejména s ohledem na nárůst biomasy fytoplanktonu se zvyšující se přítomností sinicových vodních květů. Zároveň se v létě ve vodě odtékající z rybníka v posledních letech objevuje sirovočís (sulfan, H₂S), jehož zápach významným způsobem znepříjemňuje život občanům i rekreačním v obci Staňkov pod hrází rybníka.

V létě roku 2016 byl zaznamenán nebývale silný rozvoj vodního květu sinic. To byl impuls k zahájení prací směřující ke zjištění příčin zhoršování kvality vody, s cílem navrhnout nápravná opatření.

Tento příspěvek si klade za cíl představit nejdůležitější výsledky doplněné o návrh opatření, která by měla vést ke zlepšení kvality vody v této významné jihočeské rekreační nádrži.

Materiál a metody

Pravidelný monitoring kvality vody Staňkovského rybníka je realizován státním podnikem Povodí Vltavy od roku 2007. Z dříve realizovaných odběrů je možné využít data společnosti ENKI, o.p.s., která realizovala cyklické odběry na Staňkovském rybníce v letech 1990 – 1991 a 2000 – 2001. V režii českobudějovické laboratoře Povodí Vltavy byl v roce 2017 zahájen podrobný průzkumný monitoring povodí Staňkovského rybníka. Ten byl ukončen v únoru 2019. Společnost ENKI, o.p.s. se v posledních letech zabývala zejména detailním monitoringem rybníka samotného, vzorkováním několika drobných lesních přítoků a angažovala se také v podchycení srážkoodtokových událostí na ČOV v Nové Bystřici.

Frekvence sledování kvality vody Staňkovského rybníka byla v průběhu jednotlivých období rozdílná. Odběry vzorků v letech 1990 – 1991 resp. 2000 – 2001 byly realizovány třikrát během vegetační sezóny (duben – květen, červen a srpen – září). Pravidelný provozní monitoring státního podniku Povodí Vltavy je na Staňkovském rybníce realizován od dubna do října. Odběrová frekvence je 1x za měsíc. V roce 2010 – 2011 byl monitoring poprvé modifikován tak, aby bylo možné odhadnout látkovou bilanci (zaměřenou zejména na sloučeniny fosforu) Staňkovského rybníka. Z tohoto důvodu byla frekvence sledování zkrácena na čtrnáctidenní interval a vzorkování bylo realizováno v průběhu celého roku. Kromě hlavního přítoku, bylo sledování rozšířeno o vzorkování odtoku. K bilančnímu monitoringu Staňkovského rybníka jsme se opět vrátili v roce 2018 – 2019 v rámci podrobného vzorkování jeho povodí.

Rozsah analyzovaných parametrů se v průběhu let měnil, ale v základu se jednalo o stanovení hlavních živin a jejich forem a nerozpuštěných a organických látek. V rybníce byla dále měřena průhlednost vody a analyzována koncentrace chlorofylu *a*. Vzorkován byl také fytoplankton a zooplankton. Vzorkování bylo převážně realizováno v dolní části nádrže v prostoru „u hráze“. Hydrochemické vzorky, chlorofyl *a* a vzorky pro analýzu fytoplanktonu byly odebírány trubkovým vzorkovačem z profilu 0 – 2 m. Zooplankton byl vzorkován planktonní sítí (průměr ok síťoviny 80 µm), třemi pětimetrovými horizontálně-vertikálními tahy. Od roku 2008 je také pravidelně (duben – říjen, min. 1x měsíčně) realizováno zónační měření hlavních fyzikálně chemických a vybraných chemických parametrů (vše v dolní části nádrže v prostoru „u hráze“).

Kromě hlavního přítoku se od roku 2010 vzorkuje i odtok z rybníka. Umístění odběrových profilů vzorkovaných v rámci

podrobného monitoringu povodí je znázorněno na obrázku 1. Vzorkování chemických parametrů je pro účely bilančního sledování doplněno o měření aktuálního průtoku přístrojem FlowTracker (Sontek).

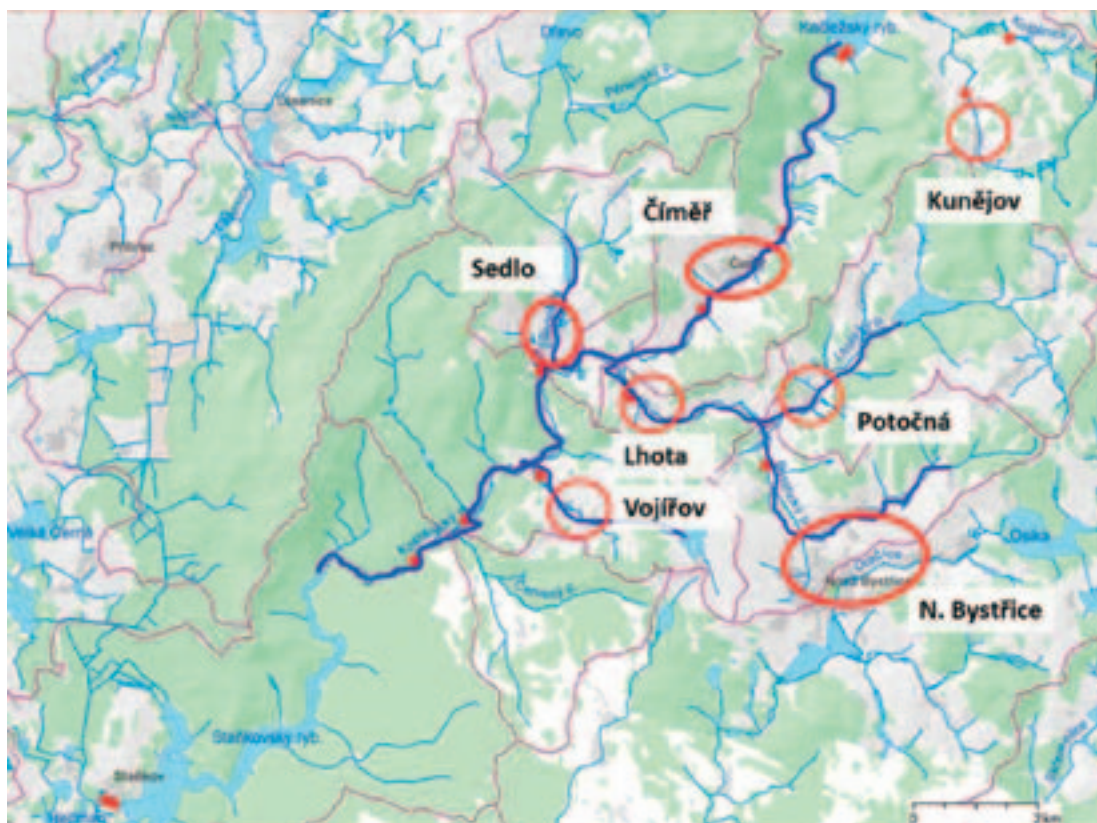
V průběhu let 2010 – 2012 byl v rámci bilančního monitoringu Staňkovského rybníka vzorkován také níže ležící rekreační rybník Hejtman (78 ha) a od roku 2013 v povodí výše ležící chovný Kačležský rybník (196 ha).

Výsledky a diskuze

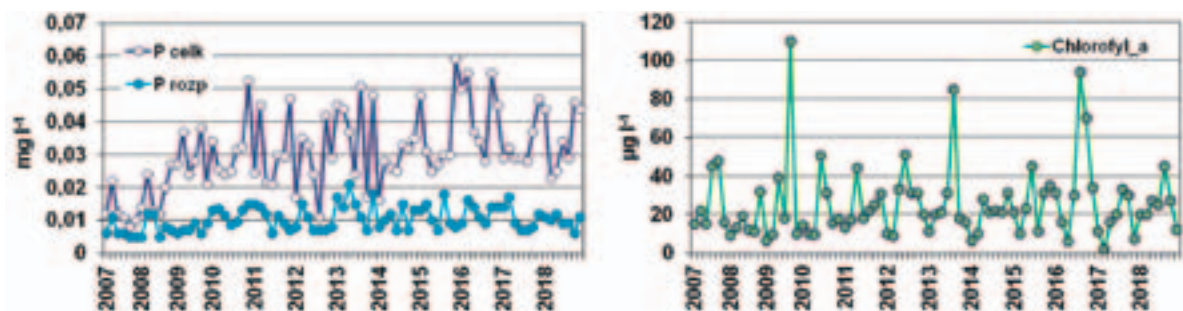
V povrchové vrstvě vody Staňkovského rybníka se od roku 2009 postupně zvyšuje koncentrace fosforu, tedy živiny, která určuje rozvoj sinic. Zároveň byly během vegetačního období častěji zaznamenávány epizody s výrazným nárůstem biomasy řas a sinic (obrázek 2).

Markantní změny postihly, od roku 2011 také kvalitu vody odtékající ze Staňkovského rybníka. Sulfan unikající z odtékající vody obtěžuje obyvatele, ale ve vodě jsou v létě a na podzim i výrazně zvýšené koncentrace sloučenin fosforu a železa. Fosfor přitékající do níže ležícího taktéž rekreačního rybníka Hejtman je samozřejmě významným eutrofizačním rizikem i pro tuto lokalitu (obrázek 3).

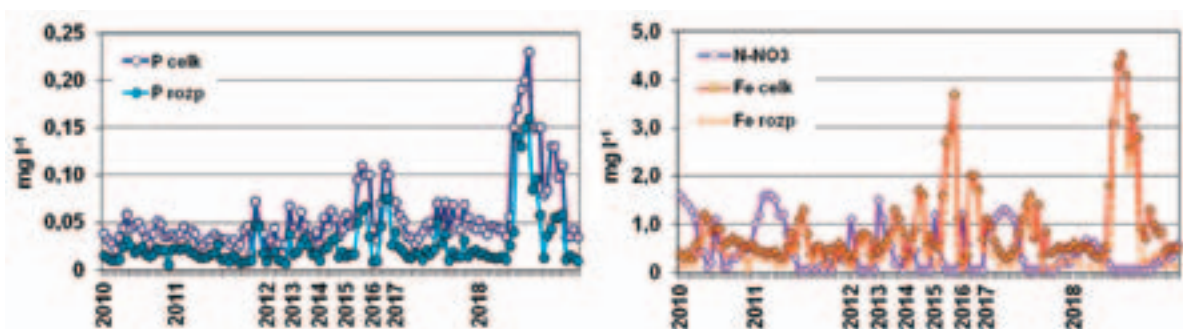
Změna chování Staňkovského rybníka byla vyvolána souhrou několika faktorů. K těm nejdůležitějším patří zejména dlouhodobě poměrně vysoký přísun fosforu hlavním přítokem, tedy Koštěnickým potokem z povodí (obrázek 4). Fosfor z přítoku se postupně akumuloval v sedimentech, odkud ale může být za určitých podmínek opět reaktivován a využit pro růst řas a sinic. Rozhodujícím zdrojem sloučenin fosforu pro rybník jsou komunální



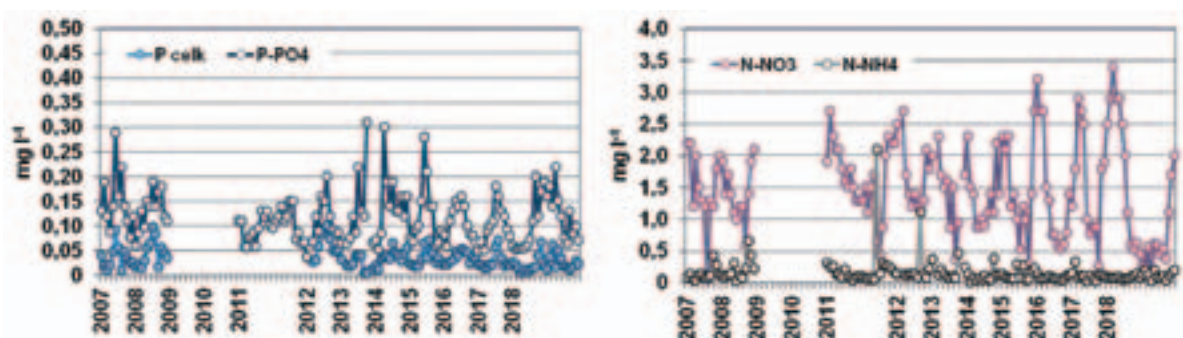
Obrázek 1. Staňkovský rybník a jeho povodí s vyznačením monitorovacích profilů průzkumného monitoringu státního podniku Povodí Vltavy (červené body) a se zvýrazněním bodových zdrojů sloučenin fosforu



Obrázek 2. Průběh koncentrace celkového (P celk) a rozpuštěného fosforu (P rozp) a chlorofylu_a v epilimniu (~0 – 2 m) Staňkovského rybníka v průběhu let 2007–2018



Obrázek 3. Průběh koncentrace celkového (P celk) a rozpuštěného fosforu (P rozp), dusičnanového dusíku (N-NO₃), celkového a rozpuštěného železa na odtoku ze Staňkovského rybníka za období 2010–2018



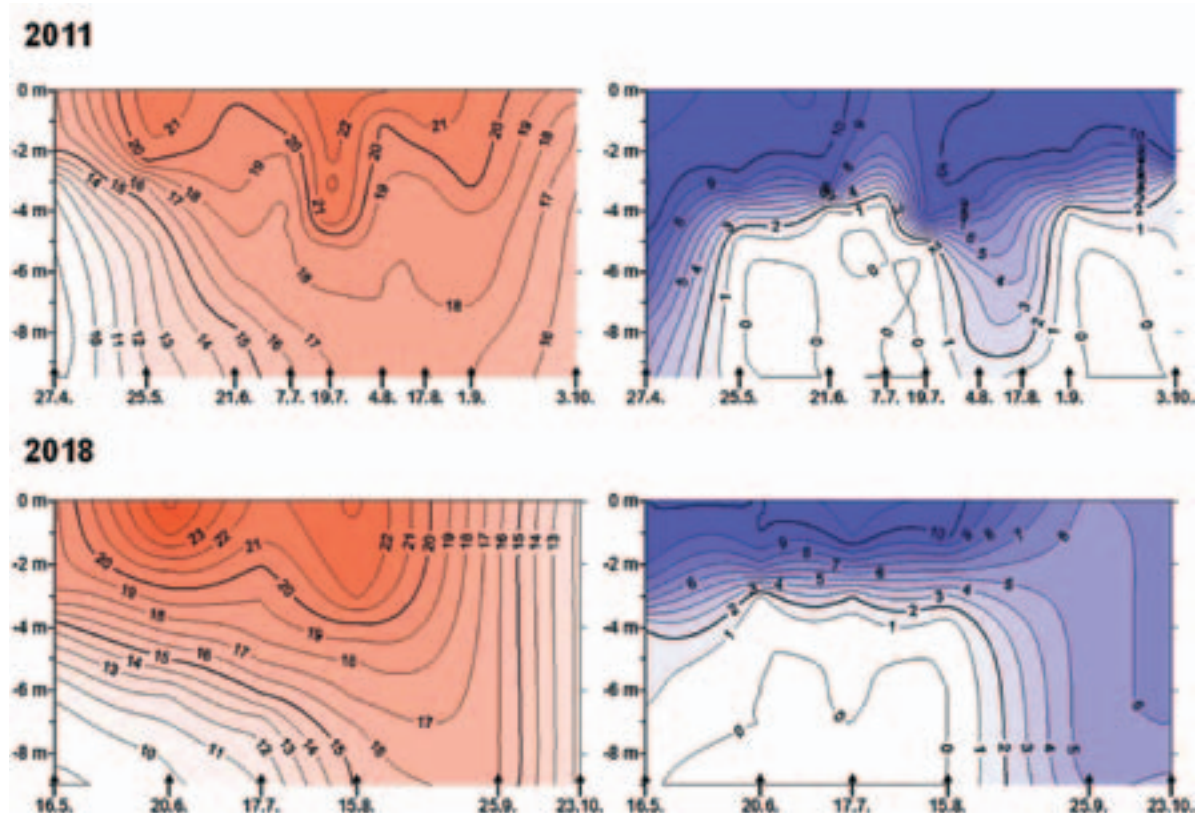
Obrázek 4. Průběh koncentrace celkového (P celk) a fosforečnanového fosforu (P-PO₄) a dusičnanového (N-NO₃) a amoniakálního dusíku (N-NH₄) hlavním přítokem (Koštěnický potok) za období 2007–2018

odpadní vody. Velký význam mají zejména letní srážkoodtokové události, které přináší eutrofizační nejrizikovější sloučeniny fosforu s odlehčováním odpadními vodami ze sídel.

Druhý z faktorů, který pravděpodobně podpořil postupnou eutrofizaci Staňkovského rybníka, byl ústup kyselých dešťů (acidifikace) kolem roku 2000. Postupně probíhající post-acidifikační proces vyvolal řadu změn, které podpořily eutrofizační proces: výrazně se snížil přísun hliníku s jarními kyselými vodami (hliník ale pevně váže fosfor) a snížil se vstup dusičnanových iontů, které dokáží držet sloučeniny fosforu pevně „zamčené“ v sedimentech (obrázek 4).

Sucho, které můžeme zaznamenat v posledních několika letech, zhoršilo průběh všech těchto negativních trendů. Došlo zejména ke snížení vstupu dusičnanových iontů, jejich sníženým vyplavováním ze zemědělské půdy, takže sloučeniny fosforu se mohly rychleji uvolňovat ze sedimentů. Snížením průtočnosti rybníka došlo ke zhoršení kyslíkových (oxidoredukčních) poměrů v hloubce pod skočnou vrstvou (pod 3–4 m) do té míry,

že se z usazenin uvolňují sloučeniny fosforu a železa a ze síranů vzniká redukčními pochody sirovohlík (obrázek 5). Negativní vliv na chování Staňkovského rybníka ukazuje také porovnání hydrologické bilance a bilance celkového fosforu v letech 2011 a 2018. Letní období v roce 2011 bylo v povodí Staňkovského rybníka srážkově bohaté, což se významně projevilo jak v objemu přítékající vody, tak i v celkové roční teoretické době zdržení vody (96 dní). Rok 2018 byl naopak v povodí rybníka srážkově podprůměrný. Významné sucho bylo zaznamenáno zejména v průběhu letního období. Malý objem přítékající vody měl za následek prodloužení teoretické doby zdržení na 533 dní. Odhad bilance celkového fosforu v roce 2011 ukázal na velkou „efektivitu“ Staňkovského rybníka zadržovat celkový fosfor. Reálně zjištěná retenční (66%) byla dokonce vyšší nežli retenční, kterou by měl rybník vykazovat s ohledem na teoretickou dobu zdržení (48%). Naopak v roce 2018 byla reálně zjištěná retenční (15%) výrazně nižší nežli retenční potenciální (69%) (tabulka 1).



Obrázek 5. Vývoj teploty vody (°C) a koncentrace kyslíku (mg l⁻¹) ve vertikálním profilu v dolní části Staňkovského rybníka v průběhu vegetačních sezón 2011 a 2018

Tabulka 1. Porovnání bilance a retence celkového fosforu (P celk) Staňkovského rybníka v roce 2011 a 2018. Potenciální retence vypočítána dle Hejzlar et al. 2006 [1].

Parametr	2011	2018
Roční objem odtoklé vody (m ³)	2403700	4338000
Teoretická doba zdržení (dny)	96	533
Vstup P celk (t)	2,49	0,41
Výstup P celk (t)	0,86	0,35
Bilance P celk (vstup – výstup) (t)	1,63	0,06
Retence P celk - potenciální (%)	48	69
Retence P celk - potenciální (t)	1,2	0,28
Retence P celk - reálná (%)	66	15
Retence P celk - reálná (t)	1,63	0,06
Specifický přísun P celk (g m ⁻² rok ⁻¹)	1,03	0,17
Specifický odnos P celk z povodí (kg km ⁻² rok ⁻¹)	20,4	3,4

Deficit srážek z posledních let se projevil nejen na chování Staňkovského rybníka, ale i chování v povodí výše ležícího Kačeležského rybníka. U tohoto rybníka jsme v posledních několika letech zaznamenali výrazný nárůst koncentrace celkového fosforu odtékajícího spodní výpustí (max. srpen 2018 0,95 mg l⁻¹). Dramaticky vzrostly i koncentrace chlorofylu *a* (sumární biomasa fytoplanktonu), které v letních měsících dosahují ve vrstvě 0–1 m až 300 µg l⁻¹.

V posledních letech se také ukazuje, že dalším negativním faktorem ovlivňujícím kvalitu vody ve Staňkovském rybníce je

vysoká hustota populace tzv. bílé ryby, která má jednak schopnost recyklovat sloučeniny fosforu, jež jsou pak dostupné pro růst sinic a dále pak svým predačním tlakem významně ovlivňuje biomasu a druhové složení zooplanktonu. Z pohledu sportovního rybolovu lze jako negativní faktor jmenovat vnaďení ryb. To však bylo vlastníkem rybníka v uplynulém roce zakázáno.

Z charakteru změn kvality vody Staňkovského rybníka v posledních letech jasně vyplývá, že k žádnému „samovolnému návratu zpět“ nedojde. Zlepšení kvality vody lze tedy dosáhnout pouze cestou systému nápravných opatření. Ty je třeba zaměřit

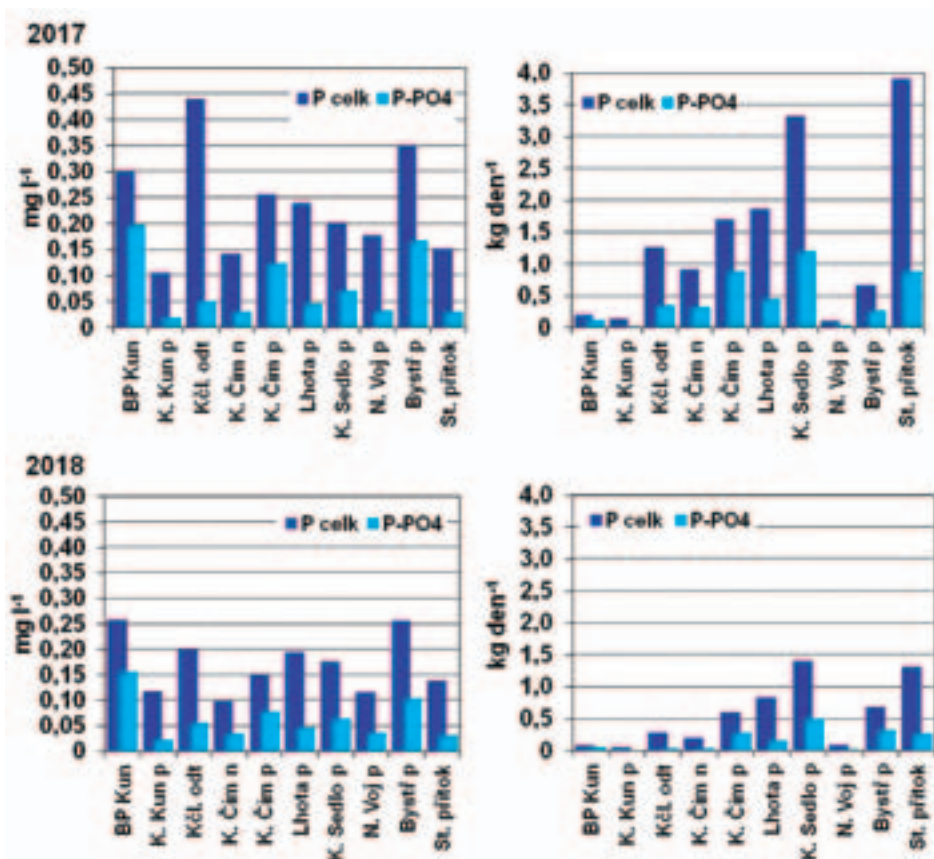
primárně do povodí Staňkovského rybníka s cílem minimalizovat emise fosforu do vodního prostředí. Toto je základní a nejdůležitější cesta ke zlepšení kvality vody. Protože realizace opatření v povodí rybníka zabere hodně času, a protože odezva ekosystému na snížený přísun fosforu se bude odehrávat s několikaletým časovým zpožděním, bylo by žádoucí souběžně uvažovat o dočasné realizaci opatření přímo v rybníce. Oba typy opatření se musí vzájemně doplňovat.

Cílem těchto opatření je zejména minimalizovat emise fosforu, a to i za srážkoodtokových událostí. Důležité bude provedení kritické revize nakládání s odpadními vodami ve všech větších sídlech v povodí (obrázek 1). Přestože v povodí největší město Nová Bystřice má ČOV, která je vybavená technologií na srážení fosforu, bylo by vhodné prověřit možnosti dosažení stabilně nižších koncentrací ve vyčištěné odpadní vodě. Dalším významným zdrojem fosforu je obec Číměř. Aktuálně zde probíhá rekonstrukce ČOV, kde by bylo žádoucí uplatnit podstatně přísnější požadavky na kvalitu odtékající vody (zejména pak fosforu), než odpovídá současnému „benevolentnímu“ nařízení vlády č. 401/2015 Sb.

Vyřešit nakládání s odpadními vodami bude důležité také v drobnějších obcích (Potočná, Lhota, Sedlo a Nový Vojířov) (obrázek 6). Uvažovat lze i s využitím (dostatečně dimenzovaných) polopřirozených způsobů čištění odpadních vod.

Jako velký problém se ukazuje omezení vstupu znečištěné s odlehčovými vodami z jednotné kanalizace primárně s využitím zasakování v místě dopadu srážek, jak ostatně požaduje i platná legislativa. Další variantou je vybudování oddílné dešťové kanalizace a retenčních nádrží, včetně retenční nádrže před čistírnou odpadních vod (ČOV), odkud je pak zachycená směs srážkové a odpadní vody čerpána na ČOV a řádně čištěna. Situace v sídlech by měla být standardně řešena na základě např. studie koncepce odtokových poměrů. Týká se to především města Nová Bystřice a obce Číměř.

Hlavním aktuálním cílem nápravných opatření na Staňkovském rybníce je zbavit se zápachu sirovodíku a minimalizovat koncentrace sloučenin fosforu v odtékající vodě, tedy v přítoku do rybníka Hejtman. To by mohla částečně vyřešit aplikace dusičnanu vápenatého v podobě granulí využívaných v zemědělství, případně v podobě aplikačního roztoku. Ošetřit by bylo třeba



Obrázek 6. Porovnání průměrné koncentrace (mg l⁻¹) celkového (P celk) a fosforečnanového fosforu (P-PO4) a průměrná bilance (kg den⁻¹) celkového a fosforečnanového fosforu v jednotlivých odběrových profilech v letech 2017 a 2018 (průměrované období duben – září). BP Kun – bezejmenný přítok od obce Kunějov, K. Kun p. – Koštěnický potok Kunějov pod, Kčl. odt – Kacelžský rybník odtok, K. Čim n – Koštěnický potok Číměř nad, K. Čim p – Koštěnický potok Číměř pod, Lhota p. – Lhotský potok pod obcí Lhota, K. Sedlo p – Koštěnický potok Sedlo pod, N. Voj p – Vojířovský potok pod obcí Nový Vojířov, Bystř p – Bystřický potok pod Novou Bystřicí, St. přítok – Koštěnický potok nad Staňkovským rybníkem.

~8 ha plochy nejhlubšího dna u hráze rybníka a ~215 tis. m³ vody (objem vody v hloubce pod 4 m v uvedené oblasti). V prvním roce je třeba počítat s množstvím zhruba 30–50 tun ve třech až pěti aplikacích od června do září. Orientační cena je zhruba 150–250 tis. Kč plus další náklady spojené s aplikací a monitoringem chování rybníka. V dalších letech by množství aplikovaného dusičnanu bylo pravděpodobně nižší (přibližně o čtvrtinu až polovinu).

Pro zlepšení oxidoredukčních podmínek u dna by mohla posloužit také vhodná aerační technologie založená buď na provzdušňování, nebo na čerpání vody od hladiny ke dnu rybníka. Předběžně se zdá být výhodnější čerpání vody od hladiny ke dnu soustavou čerpadel, např. s napájením fotovoltaickými panely. Náklady by v prvním roce patrně násobně převýšily náklady na aplikaci dusičnanu, ale v dalších letech by byly naopak nižší.

Dávkování koagulantů na bázi železa by bylo neúčinné, koagulanty na bázi hliníku by sice spolehlivě snížily koncentrace fosforu u dna (tedy i v odtoku), ale sirovodíkový zápach by zůstal.

Vhodné by bylo také zadat územně krajinářskou studii celého povodí zaměřenou na hydrologické poměry a hospodaření s vodou, s cílem zvýšit retenci vody v krajině, tedy omezit vliv povodní i sucha. Zvýšení retence vody znamená i snížení odnosu živin, tedy snížení vstupu fosforu do Staňkovského rybníka.

Závěr

Jakost vody Staňkovského rybníka se v posledních letech zhoršila a je zásadně ohroženo jeho rekreační využívání. Zároveň je ohrožena i kvalita vody níže ležícího rekreačního rybníka Hejtmán, a to zhoršenou kvalitou vody odtékající ze Staňkovského rybníka. Na zhoršení kvality vody se podílelo několik faktorů, jejichž vliv byl zesílen sérií suchých let. Bez realizace nápravných opatření se stav Staňkovského rybníka nezlepší a v rybníce Hejtmán dojde pravděpodobně k postupnému zhoršování kvality vody.

Nápravná opatření je třeba zaměřit především do povodí Staňkovského rybníka s cílem razantně snížit vstup sloučenin fosforu do vodního prostředí, a to včetně emisí ze srážkooodtokových událostí. Zároveň je třeba vyřešit pravidelný letní sirovodíkový zápach pod hrází Staňkovského rybníka a také zvýšený obsah fosforu v odtékající vodě. Ke zlepšení situace může přispět i regulace rybí obsádky.

Autoři tohoto příspěvku mají za to, že při poměrně malé rozloze povodí Staňkovského rybníka se jedná o zvládnutelný úkol. Navíc je zde nezbytné řešit situaci velmi podobnou ostatním povodím (nádrž Jordán v Táboře či dokonce nádrž Orlický), tedy radikálně snížit emise fosforu v situaci, kdy legislativa neposkytuje pevnou oporu.

Literatura

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

EFEKTIVITA REGENERAČNÍCH ZÓN PŘI ČIŠTĚNÍ VOD NA PŘÍRODNÍCH KOUPALIŠTÍCH

Marek Baxa, Zdeňka Benedová, Lenka Kröpfelová, Dana Vlková, Jana Šulcová

ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň, tel. +420 776 616 104, marek.baxa@prirodou.cz

Abstrakt

Regenerační zóny na přírodních koupalištích tvoří klíčový prvek v biologickém čištění vody. V příspěvku popisujeme schopnost regeneračních zón snižovat, v systému přírodních koupališť, znečištění vody v průběhu koupací sezóny. Porovnáváme stěžejní parametry, určující kvalitu vody – celkový N, N-NO₃, celkový P, P-PO₄, chlorofyl *a*, vodivost. Výsledky z koupaliště Lazna v Borovanech (2016) a koupaliště Pohoda v Sezimově Ústí (2017) ukazují, že prokazatelné rozdíly mezi bazénem a regenerací jsou pouze u parametrů TN, vodivosti a chlorofylu *a*.

Klíčová slova: přírodní koupaliště; regenerační zóny; efektivita čištění.

Abstract

Ability of regeneration zones to reduce water contamination in natural swimming pools was monitored during the summer seasons. We focused on the key parameters, which determined the quality of water – TN, N-NO₃, TP, P-PO₄, chlorophyll *a*, conductivity. The results showed significant differences in TN, chlorophyll *a* and conductivity.

Keywords: natural swimming pools; regeneration zones; efficiency of purification.

Úvod

Výstavba přírodních koupališť (natural swimming pools, NSP) začíná v posledních letech značný rozvoj. Jsou vítanou alternativou ke klasickým bazénům s chemicky upravenou vodou i k přírodním koupacím vodám, jejichž kvalita se stále zhoršuje. Realizační firmy sdružené v mezinárodní profesní organizaci (IOB) nabízí různé varianty výstavby rodinných i veřejných koupacích bazénů. Rodinná/zahradní jezírka mívaly objem řádově v desítkách m³, veřejná koupaliště, tzv. „Biotopy“ mívaly objem několik tisíc m³. Koupaliště pro veřejnost musí splňovat hygienické parametry, které jsou definované legislativou. Doporučené kvalitativní ukazatele jsou uvedeny ve Standardech [1], které vychází z německých norem [2]. Jsou definovány limity pro zdrojovou plnicí a doplňovanou vodu. V České republice byly tzv. „biotopy“ až do roku 2011 řazeny mezi přírodní koupaliště. V roce 2011 proběhla velká revize zákonných norem a od té doby jsou tyto lokality definovány jako „stavba povolená k účelu koupání vybavená systémem přírodního způsobu čištění vody ke koupání“ a jsou hodnoceny podobně jako tzv. „betoňáky“ podle třetí části vyhlášky č. 238/2011 Sb. [3]. Provozovatelé těchto koupališť jsou povinni pravidelně odebírat vzorky vody a sledovat následující

parametry – průhlednost vody (větší než 1 m), množství fekálních bakterií (*E. Coli* – méně než 100 KTJ, Intestinální enterokoky – méně než 50 KTJ) a množství sinic. Další parametry, které významně určují biologické vlastnosti a funkce přírodního koupaliště, běžně sledovány nejsou, nebo až v případech, kdy koupaliště nefunguje optimálně.

Systém přírodních koupališť je rozdělen na koupací a regenerační zónu. První má charakter přírodního jezera a druhá je tvořena jednou až třemi regeneračními lagunami a slouží pro biologické čištění vody. Voda v tomto systému recirkuluje.

Účinnost čištění vody v regeneraci závisí na – množství vitální vegetace, bakteriálních nárostech, planktonních společenstvech, ale i například na množství koupajících se osob. Společně se stáváním koupališť je logickým výústěním, že se v letních fázích sezóny začíná voda v koupalištích zhoršovat. Tzn., významně se snižuje průhlednost vody, zvyšuje se množství fytoplanktonu ve vodě a zvyšuje se koncentrace fekálních bakterií. Tento stav logicky vyvolal otázku, zda a nakolik jsou regenerační zóny účinné a jak nastalé situace řešit. V rámci smluvního výzkumu tak byly sledovány a porovnány kvalitativní parametry vody na výtoku z regenerace a ve vlastním koupacím bazénu.

Cílem výzkumné aktivity bylo změřit a porovnat fyzikálně chemické parametry vody mezi koupací nádrží a regenerací. Jinými slovy zjistit, zda v regenerační části dochází k efektivnímu odbourávání, zejména živin, které jsou hlavní příčinou zhoršující se kvality vody v nejvíce využívané části sezóny, a to v období letních prázdnin.

Metodika

Monitoring nad rámec legislativních povinností na prezentovaných koupalištích závisí na provozovateli areálů. Metodika odběrů, zejména jejich počtu, se tak odvíjí od požadavků konkrétního subjektu.

Koupaliště Lazna v Borovanech 2016 (B)

Odběry a rozborů vody byly prováděny pravidelně každý týden od 17. 5. do 27. 9. Celkem bylo provedeno 19 odběrů z koupacího bazénu a na výtoku z regenerační zóny. K převozu vzorků byly použity 5l PE lahve. Analyzované parametry: elektrická vodivost, pH, KNK_{4,5} (mmol/l), N-NH₄ (mg/l), N-NO₂ (mg/l), N-NO₃ (mg/l), TN (mg/l), P-PO₄ (mg/l), TP (mg/l), Cl⁻ (mg/l), koncentrace chlorofylu *a* (µg/l), turbidita, fluorescence.

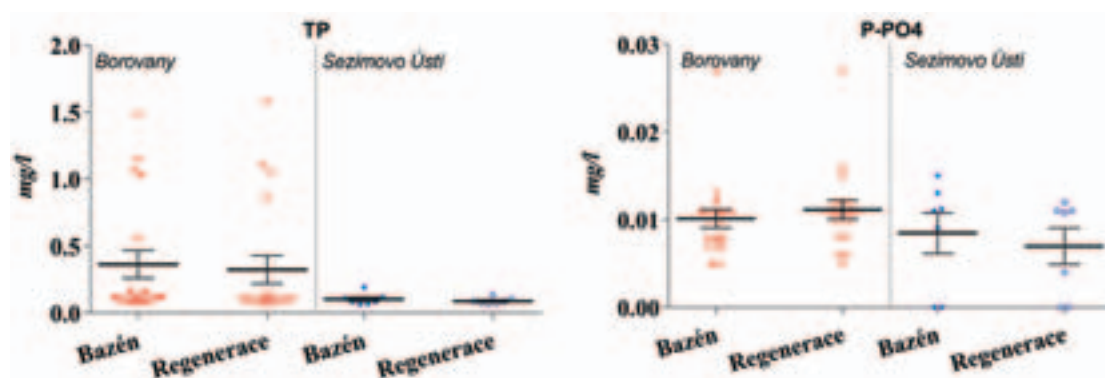
Koupaliště Pohoda v Sezimově Ústí 2017 (SU)

Monitoring byl prováděn v pravidelných 14ti denních intervalech od června do září. Celkem 7 odběrů z koupacího bazénu a na výtoku z regenerační zóny. K převozu vzorků byly použity 5l PE lahve. Analyzované parametry: elektrická vodivost, pH, KNK_{4,5} (mmol/l), N-NO₃ (mg/l), TN (mg/l), P-PO₄ (mg/l), TP (mg/l), Cl⁻ (mg/l), koncentrace chlorofylu *a* (µg/l).

Tabulka 1. Průměrné koncentrace TP a P-PO₄ a zjištěný rozsah (MIN-MAX) na koupalištích Borovany a Sezimovo Ústí

TP (mg/l)	BB	BR	SUB	SUR	P-PO ₄ (mg/l)	BB	BR	SUB	SUR
Minimum	0,08	0,08	0,07	0,07	Minimum	0,005	0,005	0,000	0,000
Maximum	1,48	1,59	0,19	0,14	Maximum	0,027	0,027	0,015	0,012
Průměr	0,36	0,32	0,10	0,09	Průměr	0,010	0,011	0,008	0,007

BB = Borovany bazén; BR = Borovany regenerace; SUB = Sezimovo Ústí bazén; SUR = Sezimovo Ústí regenerace



Graf 1. Porovnání koncentrací TP(A) a P-PO₄(B) v bazénu a regeneraci na koupalištích v Borovanech a v Sezimově Ústí

Tabulka 2. Průměrné koncentrace TN a N-NO₃ a zjištěný rozsah (MIN-MAX) na koupalištích Borovany a Sezimovo Ústí

TN (mg/l)	BB	BR	SUB	SUR	N-NO ₃ (mg/l)	BB	BR	SUB	SUR
Minimum	0,81	0,84	0,34	0,34	Minimum	0,00	0,00	0,00	0,01
Maximum	3,54	2,23	1,20	1,01	Maximum	1,50	1,97	0,16	0,39
Průměr	1,76	1,49	0,70	0,72	Průměr	0,60	0,69	0,07	0,15

BB = Borovany bazén; BR = Borovany regenerace; SUB = Sezimovo Ústí bazén; SUR = Sezimovo Ústí regenerace

Statistické vyhodnocení

Porovnání výsledků mezi regenerací a bazénem bylo provedeno analýzou „Kruskal-Wallis test“ a Column statistics“ v programu GraphPad PRISM 7 [4] s využitím moderního zobrazení dat pomocí tzv. „scatter plot graphs“ [5].

Výsledky a diskuze

Fosfor

Potvrzuje se, že kritickým prvkem v systému přírodních koupališť je fosfor. Základní statistické shrnutí výsledků je uvedeno v Tabulce 1. Zejména na koupališti v Borovanech se ukazuje, že TP dosahuje ve vrcholné fázi koupací sezóny (polovina července až konec srpna) vysokých hodnot, které se v regeneraci prakticky nesnižují a zůstávají na hodnotách kolem 1 mg/l (Graf 1A). To jsou hodnoty o řád vyšší, než doporučují standardy [1]. Hodnoty P-PO₄ jsou na námi sledovaných koupalištích naopak příznivě nízké (Graf 1B), na rozdíl od zjištění [6], která udává vysoké koncentrace P-PO₄ v takovýchto koupalištích.

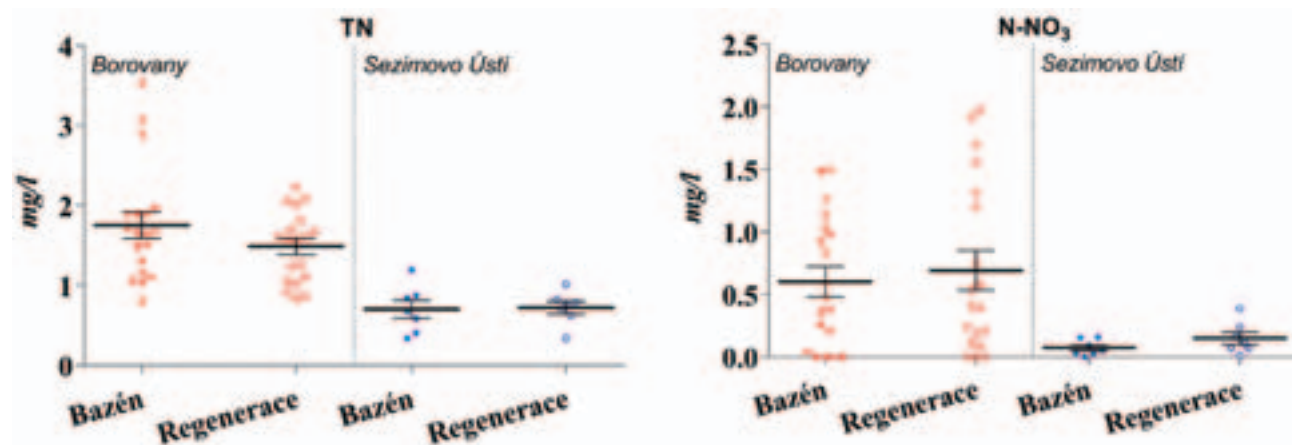
Relativně nízké hodnoty na koupališti v Sezimově Ústí si vysvětlujeme tím, že koupaliště bylo uvedeno do provozu v roce 2016 a veškeré procesy se v roce 2017 prozatím ustalovaly.

Dusík

Účinné snižování koncentrací v regeneraci jsme zaznamenali u celkového dusíku v Borovanech. Zřejmě je to u maximálních hodnot ve vrcholném létě, které regenerace významně tlumí. V Sezimově Ústí nelze hovořit o efektivním odbourávání TN v regeneraci (Graf 2A). Zajímavé je porovnání koncentrací N-NO₃. V Borovanech i v Sezimově Ústí z regenerace vytékaly vždy vyšší koncentrace (Graf 2B). Tuto skutečnost lze vysvětlit odlišným množstvím fytoplanktonu, reprezentovaného jako chlorofyl a, v systému koupališť. V bazénu obou koupališť, zejména ve vrcholném létě, se vykytuje větší množství fytoplanktonu než v regeneraci (Graf 3), který s velkou pravděpodobností efektivněji snižuje koncentrace N-NO₃ v bazénech. Statistické údaje TN a N-NO₃ uvádí Tabulka 2.

Chlorofyl a

Tam kde regenerační zóny plní svoji úlohu dobře, je snižování koncentrace chlorofylu a, tzn. eliminace fytoplanktonu. Ukazuje se, že kombinace mechanického filtru, systému šterkopískových hrázek a kořenující vegetace, představuje účinný filtrační systém pro volně plovoucí částice ve vodě. V tomto případě fytoplankton. Graf 3 zobrazuje, že na výstupu z regenerace je koncentrace Chla vždy nižší než v koupacím bazénu.



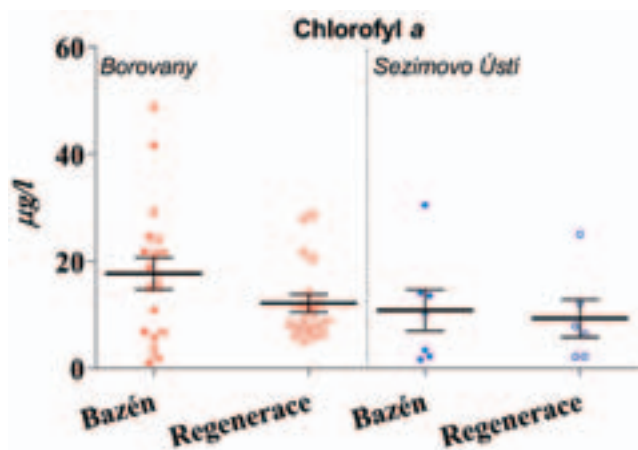
Graf 2. Porovnání koncentrací TN(A) a N-NO₃(B) v bazénu a regeneraci na koupalištích v Borovanech a v Sezimově Ústí

Nejvyšší zjištěná hodnota z obou koupališť nepřesáhla hranici Chla 50 µg/l [7] (Tabulka 3), což lze považovat za pozitivní ukazatel. Relativně nízké koncentrace Chla, tudíž i přijatelná průhlednost, je velmi dobrý výsledek vzhledem k vysoké koncentraci fosforu. To znamená, že rozvoj fytoplanktonu omezuje i další klíčový faktor – dafniový zooplankton.

Tabulka 3. Průměrné koncentrace chlorofylu *a* v bazénu a regeneraci na koupalištích v Borovanech a v Sezimově Ústí

Chla (µg/l)	BB	BR	SUB	SUR
Minimum	1,07	4,99	1,63	2,19
Maximum	48,90	28,72	30,50	25,03
Průměr	17,69	12,16	10,85	9,33

BB = Borovany bazén; BR = Borovany regenerace; SUB = Sezimovo Ústí bazén; SUR = Sezimovo Ústí regenerace



Graf 3. Porovnání koncentrací Chla v bazénu a regeneraci na koupalištích v Borovanech a v Sezimově Ústí

Vodivost

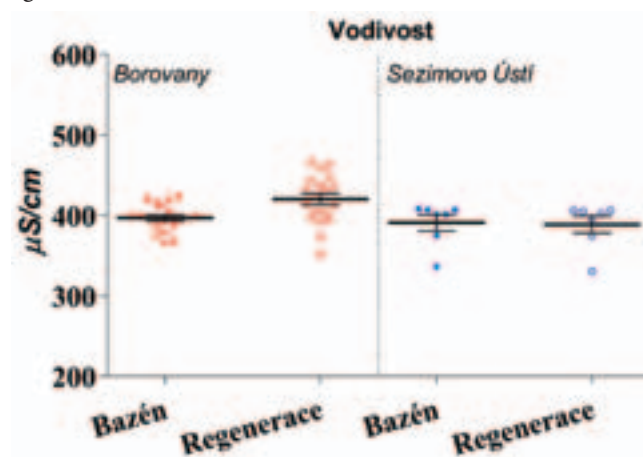
V důsledku zvyšování obsahu iontů z koupajících se osob jsme u vodivosti očekávali vyšší hodnoty v bazénu než v regeneraci. Na koupališti v Borovanech se prokázal zcela opačný závěr. V Sezimově Ústí regenerace vodivost nezvyšovala ani nesnižovala (Graf 4). Jedním z vysvětlení může být periodické dopouštění vody z vrtu na obou koupalištích, která je bohatá na chloridy a dusičnany. Dopouštěná voda prochází nejprve skrze regeneraci,

čímž se zde vodivost zvyšuje. Dalším vysvětlením může být fakt, že voda protékající přes štěrkopískové lavice je obohacena o ionty zvyšující vodivost. Jak ukazuje Tabulka 4, hodnoty se od sebe výrazně neliší a pohybují se na úrovni povrchových vod rybníčního charakteru.

Tabulka 4. Průměrné koncentrace vodivosti v bazénu a regeneraci na koupalištích v Borovanech a v Sezimově Ústí

Vodivost (µS/cm)	BB	BR	SUB	SUR
Minimum	366	352	336	330
Maximum	423	466	408	406
Průměr	397	420	391	389

BB = Borovany bazén; BR = Borovany regenerace; SUB = Sezimovo Ústí bazén; SUR = Sezimovo Ústí regenerace



Graf 4. Porovnání koncentrací vodivosti v bazénu a regeneraci na koupalištích v Borovanech a v Sezimově Ústí

Závěr

Dosažené výsledky lze shrnout do několika bodů.

1. Na klíčový parametr TP, jež hraje zásadní roli v udržení vyhovující kvality vody v přírodním koupališti, nemá regenerační zóna prokazatelně zlepšující vliv.
2. Jediný parametr, u kterého byl prokázán pozitivní vliv regenerace na obou koupalištích, je chlorofyl *a*.
3. Kromě TP jsou hodnoty sledovaných ukazatelů běžné pro

povrchové vody rybníčního charakteru [8;9]. U TP byly zaznamenány hodnoty kolem 1 mg/l, což pro udržení požadované kvality vody, v době takto vysokých koncentrací, představuje vážné riziko.

Biologické čištění v regeneračních zónách respektuje principy čištění vody kořenovým systémem vodní vegetace z mělkých stojatých vod [10]. Obecně se tento způsob čištění prezentuje jako klíčový a dostačující mechanismus. Výsledky však napovídají, že při čištění nelze spoléhat pouze na regenerační zónu, která naráží na biologické/chemické limity, ale je zapotřebí vnímat ekosystémové složky jako celek. Potvrzuje se, že i ve vlastní koupací nádrži probíhají procesy, které ovlivňují kvalitu vody. Koupací biotop tak funguje obdobně jako mělká nádrž rybníčního typu s mnoha proměnnými faktory.

Proto byla v rámci monitoringu koupališť sledována řada dalších parametrů, které nám pomáhají chápat a v konečném důsledku úspěšně optimalizovat kvalitu vody v koupalištích. Jedná se zejména o sledování změn a struktury fyto a zooplanktonu, průběhu průhlednosti vody nebo vitality litorální vegetace. Vzhledem k zaměření příspěvku zde tyto výsledky nejsou prezentovány, ale jsou k dispozici v ucelených závěrečných zprávách z daných lokalit [11; 12; 13; 14; 15; 16; 17] a diplomové práci [18].

Například, i přes prezentovaný pozitivní výsledek efektivního snižování koncentrací chlorofylu v regeneračních zónách, dochází obvykle ve vrcholné fázi sezóny k významnému poklesu průhlednosti vody (až na cca 65 cm), způsobené masivním rozvojem fytoplanktonu. V dané fázi nastupuje zásadní úloha dafniového zooplanktonu, který nástup fytoplanktonu účinně tlumí [19]. Poznání a mechanismus držení dafniového zooplanktonu v systému přírodních koupališť se tak může stát alfovou a omegou při udržování žádoucí kvality vody pro koupací účely. I vzhledem k faktu, že dafnie tlumí nejen množství fytoplanktonu, ale i množství bakteriálního zatížení.

Komplexní monitoring tak může pomoci pochopit podstatu změn, které periodicky nastávají v průběhu koupací sezóny.

Literatura

- [1] ASOCIACE BIOBAZÉNŮ A JEZÍŘEK. *Standardy pro plánování, stavbu a provoz koupacích jezírek a biobazénů*, ABAJ, 2014, 16 s.
- [2] LANDSCHAFTSBAU EV, *Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung. Richtlinien für Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von Freibädern mit biologischer Wasseraufbereitung (Schwimm-und Badeteiche)*. FLL, Bonn 2011.
- [3] PUMANN, Petr, Filip KOTHAN. „Koupací oblasti“ ČR a problémy s jejich vymezováním. In: KOSOUR, Dušan. *Vodní nádrže 2015*. Brno: Povodí Moravy, s.p., 2015, s. 115–118.
- [4] PRISM, 1992. GraphPad Prism [online]. La Jolla California USA: GraphPad Software. Dostupné z: <https://www.graphpad.com/>
- [5] WEISSGERBER, Tracey L., et al. *Beyond bar and line graphs: time for a new data presentation paradigm*. PLoS biology, 2015, 13.4: e1002128.
- [6] HOFFMAN, Margaret C. *Nutrient Removal in Natural Swimming Pools: a Mass Balance Analysis*. A Dissertation The Pennsylvania State University. 2013. pp. 184.
- [7] VYHLÁŠKA, M. Z. ČR č. 238/2011 Sb. O stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity v písku v pískovištích venkovních hracích ploch.
- [8] BAXA, Marek, Zdeňka BENEDOVÁ, Iva CHMELOVÁ, Martin MUSIL, Libor PECHAR and Jan POKORNÝ. *Komplexní systém kontroly kvality rybníčních nádrží – klíčový nástroj pro efektivní produkci ryb*. Technická zpráva pilotního projektu. Praha. 2013.
- [9] PECHAR, Libor. „Století eutrofizace rybníků – synergický efekt zvyšování zátěže živinami (fosforem a dusíkem) a nárůstu rybích obsádek.“ *Vodní hospodářství*. 2015, 65.7: 16–24.
- [10] VYMAZAL, Jan (ed.). *Wastewater treatment, plant dynamics and management in constructed and natural wetlands*. Netherlands: Springer, 2008.
- [11] BAXA, Marek, Jan, POKORNÝ, Iva CHMELOVÁ, Zdeňka BENEDOVÁ and Richard, FAJNA. *Posouzení biologického stavu přírodního koupaliště Borovany – Lazna. Optimalizace a návrh řešení*, ENKI, o.p.s. Třeboň 2013. pp. 1–9.
- [12] BAXA, Marek, Zdeňka BENEDOVÁ, Iva CHMELOVÁ, Lenka KRÖPFELOVÁ, Jan POKORNÝ, Andrea KUČEROVÁ and Libor PECHAR. *Hodnotící zpráva koupaliště Borovany-Lazna za období 20. 5.–4. 8. 2014*, ENKI, o.p.s. Třeboň 2014. pp. 1–25.
- [13] BAXA, Marek, Zdeňka BENEDOVÁ, Iva BAXOVÁ CHMELOVÁ. *Závěrečná zpráva 2015 Borovany Lazna 16.3.–14.9.*, ENKI, o.p.s. Třeboň 2015. pp. 1–26.
- [14] BAXA, Marek, Iva BAXOVÁ CHMELOVÁ and Zdeňka BENEDOVÁ. *Závěrečná zpráva – přírodní koupaliště Pohoda v k.ú. Sezimovo Ústí*, ENKI, o.p.s. Třeboň 2015. pp. 1–20.
- [15] BAXA, Marek, Zdeňka BENEDOVÁ, Lenka KRÖPFELOVÁ, Jana ŠULCOVÁ and Dana VLKOVÁ. *Závěrečná zpráva 2016 11/15/2016 Koupaliště Lazna Borovany*, ENKI, o.p.s. Třeboň 2016. pp. 1–20.
- [16] BAXA, Marek, Zdeňka BENEDOVÁ, Lenka KRÖPFELOVÁ, Jana ŠULCOVÁ and Blanka TESAŘOVÁ. *Monitoring koupaliště Lazna Borovany v sezóně 2017. Závěrečná zpráva*, ENKI, o.p.s. Třeboň 2016. pp. 1–8.
- [17] BAXA, Marek, Zdeňka BENEDOVÁ, Lenka KRÖPFELOVÁ, Jana ŠULCOVÁ and Blanka TESAŘOVÁ. *Odborná zpráva o výsledcích monitoringu v roce 2017 – přírodní koupaliště Pohoda v k.ú. Sezimovo Ústí*, ENKI, o.p.s. Třeboň 2017. pp. 16.
- [18] VLKOVÁ, Dana. *Vývoj fyzikálně-chemických a biologických parametrů vody v nově budovaných přírodních koupalištích České Budějovice*, 2018. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Zemědělská fakulta. Vedoucí práce doc. RNDr. Libor Pechar, CSc.
- [19] POTUŽÁK, Jan, Jan HŮDA, Libor PECHAR. Changes in fish production effectivity in eutrophic fishponds—impact of zooplankton structure. *Aquaculture international*, 2007, 15. 3–4: 201–210.

RIZIKO VÝSKYTU PESTICIDŮ A PRODUKTŮ JEJICH ROZKLADU NA VODÁRENSKÉ NÁDRŽI VRCHLICE

Martin Ferencík, Václav Koza, Luděk Rederer

Povodí Labe, státní podnik, Víta Nejedlého 951, 500 82 Hradec Králové, tel: +420 495 880 762, ferencikm@pla.cz

Abstrakt

Vodárenská nádrž Vrchlice je nejdůležitějším zdrojem pitné vody pro celou oblast kolem měst Kutná Hora a Čáslav. Je situována do nižších poloh a významná část povodí je zemědělsky využívána. Rozsáhlé plochy orné půdy využívané pro intenzivní rostlinnou výrobu ovlivňují jakost vody ve vodárenském zdroji.

Správce povodí v této oblasti organizuje dlouhodobý provozní monitoring s cílem popsat tyto vlivy a vyhodnotit míru rizika pro vodárenský odběr. Kolem nádrže jsou vyhlášena ochranná pásma z roku 2009.

Monitoring jakosti vody je soustředěn nejen na samotnou nádrž, ale také na nejdůležitější přítoky. Na samotné nádrži je stanoveno deset odběrových svislic a devět profilů je na přítocích. Rozsah hodnocených parametrů zahrnuje desítky fyzikálních, chemických i biologických ukazatelů. Již od počátku monitoringu v 90. letech minulého století byly sledovány také specifické látky s biocidními účinky. Dnes je zde kontrolována přítomnost přibližně 130 takových látek a několik desítek z nich je ve vodách v okolí Vrchlice pravidelně nalézáno. Charakter jejich výskytu prokazuje významnou souvislost se zemědělstvím nad nádrží.

Předpokládá se, že rozšířená monitorovací síť instalovaná v roce 2018, umožní mnohem lépe popsat dynamiku i procesy rozpadu cizorodých látek uvnitř nádrže. Získané informace by měly mimo jiné umožnit navrhnout efektivní úpravy hospodaření na orné půdě v povodí nádrže. Uplatněním win-win strategie se předpokládá minimální zhoršení hospodářského výsledku zemědělců se současným posílením ochrany vodárenského zdroje. Rámcová dohoda se zemědělci již byla učiněna a návrh na praktické vyzkoušení cílených úprav hospodaření byl zaslán na ministerstvo zemědělství.

Klíčová slova: vodárenská nádrž; pesticidy; monitoring specifických látek; mezioborová spolupráce.

Abstract

The Vrchlice Water Reservoir is the most important source of drinking water for the entire area around the towns of Kutná Hora and Čáslav. It is situated in lower altitudes and a significant part of the river basin is used for agriculture. Intensive crop production on large areas of agricultural land affects water quality in the water supply reservoir.

The water authority organizes long-term operational monitoring in the river basin in order to describe these impacts and to assess the level of risk for water supply. Around the reservoir are declared protection zones from 2009.

Water quality monitoring is focused not only on the reservoir itself, but also on the most important tributaries. On the reservoir itself there are ten sampling verticals and nine profiles are on tributaries. The range of evaluated parameters includes dozens of physical, chemical and biological indicators. Specific substances with biocidal effects have also been monitored since the beginning of monitoring in the 1990s. Actually occurrence of approximately 130 substances is controlled and several dozens of them are regularly found in the waters around the Vrchlice reservoir. The frequency of their concentration fluctuates significantly during the year. It probably indicates a significant link with agriculture above the reservoir.

The monitoring network (installed in 2018) is expected to provide a much better description of the dynamics and processes of the decomposition of hazardous pollutants (specific substances) inside the dam lake. The obtained information should, inter alia, enable us to propose effective management of arable land management in the basin of the reservoir. The application of the win-win strategy assumes a minimal deterioration of farmers' economic results while strengthening the protection of the water supply. A framework agreement with farmers has already been done and a proposal for practical testing of pointed modifications of farming has been sent to the Ministry of Agriculture.

Keywords: water supply reservoir; pesticides; monitoring of hazardous pollutants; interbranch cooperation.

Úvod

Téměř po půl století provozu vodárenské nádrže se plně prokázalo, že její výstavba na řece Vrchlici byla prozíravým skutkem, který umožňuje plnohodnotné zásobování vodou celé Kutnohorské – Čáslavské aglomerace, včetně širšího okolí. Přestože celá oblast patří z hlediska přirozených vodních zásob mezi výrazně suchem ohrožená území, lze díky přehradě na Vrchlici předpokládat, že i v období očekávaných klimatických změn zde bude pitné vody dostatek.

Tabulka 1. Základní údaje o vodárenské nádrži Vrchlice

Uvedení do provozu	Kóta provozní hladiny (m n. m.)	Objem při provozní hladině	Maximální hloubka	Plocha při provozní hladině	Plocha povodí	Plocha zemědělské půdy v povodí
1973	323,80	7,89 mil. m ³	31,6 m	93,5 ha	97,5 km ²	55,5 km ²

Přehrada vyřešila napjatou bilanci pitné vody. Nelze však přehlédnout, že kvalita vody ve zdroji již mnoho důvodů k pozitivním hodnocením nedává. Při vytváření výsledné jakosti se prolíná obecný vývoj daný tzv. „procesem stárnutí nádrže“ se stálým odtokem polutantů z antropogenně exploatovaného povodí. Do nádrže odtékají živiny (fosfor) z odpadních vod, jsou zjišťovány pesticidy i jejich metabolity a jsou také pravidelně nalézána rezidua léčiv či drogistických přípravků (syntetické mošusové látky SML). To vše se odehrává na pozadí stále se zvyšujících teplot vodního prostředí.

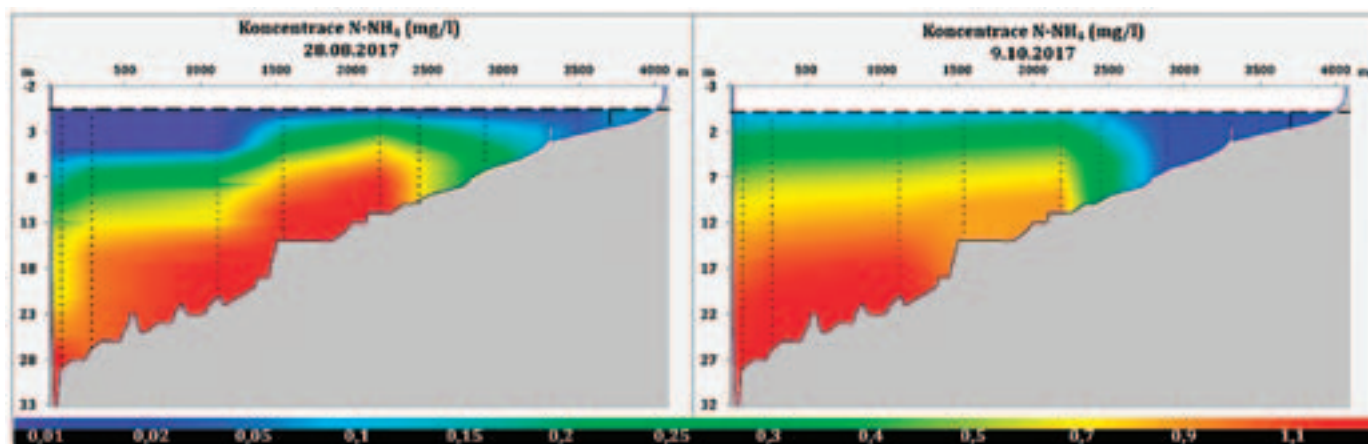
Značné množství fosforu přicházejícího do nádrže je každoročně příčinou negativních jevů souvisejících s vysokou mírou eutrofizace (zelené řasy, sinice, amoniak, mangan). Stratifikovaná nádrž s výrazně prohříváním epilimniem tato negativa umocňuje (viz obr 1). Proti znehodnocení vodárenského odběru nepříznivými důsledky eutrofizace částečně působí vnořená hráz bývalého Pilského rybníku na konci vzdutí nádrže a také pomalu se rodící rozsáhlý projekt směřující k zabezpečení většiny odpadních vod z více než třiceti sídel v povodí vodárenské nádrže.

Lze očekávat, že s plánovaným celoplošným zajištěním odpadních vod se eliminuje i významná část transportu fosforu (vliv zemědělství a četných rybníků ale zůstane), odstraní se zbytky léčiv a SML. Na zemědělské půdě v povodí nádrže však zůstane intenzivní rostlinná výroba, která se bez chemických přípravků neobejde. Osídlené území o ploše téměř sto kilometrů čtverečních ve středních Čechách nelze nechat ležet ladem a s důsledky jeho exploatace je tedy nutné počítat i do budoucna. Řešením by mohlo být vytvoření jisté symbiózy mezi potřebami zemědělství a vodárenským odběrem užitím tzv. win-win strategie. Aplikace těchto postupů předpokládá na jedné straně přijmout principy zemědělského hospodaření, které budou respektovat vodárenský význam území (rostlinná skladba, vhodná agrotechnika, chemie environmentálně přívětivá). Na druhé straně je důležité identifikovat látky, které se skutečně do vodárenského odběru mohou dostávat ve škodlivých formách a množstvích. K objasnění té druhé strany rovnice by měly sloužit i výsledky monitoringu, který na nádrži dlouhodobě organizuje správce povodí – státní podnik Povodí Labe.

O monitoringu

Vzhledem k významu vodárenské nádrže Vrchlice a pestré paletě faktorů podílejících se na utváření jakosti surové vody, je tento zdroj pitné vody monitorován již řadu let. Na prvotní monitoring nádrže prováděný v 70. letech Krajskou hygienickou stanicí středočeského kraje (RNDr. Gottwaldová) navázal správce nádrže státní podnik Povodí Labe. Vedle závěrových profilů na přítocích do nádrže (od roku 1987) se od roku 1990 sledují také svislice od hladiny ke dnu s krokem jeden metr přímo na nádrži. Vedle základních chemických a biologických parametrů jsou soustavně hodnoceny také fyzikální a hydrologické parametry. S využitím speciálního softwarového vybavení (ReViewer, Limnos) a velkého počtu dat, lze řadu dějů podmiňujících kvalitativní změny hodnotit v širších souvislostech. Tento „holistický“ přístup umožňuje lépe odhadnout důsledky eutrofizace, přívalových epizod nebo dynamiku živin jako je dusík nebo fosfor.

S rozvíjející se analytickou technikou také přibývají poznatky o výskytu a transportu specifických polutantů. Od původních několika individuů v roce 1998 jsou již dnes k dispozici informace o více než 130 různých druzích xenobiotik. V celé škále detekovaných polutantů tohoto typu jsou zcela dominantní látky označované jako pesticidy [1]. K vypracování seriózního postupu k jejich omezení ve zdroji však nestačí jejich selektivní detekce, ale nezbytné jsou také informace o časoprostorovém rozložení jejich transportních kulminací, rychlosti destrukce v přírodních podmínkách či obvyklé distribuci (prostorového rozložení) v přehradním jezeře. Pro taková náročná hodnocení již samotné analýzy ze vzorků na přítoku jsou nedostatečná. Proto byla od roku 2018 monitorovací síť specifických polutantů rozšířena i na hloubkové odběry z vertikál na nádrži. A podle očekávání již i tato nepříliš dlouhá řada pozorování (2018–2019) přinesla první zajímavé výsledky.



Obrázek 1. Podélný profil nádrže Vrchlice ke konci vegetačního období v roce 2017 s významným rozvojem amoniakálního dusíku v hypolimniu

Pesticidy – míra výskytu

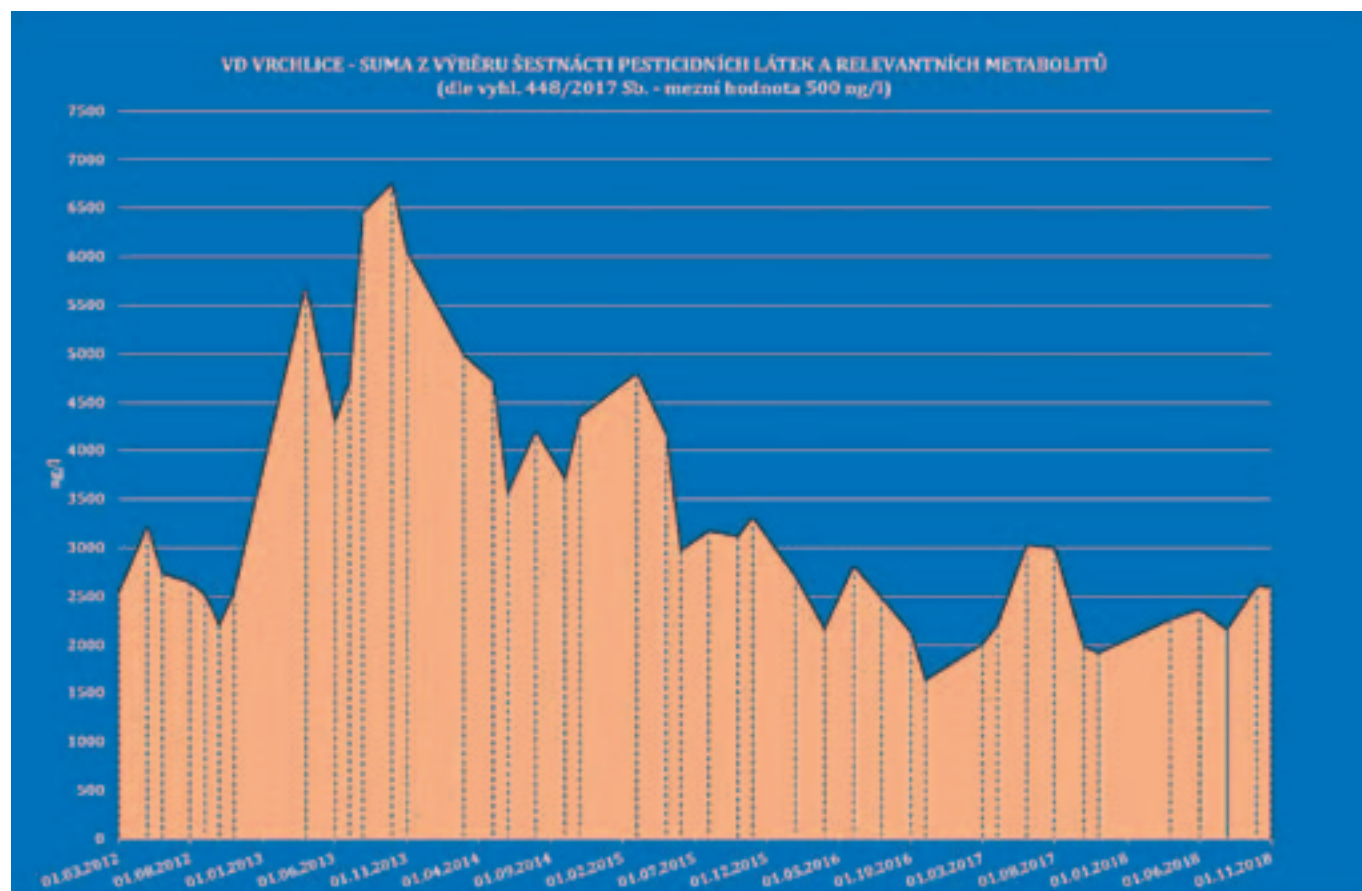
Vzhledem k počtu testovaných a detekovaných xenobiotik i jejich koncentračním oscilacím není zcela jednoduché stanovit celkový stupeň zatížení vodárenské nádrže těmito látkami. Jako hodnotící kritérium jsou k hodnocení výskytu pesticidů ve vodě aplikovány ustanovení vyhlášky MZe č. 448/2017 Sb., kterou se novelizuje prováděcí vyhláška k Zákonu o vodovodech a kanalizacích. Jedná se zejména o přílohu č. 13, ve které se uvádí hodnota 500 ng/l jako limit pro součet hodnot jednotlivých stanovených pesticidních látek a jejich relevantních metabolitů. Na nádrži Vrchlice jsou rozhodující vzorky odebrané u hráze v hloubce cca 14 m, tj. před nejčastěji užívaným odběrným horizontem. Představu si lze udělat z grafu na obr. č. 2. Zde jsou porovnány sumy ze stejných souborů šestnácti látek vyskytujících se v nádrži od roku 2012. Jedná se o tyto pesticidy - *terbuthylazin*, *terbuthylazin-desethyl*, *terbuthylazin-2-hydroxy*, *metazachlor*, *metazachlor ESA*, *metolachlor*, *metolachlor OA*, *metolachlor ESA*, *acetochlor*, *acetochlor ESA*, *alachlor ESA*, *dimetachlor*, *dimetachlor ESA*, *bentazon*, *chlortoluron*, *isoproturon*. Výsledkem hodnocení je stále několikanásobné překračování požadovaného limitu.

Individuálně je nutné se zmínit především o pesticidech, jejichž výskyt je v analyzovaných vzorcích pravidelně zjišťován. Jedna se především o relevantní metabolit *dimethachlor ESA* a nerelevantní *metazachlor ESA* oba užívané na řepku. Dále jsou v nádrži pravidelně zjišťovány vysoké koncentrace nerelevantních metabolitů *chloridazon-desphenyl* a *chloridazon-methyl-desphenyl* jako degradační stupně látky používané k aplikaci na řepu. Ve vodárenské nádrži se pravidelně také objevují velká množství *chlortoluronu* a *isoproturonu* aplikovaná při pěstování obilovin. Důsledkem

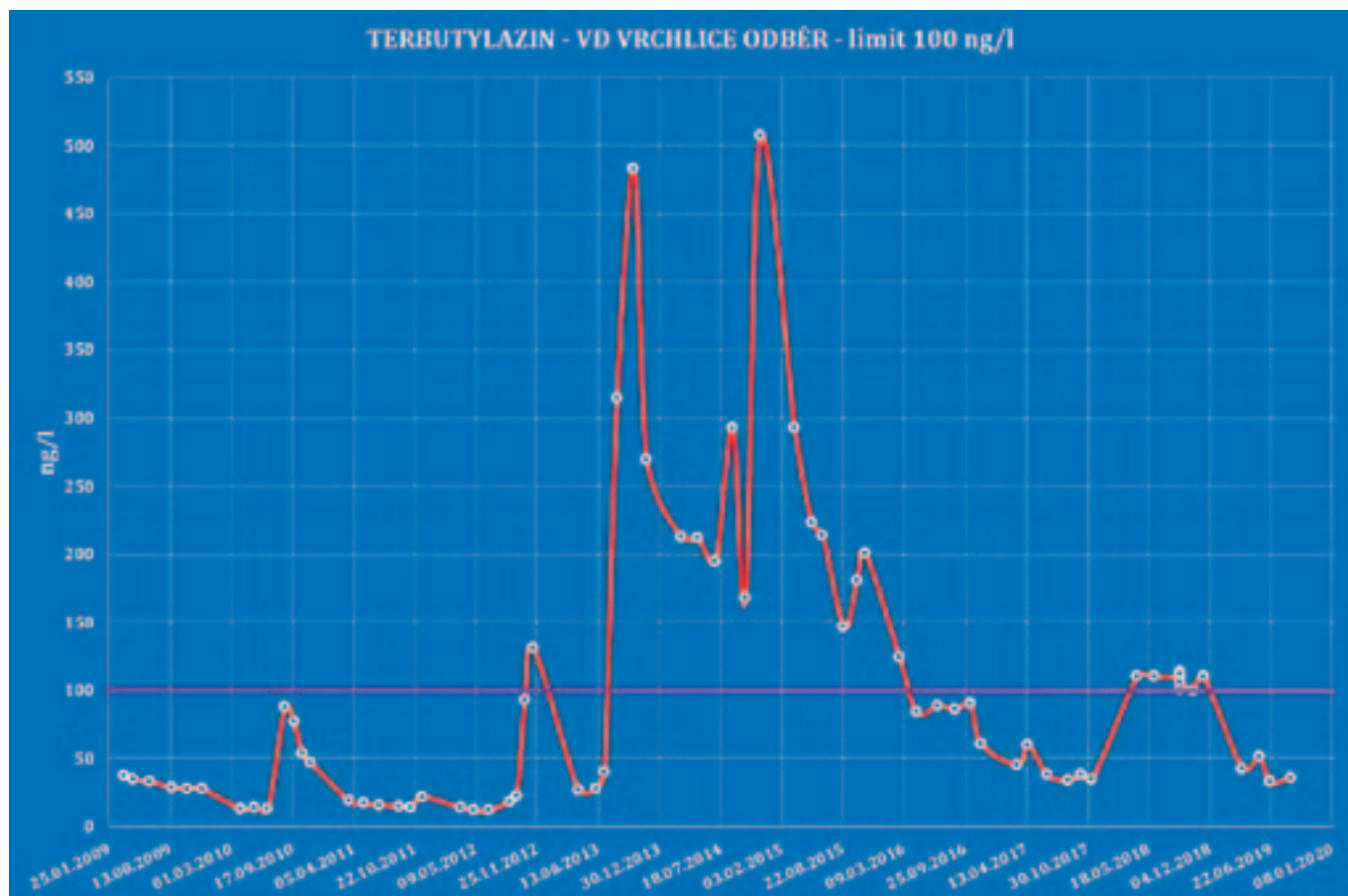
péče o ochranu kukuřice je vnos vysokých koncentrací *terbuthylazinu* a nerelevantního metabolitu *metolachloru ESA*. Častá je detekce *bentazonu*, který má široké použití (vojtěška, hrách, obiloviny, olejiny). Často se u vodárenského odběru objevuje také *terbutylazin* a jeho relevantní metabolity *terbuthylazin-desethyl*, *terbuthylazin-2-hydroxy* (viz obr 3).

Dynamika vybraných pesticidů v nádrži (2018–2019)

Výskyt a koncentrace pesticidů v nádrži jsou závislé na zemědělském hospodaření v povodí nádrže. Určujícím faktorem je druh a množství používaných pesticidů v závislosti na podílu jednotlivých hlavních plodin – obiloviny, řepka, kukuřice, řepa, píce. Následně mají zásadní vliv také další faktory, jako je podíl zmeliorované orné půdy, utuženost a množství humusu v půdě (ovlivňují vodní kapacitu půdy), dodržování protierozních opatření, atp. Pesticidy a jejich metabolity se vyplavují z půdy po deštových srážkách nebo ty více perzistentní i při tání sněhu (*isoproturon*, *chlortoluron*) a vývěrem kontaminovaných podzemních vod (především stabilní metabolity OA a ESA *chloracetanilidů* a metabolity *chloridazonu*). Některé pesticidy podléhají rychlému rozkladu (mikrobiální dekompozice, fotolýza, hydrolýza, ireverzibilní sorpce na půdu, atp.) a pokud je ve vzorcích vody nalézáme, tak pouze krátce po aplikaci (fenoxycarboňové herbicidy 2,4-D, MCPA, glyfosát, AMPA). Jiné pesticidy a především jejich metabolity jsou stabilnější a mají potenciál dlouhodobě kontaminovat povrchové a podzemní vody.



Obrázek 2. VD Vrchlice – Odběr pro úpravnu vody u hráze od roku 2012 do roku 2018 (výčet hodnocených pesticidů viz text výše)



Obrázek 3. VD Vrchlice – koncentrace terbuthylazinu v místě odběru pro úpravnu od roku 2009 do 2019 (obvykle aplikace na kukuřici)

Díky výsledkům detailnějšího monitoringu prováděného od srpna 2018 na jednotlivých vsislicích se podařilo zdokumentovat vývoj koncentrací a pohyb stabilních pesticidů v nádrži v čase i prostoru. Distribuce těchto látek je zásadně ovlivněna jednak vývojem hydrologických poměrů, jednak jarní a podzimní cirkulací, kdy dochází k úplnému promíchání nádrže. Během letní stratifikace dochází u některých pesticidů a jejich metabolitů (chlortoluron, metolachlor ESA, metazachlor ESA) ke zvýšené degradaci v horní vrstvě epilimnia (působení světla, intenzivní fotosyntéza v době rozvoje fytoplanktonu doprovázená alkalickým pH a přesycením kyslíkem). Jiné pesticidy (např. terbuthylazin) jsou stabilnější a jejich koncentrace se v rámci stejné vrstvy výrazně v prostoru ani čase nemění (obr. 4).

V červnu 2019 se podařilo zaznamenat jev nazývaný „zkratový proud“, kdy se do stratifikované nádrže přitékající chladnější voda s odpovídající hustotou vnořila pod teplejší vrstvu a došlo k jejímu rychlejšímu podélnému posunu po ještě chladnější (tudíž hustší vrstvě) směrem ke hrázi. Tento jev se podařilo prokázat pomocí jak zákalu měřeného „in situ“, tak koncentrací pesticidu bentazon, který s touto vodou čerstvě přitékal. Ukazuje se, že v případě většího množství přívalové srážkové vody může docházet ke kvalitativnímu ovlivnění vody pesticidy v místě vodárenského odběru mnohem rychleji (tj. skokově), než odpovídá průměrné době zdržení vody v nádrži (210 dní).

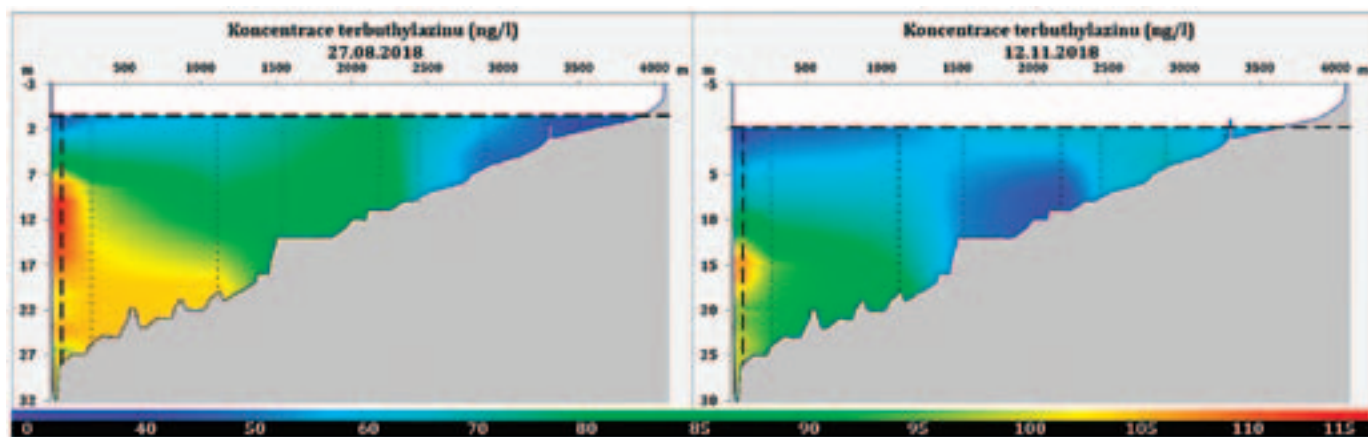
Návrh pilotního projektu ke snížení pesticidů

Z dřívějších jednání s oběma zemědělskými podniky, které hospodaří na půdě v okolí nádrže, vyplynulo, že za určitých okolností by bylo možné současnou strukturu rostlinné výroby nahradit

postupy s minimálním nebo žádným chemickým ošetřením. Již v minulosti, při podpisu záznamu z těchto jednání, dali představitelé obou podniků předběžný souhlas s takovým řešením. A v květnu 2019 ředitelé ZOD Umonín i PIAS Suchdol, a.s. opět svůj zájem i ochotu podílet se na změnách ve struktuře rostlinné výroby písemně potvrdili.

Po předběžných diskuzích se zemědělci navrhujeme ověřit v rámci účelově vytvořeného pilotního projektu vhodné agromické postupy a vyzkoušet odpovídající ekonomické nástroje, které by ukázaly, za jakých podmínek jsou uvažovaná opatření proveditelná a jaký lze očekávat přínos. Předpokládáme, že v rámci projektu by se v provozních podmínkách otestovaly nejen technické souvislosti, ale také budou vytvořena pravidla na získání subvencí při aplikaci takto účelově vytvořeného programu. Součástí pilotního projektu by mohla být i podpora stávajícího monitoringu jakosti vody. Vzhledem k významné míře setrvačnosti přírodních procesů by bylo vhodné dobu projektu stanovit alespoň na 5 – 6 roků. I když navrhovaný pilotní projekt pokryje pouze 2,3 % zemědělských ploch povodí nádrže, a přísun pesticidů do vodárenského zdroje nezastaví, lze očekávat, že s likvidací blízkých zdrojů znečištění bude odtok pesticidů alespoň snížen. Již naplnění takového předpokladu bude významným přínosem. Neméně důležitým výstupem však budou reálné zkušenosti a popis případných provozních komplikací a stanovení finanční náročnosti takového kroku.

Jak z výše prezentovaných údajů vyplývá, pravidla pilotního projektu by se týkala jen velmi malé části plochy povodí. Optimální variantou by zcela určitě bylo omezení či vyloučení pesticidů na většině zemědělských ploch v povodí vodárenské nádrže. To je také jeden z cílů, ke kterým by poznatky z pilotního projektu měly v budoucnu vést.



Obrázek 4. VD Vrchlice – změny prostorového rozložení koncentrace terbutylazinu v podélném profilu nádrže na konci léta a na podzim 2018

Určujícím záměrem však je realizovatelnost celého projektu a tu lze v území ochranného pásma II. stupně předpokládat především z těchto důvodů:

- Dobrovolná spolupráce dvou zemědělských subjektů, které ponесou riziko horšího hospodářského výsledku.
- Území OP II. stupně vytváří vhodnou legislativní oporu k uskutečnění projektu.
- Z poznané dynamiky cizorodých látek v přírodním prostředí lze předpokládat, že účelové změny hospodaření v nejbližším okolí nádrže by měly mít největší vliv na jakost vody.
- Modelové hospodaření v blízkém okolí nádrže by také mělo prokazatelně ukázat míru, jakou nový způsob hospodaření ovlivní hrubou zemědělskou produkci na jednom hektaru zemědělské plochy. Z toho by měla vyplynout i konkrétní ekonomická ztráta. Ta by měla být hrazena fixní finanční částkou na hektar plochy s upraveným způsobem hospodaření. Bude-li stanovena výše náhrady, lze následně i ostatní zemědělské subjekty z celého povodí vodárenské nádrže motivovat k úpravě hospodaření. V takovém případě je již možné očekávat výrazný pokrok k zajištění zdravotní nezávadnosti důležitého vodárenského zdroje.

Závěr

Zlepšení situace v přísunu pesticidních látek do vodárenského zdroje je ve skutečnosti velmi nesnadný úkol a činnost správce povodí je pouze součástí procesu k jeho splnění. Státní podnik Povodí Labe situaci monitoruje, hodnotí a předkládá návrhy, ale dosažení cíle takového zadání vyžaduje vyšší úroveň součinnosti mezi všemi zainteresovanými. Určité větší pozornost by si zasloužily platná opatření schválená jak na celorepublikové úrovni (CZE 208003), tak na úrovni krajské (HZL 203003). Dobrým začátkem a jistou nadějí na lepší příští vývoj je vstřícný postoj místních zemědělců ke společnému hledání účinnějších způsobů ochrany pitné vody.

Literatura

- [1] FERENČÍK M., *Výskyt znečišťujících látek – pesticidů, léčiv a hygienických prostředků ve vodárenské nádrži Vrchlice a jejich důsledky*, Agromanuál, Kurent České Budějovice, ročník 13, číslo 9-10, str. 38–40, 2018.
- [2] 955/2018-MZE-17221, *Národní akční plán k bezpečnému používání pesticidů v České republice pro 2018 – 2022*, MZE ČR, 2018, 1–42.

MOŽNOSTI PŘÍSTUPŮ KE SNÍŽENÍ ZATÍŽENÍ POVRCHOVÝCH VOD REZIDUI PŘÍPRAVKŮ NA OCHRANU ROSTLIN V POVODÍ VODÁRENSKÝCH ZDROJŮ NA PŘÍKLADU VN ŠVIHOV

Marek Liška¹, Jakub Dobiáš¹, Antonia Metelková¹, Antonín Zajíček², Petr Fučík²

¹ Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, 155 00 Praha 5 – Smíchov, tel. +420 251 050 708, marek.liška@pvl.cz

² Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Žabovřeská 250, 156 27 Praha – Zbraslav

Abstrakt

Zdroje povrchových vod využívaných pro úpravu na vodu pitnou (tzv. vodárenské zdroje) jsou v České republice často situovány v zemědělsky využívaných územích. Státní podnik Povodí Vltavy spravuje povodí největší vodárenské nádrže Švihov na Želivce, které je pod velkým vlivem zemědělské činnosti. V povrchových i podzemních vodách v povodí VN Švihov se vyskytují rezidua přípravků na ochranu rostlin a to jak ve formě rodičovských látek pesticidů, tak jejich metabolitů. Hlavním cílem toho příspěvku je popsat kvalitativní stav zatížení povodí VN Švihov pesticidními látkami a diskutovat možné přístupy k řešení snížení dopadů zemědělské činnosti na jakost povrchových vod. Pozornost je věnována také pilotnímu projektu pro šetrné hospodaření zemědělců v ochranném pásmu VN Švihov, který v červnu 2019 vyhlásilo Ministerstvo zemědělství ČR jako Program B4 pod názvem: „Podpora opatření ke snížení dopadu zemědělské prvovýroby v ochranném pásmu vodárenské nádrže Švihov na řece Želivce“.

Klíčová slova: vodárenská nádrž; pesticidy; zemědělská činnost; monitoring; dotace.

Abstract

In the Czech Republic, surface water sources used for treatment of drinking water are often located in agriculturally used areas. The Povodí Vltavy, state enterprise manages the catchment area of the largest water reservoir Švihov on the Želivka River, which is affected by agricultural activity. Residues of plant protection products (especially pesticides) occur in surface and ground waters in the original substances and also their metabolites. The main aim of this paper is to describe the situation of pesticide substances, which occur in the Švihov water catchment area and to discuss possible approaches to reducing the impact of agricultural activity on the quality of surface waters. Attention is also paid to the novel project for the gentle agriculture management in the water protection zone of the Švihov drinking water reservoir, which was announced in June 2019 by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic as the Program B4 named: “Support for measures to reduce the impact of primary agricultural production in the protection zone of the Švihov water reservoir on the Želivka River”.

Keywords: drinking water dam; pesticides; agriculture; monitoring; subsidy.

Výskyt pesticidních látek – popis současného stavu

Povrchové, drenážní i podzemní vody v řadě oblastí v ČR obsahují značné množství reziduí moderních mikrokontaminantů jako jsou například rezidua pesticidních látek používaných v zemědělství, farmaceutických přípravků používaných v humánní a veterinární medicíně, různých technologických látek používaných v moderních technologiích, ale např. i tzv. mikroplasty a pravděpodobně i řadu dalších látek a jejich fragmentů, které zatím nelze spolehlivě detekovat [3,7,8,9]. Vodárenská nádrž Švihov, která zasobuje cca 1,5 mil. obyvatel ČR, leží v zemědělsky a antropogenně velmi silně využívané krajině, pěstují se zde plodiny náročné na ošetřování pomocí pesticidních látek, jejichž rezidua infiltrují do povrchových, drenážních a podzemních vod [13]. Ve vodách se nacházejí zejména rezidua prostředků na ochranu rostlin (dále jen „POR“) aplikovaných na plodiny s kombinovaným využitím jako např. řepka, kukuřice a brambory. Pěstování většiny zemědělských plodin pěstovaných tzv. konvenčním způsobem vyžaduje standardní, tj. častou aplikaci POR. Většina přípravků na ochranu rostlin, jejichž rezidua jsou nacházena ve vodách, je představována zejména pesticidními látkami. Skupinu pesticidů lze dle jejich účinku dále rozdělit do několika základních skupin, především se jedná o herbicidy, fungicidy, insekticidy a některé další funkční skupiny látek. Důležitou vlastností většiny z nich z hlediska výskytu v povrchových a podzemních vodách, je velmi dobrá rozpustnost ve vodě. V praxi to znamená, že rezidua pesticidů jsou ve vodním prostředí transportována na značné vzdálenosti, od místa jejich aplikace až např. do vodárenské nádrže [13]. Z hlediska výskytu pesticidních látek v povrchových a podzemních vodách lze za nejrizikovější považovat ty herbicidy, které jsou aplikovány preemergentně, případně časně postemergentně v prvních fázích růstu dané pěstované kultury. Jedná se tedy většinou o aplikace na „holou“ půdu, případně ve fázi vývoje několika prvních listů příslušné plodiny. Rovněž velmi záleží na hydrologických podmínkách v období aplikací těchto látek [3]. Jsou-li srážky intenzivní nebo dlouhodobé, jsou tyto látky „splachovány“ do povrchových vod, případně dochází k „vymývání“ pesticidů z půdy do drenážních vod a odtud do vod podzemních nebo povrchových. Drenážní systém je tak pro povrchový vodní tok v podstatě bodovým zdrojem znečištění pesticidními látkami. Tabulka č.1 uvádí jako příklad přehled látek, které jsou do povrchových vod vyplavovány z polí prostřednictvím drenážních vod. Pro ilustraci jsou zde interpretovány výsledky z pokusné lokality Černíči, která se nachází v povodí Sedlického potoka (levostranného přítoku VN Švihov). Tabulka č. 1 uvádí výsledky ze dvou „větvi“ drenážního odtoku testovaného pole (Š2 a P1), současně je rozdělena na výsledky získané z podmínek tzv. „běžných

Tabulka 1. Nejvýznamnější pesticidní látky zjištěné v drenážních vodách pokusného povodí Černíči (n – nedetekováno, D – metabolit, H – herbicid, I – insekticid, Konc. – koncentrace, SOE – srážko-odtoková epizoda, Š2 a P1 – názvy větví drenážního odtoku)

Místo		Š2				P1			
Hydrologická situace		Běžné průtoky		SOE		Běžné průtoky		SOE	
Látka	Typ	Detek. (%)	Konc. (ng/l)	Detek. (%)	Konc. (ng/l)	Detek. (%)	Konc. (ng/l)	Detek. (%)	Konc. (ng/l)
Acetochlor ESA	D	100	50 - 172	98	20 - 93	89	29 - 105	76	20 - 121
Alachlor ESA	D	100	25 - 228	77	21 - 132	97	76 - 1030	98	37 - 1 040
Metazachlor ESA	D	100	298 - 9460	100	125 - 5230	100	123 - 7410	100	33 - 5930
Metazachlor OA	D	56	20 - 2360	100	30 - 2420	83	23 - 1870	89	22 - 2790
Metolachlor ESA	D	12	20 - 69	2	49	3	137	2	65
Atrazine-2-hydroxy	D	18	11 - 21	90	10 - 33	25	10 - 19	40	11 - 63
Terbutylazin-2-hydroxy	D	18	11 - 30	79	10 - 55	94	11 - 43	98	14 - 270
Chloridazon desphen.	D	0	n	0	n	25	52 - 110	24	51 - 130
AMPA	D	0	n	0	n	0	n	42	185 - 1 970
Acetochlor	H	6	16-41	8	11 - 25	8	11 - 29	11	11 - 39
Bentazone	H	79	13 - 72	46	10 - 33	6	18 - 19	5	11 - 33
Clomazone	F	0	n	10	1700 - 3400	7	11 - 29	20	39 - 8 100
Cyprosulfamide	H	0	n	0	n	7	22 - 460	33	12 - 25000
Diiflufenican	H	3	63	0	n	6	10 - 21	24	10 - 2980
Epoxiconazole	F	0	n	10	12 - 36	3	17	14	16 - 97
Fluroxypyr	H	3	49	0	n	3	42	7	52 - 270
Glyphosate	H	0	n	0	n	0	n	36	69 - 453
Chlorotoluron	H	0	n	0	n	14	12 - 574	33	12 - 973
Chlorsulfuron	H	12	11 - 79	35	30 - 760	25	11 - 140	24	10 - 350
Isoproturon	H	0	n	0	n	6	73 - 367	15	22 - 45
Isoxaflutole	H	0	n	0	n	3	37	2	4800
Metazachlor	H	6	18 - 200	4	11 - 19 000	6	50 - 840	22	10 - 37 000
Metolachlor	H	9	21 - 46	4	11 - 13	3	13	9	10 - 91
Pendimethalin	H	3	14	2	14	8	11 - 29	22	15 - 1110
Pethoxamid	H	3	11			3	40	7	22 - 38 000
Quinmerac	H	0	n	0	n	0	n	4	690 - 910
Tebuconazol	F	3	32	46	15 - 640	8	11 - 43	27	11 - 510
Thiadoprid	I	0	n	16	14 - 390	0	n	3	160
Thiencarbazone-meth.	H	0	n	0	n	7	30 - 360	35	11 - 10 000
Terbutylazin	H	6	13 - 35	0	n	3	11	4	22-24

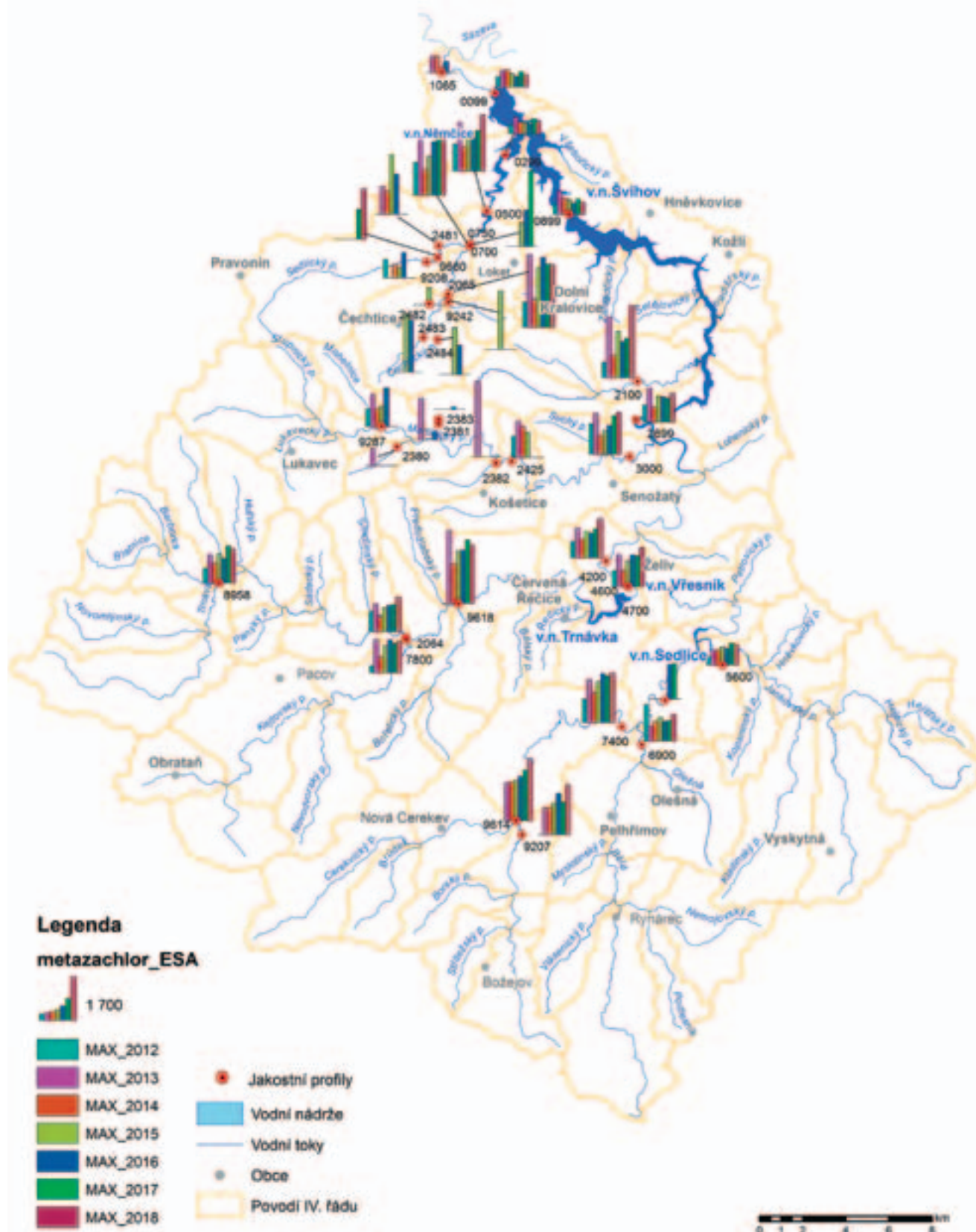
průtoků“ a z podmínek tzv. srážko-odtokové epizody (SOE). Při standardních průtocích odtékají zejména metabolity pesticidních látek, při srážko-odtokových epizodách odtékají metabolity a široké spektrum aplikovaných rodičovských látek, velmi často ve vysokých koncentracích. Tyto výsledky byly naměřeny v rámci projektu TA04021527 „Studium příčin a dynamiky zátěže vod drobných vodních toků přípravky na ochranu rostlin“ Programu na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje ALFA.

Z výsledků monitoringu povrchových vod státního podniku Povodí Vltavy je zřejmé, že rezidua účinných látek přípravků, jejichž užití je v ochranném pásmu vodárenské nádrže povolené, jsou nalézána v povrchových a podzemních vodách [3,7,8,9]. Jedná se např. o masivně používaný herbicid metazachlor, který

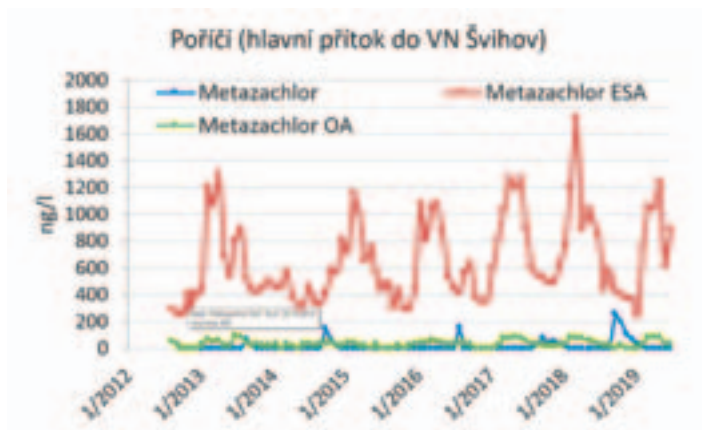
se preemergentně aplikuje na řepku. Od této látky je v povrchových vodách nacházena jak rodičovská látka, tak i její metabolity (formy ESA a OA). Obr. 1 ilustruje výskyt maximálních koncentrací metazachloru ESA naměřených v povrchových vodách, které velmi často přesahují hodnoty 1000 ng/l. Uvedená koncentrační mapa jednoznačně dokládá, že právě chloracetanilidové pesticidy a zejména jejich metabolity jsou do nádrže transportovány ze vzdálených zdrojů (míst jejich aplikace).

Použití těchto látek v ochranných pásmech vodních zdrojů je rizikové v tom, že často aplikují velmi blízko vlastního zdroje povrchové či podzemní vody, který je využíván pro zásobování obyvatel pitnou vodou a tak mnohdy dochází k bezprostřednímu ohrožení celého zdroje pitné vody přímo „rodičovskými“ pesticidními látkami. Obr. 2 velmi dobře dokládá vliv pěstování řepky

Maximální koncentrace metazachloru ESA (ng/l) v povodí VN Švihov v období 2012-2018



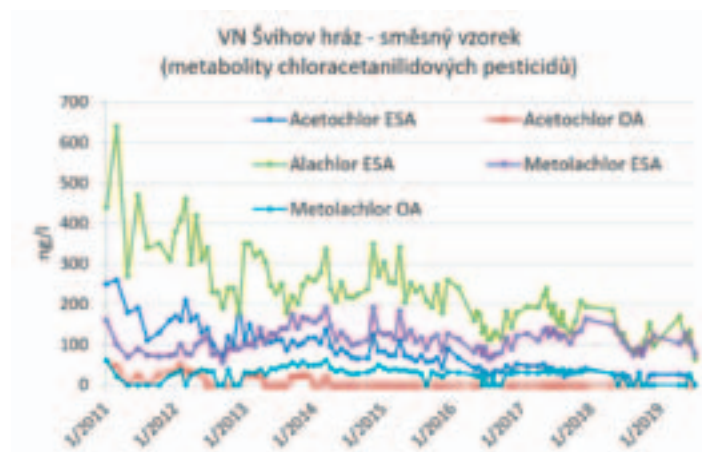
Obrázek 1. Maximální koncentrace metazachloru ESA v povrchových vodách v povodí VN Švihov na Želivce v období let 2012–2018



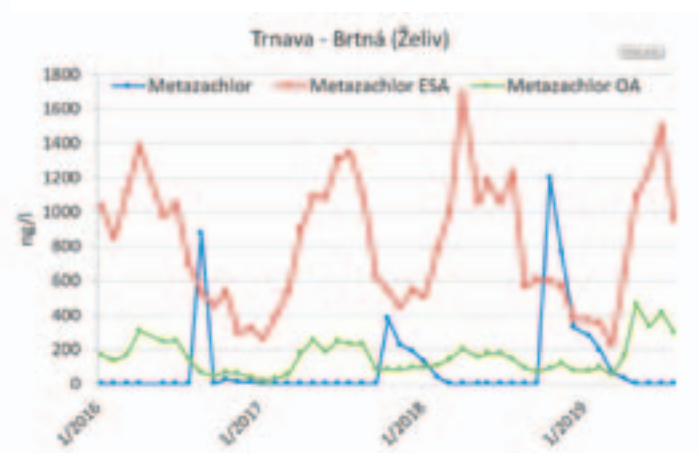
Obrázek 2. Vývoj koncentrace metazachloru ESA na hlavním přítoku do VN Švihov (profil Želivka – Poříčí) v období let 2013–2019



Obrázek 5. Koncentrace metazachloru v Blažejovickém potoce a v nádrži Trnávka po předchozí aplikaci a následné dešťové srážce na podzim roku 2017



Obrázek 3. Vývoj koncentrací metabolitů chloracetanilidových pesticidů na profilu VN Švihov hráz, období let 2011–2019



Obrázek 6. Koncentrace metazachloru na odtoku z VN Trnávka v letech 2016–2019



Obrázek 4. Vývoj koncentrací metazachloru a jeho metabolitů na profilu VN Švihov hráz, období let 2011–2019

na kvalitu přitékající vody do nádrže Švihov na Želivce. V srpnu a září probíhá pravidelná aplikace metazachloru na pole, kde bude (případně již je) čerstvě zasetá řepka. Z těchto polí následně do vodních toků (zejména v období srážek) odtéká metazachlor jako rodičovská látka a současně dochází k metabolizaci v půdě a intenzivnímu vyplavování metabolitů chloracetanilidových pesticidů. Koncentrace metazachloru ESA tak na hlavním přítoku do nádrže kolísá v rozmezí cca 250–1700 ng/l, což jsou skutečně vysoké hodnoty (Obr. 2).

Vzhledem k tomu, že VN Švihov je nádrž s víceletým vyrovnáním, dochází v průběhu roku k postupnému snížení koncentrace pesticidních látek a jejich metabolitů, čemuž napomáhá zejména „zimní“ a „jarní“ ředění vodou ze sněhu a srážek, které tyto látky neobsahuje v takové míře. U hráze nádrže jsou koncentrace jednotlivých metabolitů oproti přítoku podstatně snižované, avšak stále poměrně vysoké (Obr. 3). I když se koncentrace vybraných metabolitů v delším časovém období snižují (Obr. 3), tak např. u metabolitů metazachloru je trend proměnlivý a koncentrace často meziročně významně vzrůstají (Obr. 4).

Z hlediska celkového zatížení povrchových a podzemních vod pesticidními látkami je naprosto klíčové množství aplikované látky a následná srážka. Obr. 5 a 6 dokládají důsledky bleskových srážek na kvalitu vody přitékající do VN Švihov z povodí Blažejovického potoka. V roce 2017 (Obr. 5) i v roce 2019 (nepublikované výsledky, koncentrace až 4660 ng/l) zde byla detekována silná kontaminace povrchových vod metazachlorem, voda z polí byla spláchnuta do drobných vodotečí ústících do Blažejovického potoka, který protéká přes rybník Píště, ten se tak stal „rezervoárem“ kontaminované vody. Voda obohacená metazachlorem z rybníka vytékala následující 3–4 měsíce do VN Švihov (Obr. 5) za postupné metabolizace na stabilní metabolit metazachlor ESA a OA. V roce 2017 bylo v povodí Blažejovického potoka řepkou oseto přibližně 8 % plochy povodí (informace pochází ze systému DPZ – ČHMÚ). Obdobná situace byla i na nádrži Trnávka, viz Obr. 6.

Přístupy ke snížení zatížení vod látkami na ochranu rostlin

Výše je schematickým způsobem popsán stav povodí VN Švihov z hlediska přítomnosti pesticidních látek v povrchových a drenážních vodách a vliv zemědělské činnosti na kvalitu vody. Dále jsou prezentovány některé možnosti vedoucí ke snížení obsahu pesticidních látek v povrchových vodách v povodí VN Švihov a nádrži samotné. Cest ke snížení zátěže je celá řada. Záleží na naší společnosti, jakou cenu budeme za zlepšení kvality vody a tím i za své zdraví ochotni zaplatit. S tím úzce souvisí i řešení současného stavu.

V současné době se v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce snažíme hledat řešení s využitím metod tzv. bezreziduálního resp. „precizního zemědělství“ tak, aby některé přípravky a aplikační dávky mohly být omezeny na minimální, avšak ještě efektivní hodnoty [12]. Současná zemědělská technika nabízí mimo jiné i možnost vyhodnocení stavu porostu z okamžitých leteckých snímků (např. z dronu), na které navazuje přesně cílená a efektivní aplikace POR v minimálních dávkách, podle stavu a potřeby konkrétního pole [12]. To může být cesta, společná cesta vodohospodářů a zemědělců, vedoucí k ochraně povrchových a podzemních vod, bez zásadních negativních dopadů pro zemědělce.

A) Finanční motivace hospodařících zemědělských subjektů v ochranném pásmu VN Švihov prostřednictvím dotační platby

Ministr zemědělství vyhlásil v červnu letošního roku Program B4 po názvem: „Podpora opatření ke snížení dopadu zemědělské prvovýroby v ochranném pásmu vodárenské nádrže Švihov na řece Želivce“. Účelem programu je zlepšení jakosti vody spočívající zejména ve snížení negativního vlivu komerčního zemědělství na jakost vody prostřednictvím omezení aplikace POR na zemědělských pozemcích v OPVZ a PHO VN Švihov na řece Želivce v rámci celého jejího povodí. Účast ve zde popisovaném programu je dobrovolná (Obr. 7), po splnění kritérií Programu bude příslušnému zemědělskému subjektu přiznána příslušná dotační platba.

Hlavní principy omezení:

- účastník Programu používá na přihlášených půdních blocích pouze POR povolené v registru (ÚKZÚZ) pro použití v OPVZ II. a PHO II.
- každá aplikace je podmíněna vhodnými aktuálními klimatickými podmínkami, tj. není možno provádět postřiky za deště ani v období, na které jsou srážky předpovídané, předpokládá se však, že toto pravidlo pro aplikaci POR platí obecně
- snížení celkové dávky účinné látky (o cca 20 % pod minimální dávku uvedenou v registru) na jednu aplikaci u jmenovitých POR, které byly vytipované na základě předchozích znalostí a dat o užívání v daném povodí a na základě výsledků monitoringu povrchových a drenážních vod – jedná se o látky: metazachlor, metolachlor, glyfosát, clomazon, pethoxamid, dimethachlor, mesotrion a tebuconazol
- zemědělský subjekt má povinnost hlášení ročních osevních plánů a povinnost hlášení všech jednotlivých provedených aplikací POR na jednotlivé půdní bloky a poddíly půdních bloků do 24 hodin po jejich aplikaci na webový portál Povodí Vltavy, každý subjekt má jedinečný přístupový kód pro hlášení aplikací
- dodržování minimálně 5-ti letého osevního postupu
- aplikace zelených a statkových hnojiv, dodržování obecných zásad zachování a zlepšování živé složky půdy (přípravky s mikroorganismy, humáty), omezení zhutnění a půdní eroze,

zvýšení organické složky v půdě, důraz na preventivní opatření (vhodné druhy rostlin atd.)

- zákaz používání osiv ošetřených látkami reziduálně nalézanými v rozborech zdrojů pitné vody

Kontrola a zjišťování účinnosti opatření

Kontrolu dodržování plnění podmínek Programu B4 provádí Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ). Plnění administrativních náležitostí Programu B4 kontroluje státní podnik Povodí Vltavy. Detailním monitoringem kvality vody v tocích odvodňujících jednotlivé půdní bloky byly pověřeny vodohospodářské laboratoře státního podniku Povodí Vltavy. Cíle tohoto monitoringu jsou zaměřeny zejména na: monitoring kvalitativního stavu povrchových a podzemních vod odvodněných soubory půdních bloků a zemědělských mikropovodí, **rámcové ověření účinnosti zavedených opatření pilotního programu v delším časovém horizontu** a vytvoření podkladů pro možnost posouzení plnění závazků poskytovatelem podpory.

V rámci monitoringu jsou sledovány vybrané profily reprezentující odvodnění půdních bloků jednoho konkrétního zemědělského subjektu, který je příjemcem podpory, dále některé vybrané referenční profily reprezentující odvodnění z **konvenčně obhospodařovaných** ploch, které nespádají do programu podpory a profily dlouhodobého provozního monitoringu kvality vody v povodí VN Švihov na „páteřních“ profilech s rozšířeným rozsahem parametrů. V přípravě je také monitoring vytipovaných drenážních vod, vybraných na základě velikosti odvodňovaných ploch, technického stavu odvodnění a hydrologické situace.

Na základě přesných a aktuálních hlášení aplikací POR zemědělskými subjekty a provedených chemických analýz je získáván detailní přehled o množství a typech používaných POR. Díky tomu lze přesněji zacílit rozsah sledovaných látek laboratoří v rámci monitoringu povrchových vod.

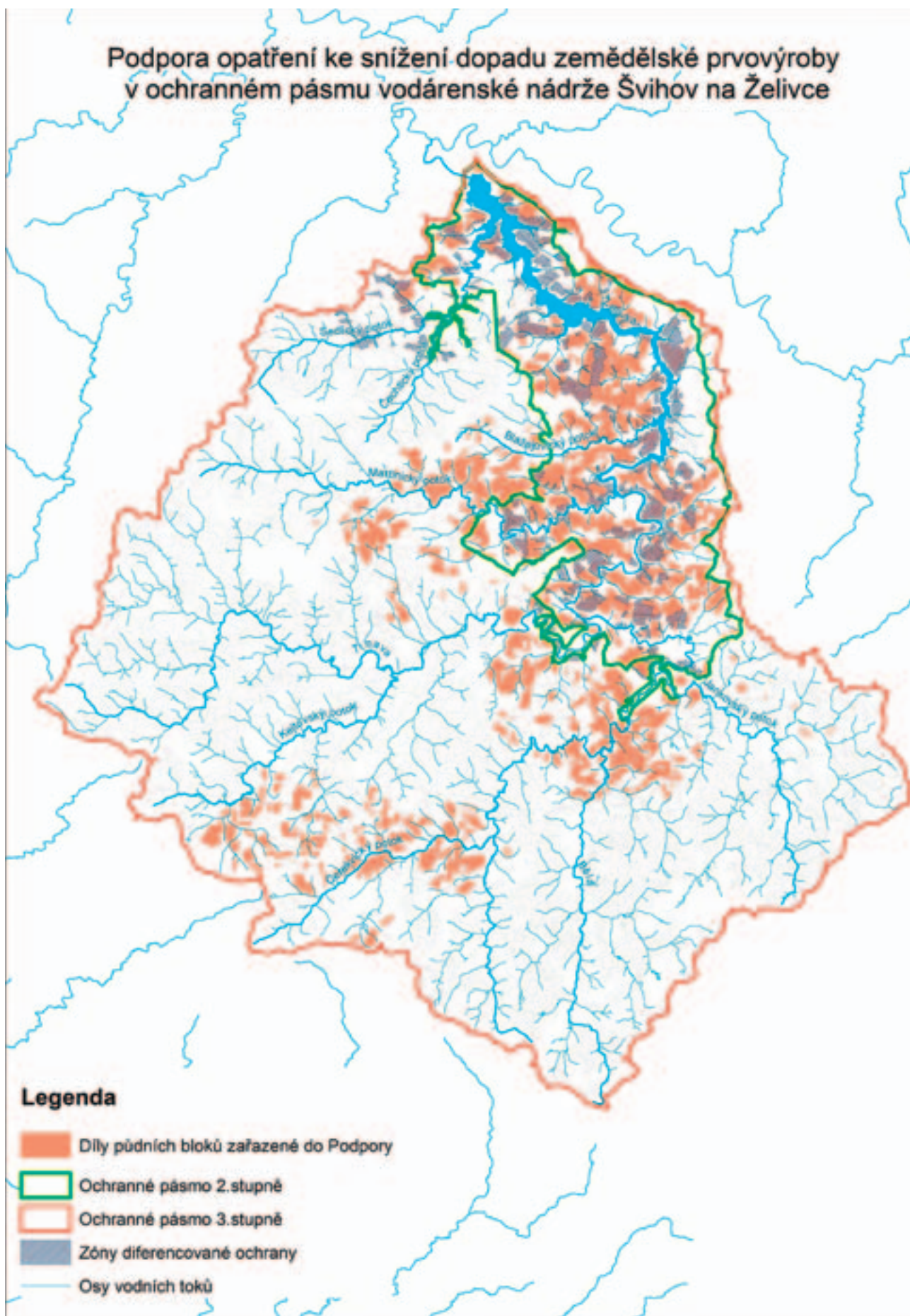
B) Postupy a technologie pro snížení pesticidních látek šetrnou aplikací pesticidů

V České republice je používáno přibližně 250 látek přípravků na ochranu rostlin. Na základě projektu TA04021527 (TAČR – Program ALFA) bylo zjištěno nadměrné vyplavování těchto látek a jejich metabolitů, zejména při jejich nesprávné nebo nadměrné aplikaci [12]. Ukazuje se, že velký význam při vyplavování látek do povrchových vod hraje mělký podpovrchový odtok, jehož součástí je i odtok drenážní.

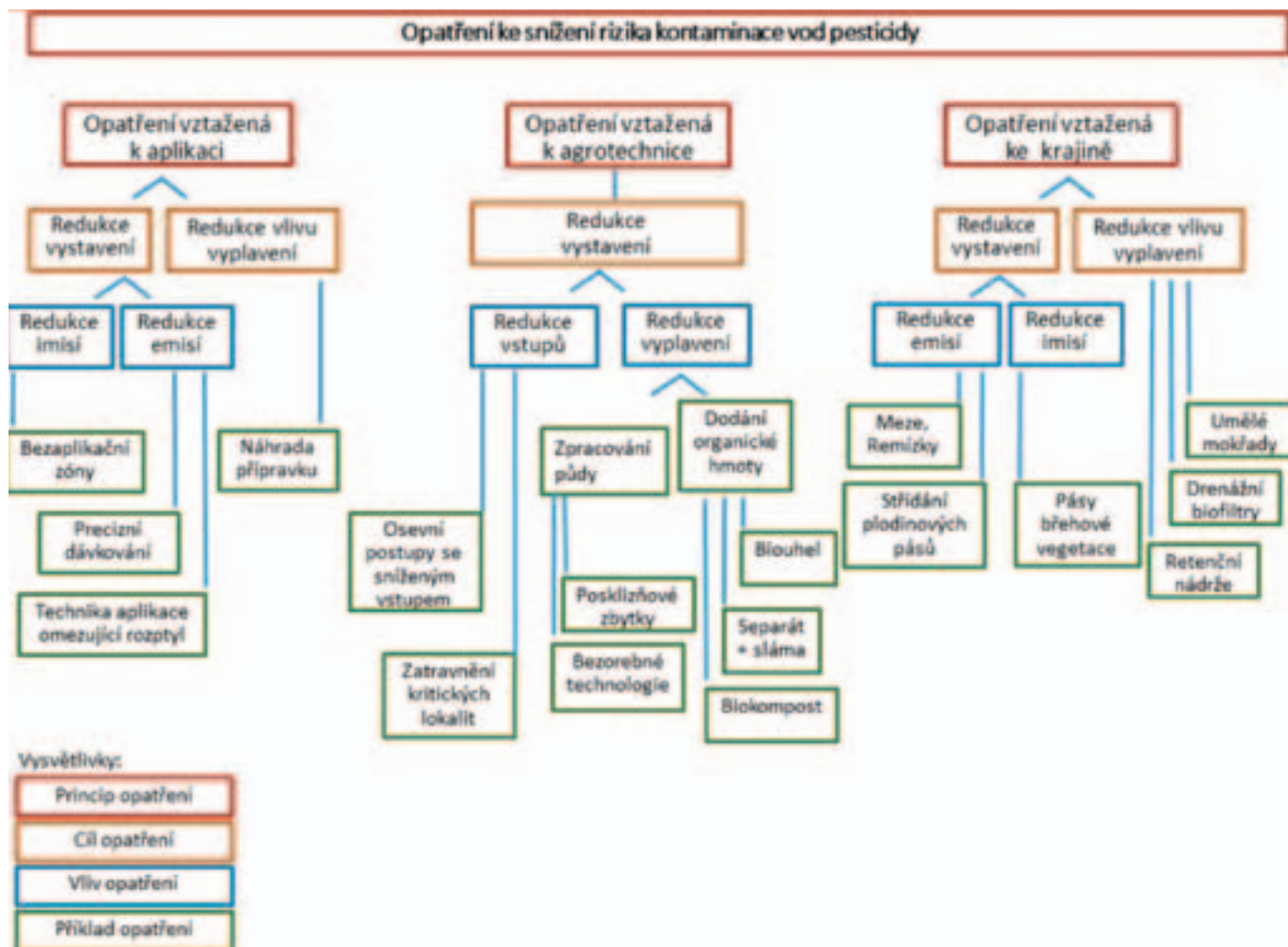
V souvislosti s novými poznatky se mohou navrhovat a aplikovat postupy pro snížení vyplavování prostředků na ochranu rostlin a tím řešit příčiny znečištění přímo u jeho zdroje [12]. Účinné nástroje jsou popsány ve vzniklé metodice a certifikované technologii projektu [12] (Obr. 8) a zmíněném programu Ministerstva zemědělství, který je jedním z prvních svého druhu v ČR. Tyto nástroje budou ovšem vždy představovat vynaložení většího úsilí i nákladů na zemědělsky hospodařící subjekty. Z tohoto pohledu je nutné postupy podpořit legislativně, případně vhodnějšími podpůrnými tituly založenými např. na tzv. kontrolách podmíněnosti (*Cross compliance*).

Popis technologie

Ověřená technologie vznikla v rámci společného projektu, vedeným VÚMOP, v.v.i. ve spolupráci se státním podnikem Povodí Vltavy [12]. Součástí je návodný popis opatření přímo na zemědělské půdě, které prokazatelně vedou ke snížení rizika kontaminace vod pesticidy.



Obrázek 7. Schematická mapa s vyznačením jednotlivých půdních bloků přihlášených do dotačního programu



Obrázek 8. Opatření ke snížení rizika kontaminace vod pesticidy, převzato z [12]

Primární opatření snižující příčiny vzniku znečištění se mohou týkat způsobu aplikací samotných látek (šetrné aplikace, zóny bez aplikace, snížení dávek), agrotechnického zpracování půdy a dále managementu krajiny ve vztahu k zemědělské půdě. Viz obr. 8.

1. Opatření vztažená k aplikaci látek jsou mimo jiné i jednou z hlavních podmínek programu podpory v povodí VN Švihov. Jedná se především o vhodnou aplikaci a snížení dávky účinných látek. Dalšími možnostmi jsou zónové aplikace postřiků, omezení období aplikace a zohledňování hydrologických předpovědí a náhrada použitého přípravku jiným, méně škodlivým pro životní prostředí. Moderním přístupem může být precizní dávkování (na základě rozdílného fyziologického stavu plodin).
2. Opatření agrotechnické povahy zahrnují zpracování půdy a mají za cíl zvyšovat dobu zdržení látek v půdě a snižovat náchylnost k půdní erozi. Mezi tato opatření patří i vhodné osevní postupy se začleněním plodin, které jsou na použití pesticidů méně náročné a také zvyšování organické složky v půdě. U nejvíce zranitelných ploch může být účinné pouze zatravnění.
3. Opatření v krajině, která mají pozitivní vliv na snížení zatížení povrchových a podzemních vod pesticidy, jsou všeobecně známá, ale v obecné rovině chybí motivace je realizovat ve větším měřítku. Na druhé straně jsou lépe kontrolovatelná, než opatření aplikační. Jedná se především o tvorbu biokoridorů (zvýšení biodiverzity, protierozní opatření), mezí,

travnatých pásů a remízek [6]. Dále tvorba umělých mokřadů, retenčních nádrží a drenážních biofiltrů [11].

C) Technická opatření: doplnění stupně GAU na ÚV Hulice (řešení důsledků)

Dalším opatřením na straně odstraňování důsledků je posílení technologie úpravy pitné vody o stupeň granulovaného aktivního uhlí (dále „GAU“).

Úprava vody v Hulicích je v současné době vybavena tzv. jednostupňovou technologií, tj. po nadávkování koagulantu a vysrážení vloček je upravovaná surová voda filtrována přes pískovou filtraci. Následně voda prochází přes technologii ozonizace [10], která rezidua organických látek (pesticidy, léčiva a další specifické látky) tzv. „naštípe“ na další fragmenty. Některé tyto látky se dále rozkládají a eliminují, jiné mohou ve vodě v různých formách přetrvávat. Další látky vlivem ozonizace vznikají (doc. Grabic, nepublikované údaje). Technologie GAU umožňuje většinu těchto látek eliminovat [5] a to jak rezidua a metabolity některých látek, které jsou přítomné již v povrchové – surové vodě přitékající na úpravnu [2], tak i rezidua, která vzniknou v rámci samotného procesu úpravy vody, zejména při ozonizaci, chloraci a dalších procesech úpravy vody. Technologie GAU není „všespasitelná“ a nefunguje na všechny látky stejně nebo je nemusí odstraňovat ze sta procent [4,5], ale je to v současné době jedna z nejlepších technologických cest pro odstraňování těchto látek z vody a stává se stále častěji technologickým doplňkem úpravy vody [1,4] v České republice i Evropě. Účinnost odstraňování reziduí

organických látek technologií GAU záleží také na typu zvoleného aktivního uhlí, nastavení technologických parametrů dané vodní linky atd. [5], proto jsou součástí každé takovéto stavby (jako je např. stupeň GAU na ÚV Želivka) technologické pokusy před samotným provozem i v jeho průběhu.

D) Národní akční plán

Národní akční plán ke snížení používání pesticidů je soubor opatření ke snížení negativního vlivu přípravků na ochranu rostlin. Týká se ochrany lidského zdraví, ochrany podzemních a povrchových vod a ochrany necílových živých organismů. Vychází z legislativního ustanovení (§ 48a zákona č. 326/2004 Sb.) a má potenciál být účinným nástrojem pro snížení zatížení povrchových a podzemních vod přípravky na ochranu rostlin.

Bohužel v současné době není možné tento nástroj závazně požadovat a tím využívat jeho potenciál. Změna v zacílení dotačních titulů a vymahatelnost závazků plynoucí např. z Akčního plánu by významně pomohla snížit zatížení POR v povrchových a podzemních vodách ČR.

Závěr

Často slýcháváme názor: „Pokud je na konci úprava, není třeba se limitovat v používání chemických přípravků“. To je dle našeho názoru chybné tvrzení, jelikož tyto technologie nikdy nebudou odstraňovat ze sta procent všechny látky, které „současný moderní člověk“ vyprodukuje a navíc to představuje velké finanční nároky. Tyto technologie mimo jiné neřeší dlouhodobou perzistenci cizorodých látek v krajině a vliv na životní prostředí obecně. Je tedy potřeba řešit nejen následky, ale zejména příčiny u zdrojů a to jak plošných (zemědělství) tak i bodových (komunální odpadní vody, vody ze zdravotnických zařízení a průmyslu).

Literatura

- [1] ALVES, A.A.A., RUIZ, G.L. de O., NONATO, T.C.M., PELISSARI, C., DERVANOSKI, A. and SENS, M.L. 2019. Combined microfiltration and adsorption process applied to public water supply treatment: water quality influence on pesticides removal, *Environmental Technology*. 2019 Feb 5:1–11.
- [2] COSGROVE, S., JEFFERSON, B. and JARVIS, P. 2019. Pesticide removal from drinking water sources by adsorption: a review, *Environmental Technology Reviews*. 8:1, 1–24.
- [3] DOBIÁŠ, J., KOŽELUH, M., ZAJÍČEK, A., FUČÍK, P., LIŠKA, M. 2018. Dynamika vyplavování pesticidních látek v povodí Čechtického potočka, *VTEI*, 2018–4. s.10–16.

- [4] GOODRICH, J. A., LYKINS, B.W., and CLARK, R.M. 1991. Drinking Water from Agriculturally Contaminated Groundwater. *J. Environ. Qual.* 20:707–717.
- [5] HEIJMAN, S.G.J., HOPMAN, R. 1991. Activated carbon filtration in drinking water production: model prediction and new concepts, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Volume 151, Issues 1–2. s.303–310.
- [6] JANEČEK, M. et al. 2012. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodika. Česká zemědělská univerzita Praha, Fakulta životního prostředí. 117 s.
- [7] LIŠKA, M. a kol. 2012-3. Největší zdroj pitné vody v České republice – vodárenská nádrž Švihov na Želivce. *Vodní Hospodářství*, 3/2012. s.78–82.
- [8] LIŠKA, M. a kol. 2013-9. Problematika výskytu pesticidů v povodích vodárenských zdrojů. *Vodní nádrže* 2013, 25.6.–26.9.2013. Brno. s.84–89.
- [9] LIŠKA, M. a kol. 2015-1. Problematika výskytu pesticidních látek v povrchových vodách v povodí vybraných vodárenských zdrojů. *Vodní Hospodářství*, 1/2015. s.14–19.
- [10] VAVRUŠKOVÁ, L., DRYML, M., BLAŤÁKOVÁ P. 2010. Vliv ozonizace na množství pesticidních látek v upravené vodě z ÚV Želivka. *Sborník konference Pitná voda 2010*, W&ET team, Č. Budějovice. s.175–180.
- [11] VYMAZAL, J., BŘEZINOVÁ, T. 2015. The use of constructed wetlands for removal of pesticides from agricultural runoff and drainage: A review, *Environment International*, Vol. 75, 2015, s. 11–20.
- [12] ZAJÍČEK, A. et al. 2017. Technologie šetrné aplikace pesticidů v odvodněných zemědělských povodích. Ověřená technologie. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. ISBN: 978-80-87361-79-5.
- [13] ZAJÍČEK, A., FUČÍK, P., KAPLICKÁ, M., LIŠKA, M., MAXOVÁ, J., DOBIÁŠ, J. 2018. Pesticide leaching by agricultural drainage in sloping, mid-textured soil conditions – the role of runoff components. *Water Sci Technol* 20 April 2018. 77 (7): 1879–1890.

Příspěvek vznikl na základě

- Výsledků z Provozního monitoringu vodohospodářských laboratoří státního podniku Povodí Vltavy.
- Probíhajícího programu Ministerstva zemědělství: „B4 Podpora opatření ke snížení dopadu zemědělské prvovýroby v ochranném pásmu vodárenské nádrže Švihov na řece Želivce“.
- Výstupů projektu TA04021527 „Studium příčin a dynamiky zátěže vod drobných vodních toků přípravky na ochranu rostlin“ Programu na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje ALFA, Podprogramu 2 – Energetické zdroje a ochrana a tvorba životního prostředí.

POSTEROVÁ SEKCE

FRESHWATER SEDIMENTS: LINKING HYDRODYNAMICS AND BIOGEOCHEMISTRY

Felipe Bretón^{1,2}, Jiří Jan¹, Jakub Borovec^{1,2}

¹ *Biologické centrum AVČR, v.v.i., Výzkumná Infrastruktura SoWa, Na sádkách 7, 370 05 České Budějovice, +420 777 551 929, felipe.breton@bc.cas.cz*

² *Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, přírodovědecká fakulta, Branišovská 31 7, 370 05 České Budějovice*

Abstract

Water quality is strongly influenced by nutrient cycling in sediments. Organic matter decomposition rates depend on the availability of terminal electron acceptors within the porespace. However, transport of solutes across the sediment-water interface (SWI) is regulated by hydrodynamic conditions. Numerical modelling is still complex and far from practical. Hence, we are developing a methodology for description, diagnose, and monitoring of sediment status: chemical gradients along the SWI are described by coupling gel mini-peepers and planar optodes; lab-flume experiments have been carried out to model solute release; a mesocosm experiment was implemented in fishponds to simulate the effect of wind-driven currents on oxygen and phosphorus regime; and benthic hydrodynamics has been monitored in a reservoir by using acoustic Doppler instrumentation. Examples of the type of data we can obtain are presented. This approach should lead us to obtain better estimates (and understanding) of nutrient turnover rates in freshwater sediments.

Keywords: *sediment-water interface; internal loading; nutrient fluxes; hydrodynamics.*

Abstrakt

Kvalita vody je silně ovlivněna cykly živin v sedimentech. Rychlosti rozkladu organických látek závisí na dostupnosti akceptorů elektronů v pórové vodě. Transport rozpuštěných látek přes rozhraní sediment-voda (SWI) je však regulován také hydrodynamickými podmínkami. Numerické modelování je stále složité a ani zdaleka praktické. Proto vyvíjíme metodiku pro popis, diagnostiku a monitorování stavu sedimentu: chemické gradienty na rozhraní sediment-voda jsou popsány gelovými mini-peepery a planárními optodami; byly provedeny experimenty s laboratorním žlabem pro modelové uvolňování rozpuštěných látek; v rybnících byl proveden mezokosmový experiment, který simuloval vliv proudění poháněných větrem na režim kyslíku a fosforu; a benthická hydrodynamika byla monitorována v nádrži pomocí akustického Dopplerova přístroje. Uvádíme příklady typu dat, které můžeme získat. Tento přístup by nás měl vést k získání lepších odhadů (a porozumění) míry obratu živin ve sladkovodních sedimentech.

Klíčová slova: *rozhraní sediment-voda; vnitřní zatížení; toky živin; hydrodynamika.*

Introduction

Freshwater ecosystems, such as reservoirs and fishponds, provide important social and ecological services. Water quality in these water bodies is strongly influenced by sediment dynamics. For instance, the release of nutrients back to the water column after organic matter decomposition (the so called „internal loading“), may control primary production rates in summer. It is known that organic matter decomposition rates depend on the availability of terminal electron acceptors (e.g. O₂, NO₃⁻, Mn(IV), Fe(III), SO₄⁻) within the porespace. However, the transport of solutes across the sediment-water interface (SWI) is usually regulated by the hydrodynamics of bottom waters and the concentration gradients found at this interface (Lorke and Peeters 2006). Therefore, in order to estimate solute fluxes across the SWI it is required to measure concentration gradients (at high resolution) together with benthic hydrodynamics. Numerical modelling is still complex and far from being a practical approach. On the other hand, most literature and its developed technology comes from ocean and deep-lake studies (Bryant et al. 2010). Thus, this knowledge can be transferred into shallow freshwaters, such as fishponds and the riverine zone of reservoirs, where eutrophication is of public concern and not completely understood. Consequently, we are developing a practical methodology for description, diagnose, and monitoring of sediment status. With this approach, nutrient release potential could be evaluated under certain meteorological conditions. For example, in the context of climatic change or under different water management scenarios.

Materials and methods

Mini-peepers coupled with planar optodes:

In order to measure vertical concentration profiles along the SWI, we use Diffusive Equilibrium in Thin-films (DET) probes, also called gel mini-peepers. Basically, each probe contains a polyacrylamide gel that is about 90% water. When deployed into sediment, for at least 12 hours, its internal concentration equilibrates with surrounding porewater. After retrieval, the gel is sliced into layers (up to 2.5 mm) which are diluted and sent for water chemical analysis separately. In particular, we follow a procedure suggested by Krom et al. (1994) while our gel type is BPA-I (Zhang and Davison 1999). Chemical analysis is done by inductively coupled plasma with mass spectroscopy detector, and ion chromatography. This technique enables us to measure almost any solute with relatively high vertical resolution. Two key missing solutes are oxygen and protons (pH) which are measured by including two fluorescent sensor strips. Right after the retrieval of mini-peepers and before slicing, these sensors are light-excited

and pictured with two planar optodes, as shown in Figure 1. Images are processed in Matlab® in order to get a vertical profile of both oxygen and pH concentrations. Although this coupling technique is still under development, still it may help us to better describe the sediment biogeochemistry as compared to standard methods.

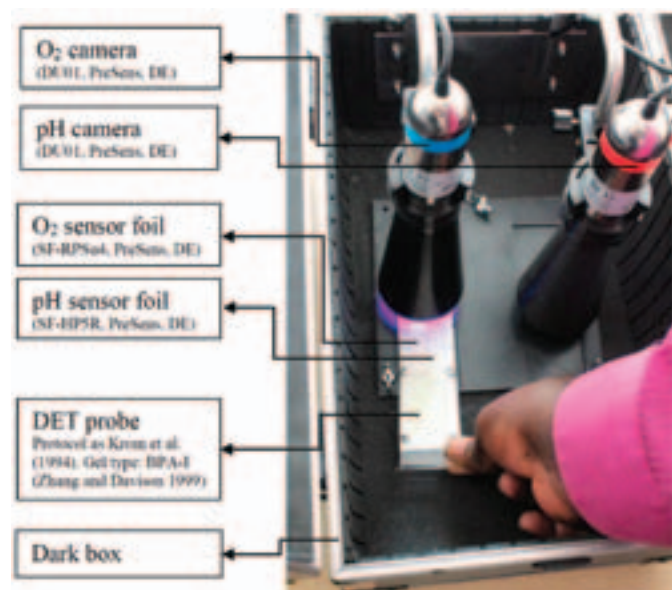


Figure 1. Coupling DET probe with planar optodes

Lab-flume experiment

A small experimental flume made of acrylic (100x30x20 cm) was filled with glass beads as an artificial, non-reactive sediment. Sediment pore space was saturated with a solution that enabled us emulating natural solute gradients usually found in sediments of eutrophic freshwaters. While keeping a constant water column, we recirculated tap water to track the release of Cl^- , K^+ , and phosphorus ions from sediment, as well as dissolved oxygen. Three sediment-size ranges were tested: 300-400, 125-250, and < 45 microns. Based on field measurements, we chose three flow conditions that were progressively tested. Nominal velocities were 0.1, 0.4, and 1.3 cm s^{-1} . Each flow condition lasted 12 h, so that each sediment test was done in a period of 36 h (Figure 2).

Concentration gradients within the SWI were monitored by DET, oxygen planar optode, and a self-made conductivity profiler. Water samples were also collected and analyzed for their chemistry. Hydrodynamics were described with an ADV lab probe. In particular, friction velocities were estimated. Mass balance analysis proved that chloride ion behaved as a conservative tracer for solute release estimations. Therefore, observed water concentration increase with time, together with measured vertical profiles of porewater concentrations allowed us to estimate solute exchange velocities (mass transfer coefficient) under different hydrodynamic conditions (Figure 3).

Mesocosm experiment

Considering the enormous amount of another factors influencing nutrient dynamics in sediments rather than hydrodynamics (light, turbidity, pH, temperature, sediment composition and granulometry, water depth, among others), as well as the fact that is difficult to control all of them, we decided to run a mesocosm experiment in a fishpond (Figure 4). We followed a similar approach than the lab experiment for building up a structure of three

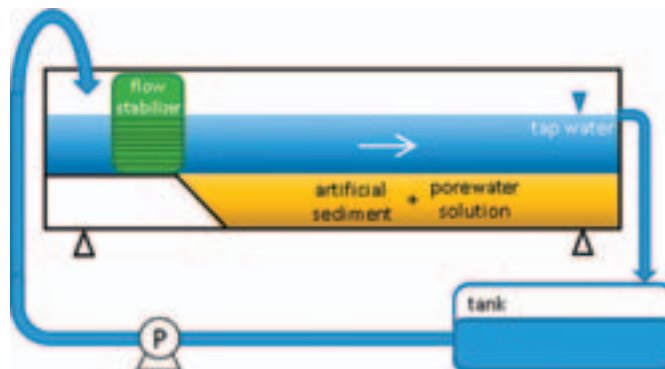


Figure 2. Experimental flume schematic

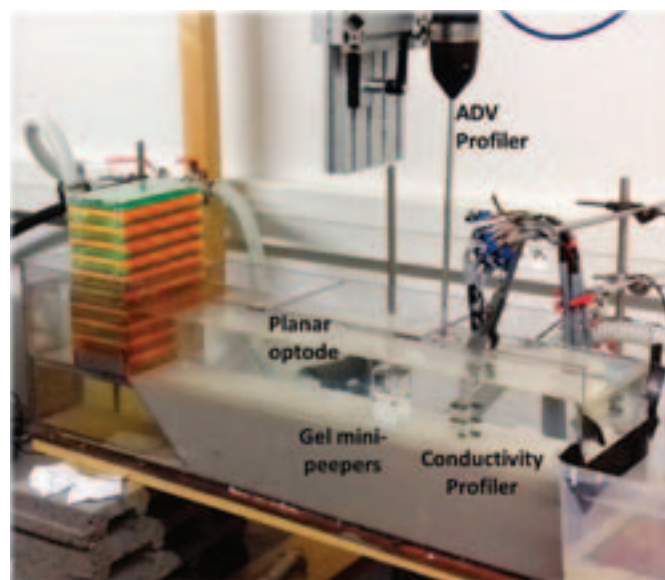


Figure 3. Experimental flume setup and instrumentation



Figure 4. Mesocosm experiment to evaluate the effect of hydrodynamics on water quality

parallel flumes. The structure is equipped with a set of pumps so that water can be recirculated in each flume at different flow rates, simultaneously. It also considers a floating crane for transportation and deployment. Flume walls can be buried into the sediment penetrating 20 cm. Water quality parameters such as temperature, chlorophyll-a, conductivity, dissolved oxygen, pH, and turbidity can be monitored in time with an automatic multi-parameter probe installed at each flume. This enable us to evaluate the effect of hydrodynamics on water quality under the same environmental



Figure 5. Doppler instruments for measuring hydrodynamics in study-site (ADV, left) and (ADCP, right)

conditions. Two structures like this were built: one for shallow waters (1.5 m) and one for deep waters (2 m). These were tested in Vlkava fishpond, located in Central Bohemia, Czech Republic (50.273N, 14.955E). The flumes were exposed for 24 h under constant artificial flow conditions. Complementary measurements considered ADV profiles, water samples, and gel mini-peepers coupled with planar optodes.

Acoustic Doppler velocimetry and current profiler

In order to describe the hydrodynamics of the study-site, we are using two Doppler instruments. A filed-probe ADV is used to measure bottom velocities (10 cm above the bottom), while an Acoustic Doppler Current Velocimeter (ADCP) is used to get velocity profiles of the water column (up to 2 m range). The instruments with its deployment frames are shown in Figure 5.

Results and Discussion

As an example, here we show some results from our lab experiment. Figure 6 (left) shows changes in chloride concentration profiles under different hydrodynamic conditions. Meanwhile, in Figure 6 (right) net flux estimates are compared among different methods recommended in literature. In order to get a decent estimation of solute fluxes, it is required to work at a sub-millimetre scale and accurately describe the hydrodynamics.

Coupling DET with planar optodes was implemented in field conditions. Still some technical problems need to be solved in order to get accurate oxygen and pH profiles.

Solute flux estimates from lab experiments revealed significant differences among different methods that are normally used in literature. In general, sediment-side methods may underestimate solute fluxes compared to water-side methods.

A complex experimental setup, for evaluating the importance of hydrodynamics on SWI fluxes, was successfully tested in a fishpond as a mesocosm study. This technology can be used in other study-sites with similar characteristics.

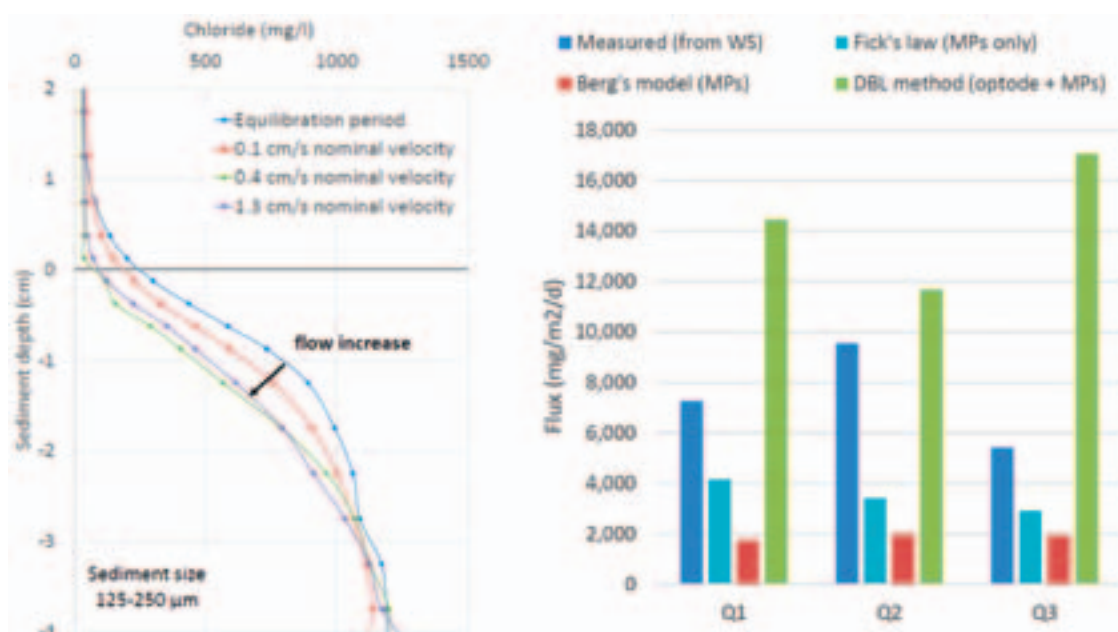


Figure 6. Example of lab experiment results. Q1 – discharge with 0.1 cm/s nominal velocity, Q2 – discharge with 0.4 cm/s nominal velocity and Q3 – discharge with 1.3 cm/s nominal velocity.

We used ADV and ADCP in environments with low-energy flows (e.g. drinking water reservoir). Those were capable for monitoring low velocities of benthic waters (~1 cm/s), and even described properly the flow field during summer storms. Next step would be to correlate these episodes with wind records from a meteorological station, so that the relevance of this hydrodynamic regime to nutrient fluxes can be evaluated.

Conclusions and recommendations

In order to understand the influence of sediments on water quality, first it is required to describe and understand the biogeochemistry of sediments. In particular, its close relation to hydrodynamics cannot be ignored and must be evaluated. Yet, coupling hydrodynamics with sediment biogeochemistry requires state-of-the-art technologies, as well as, a deep understanding of the physical processes involved.

Acknowledgments

This work was partially supported by the research projects: MŠMT LM2015075, CZ.02.1.01 /0.0/0.0/16_013/0001782, TAČR TH04030289, and NAZV QK1810161.

References

- Bryant, L. D., D. F. McGinnis, C. Lorrai, A. Brand, J. C. Little & A. Wüest, 2010. Evaluating oxygen fluxes using microprofiles from both sides of the sediment-water interface. *Limnology and Oceanography: Methods* 8(11):610–627.
- Krom, M., P. Davison, H. Zhang & W. Davison, 1994. High-resolution pore-water sampling with a gel sampler. *Limnology and Oceanography* 39(8):1967–1972.
- Lorke, A. & F. Peeters, 2006. Toward a unified scaling relation for interfacial fluxes. *Journal of physical oceanography* 36(5):955–961.
- Zhang, H. & W. Davison, 1999. Diffusional characteristics of hydrogels used in DGT and DET techniques. *Analytica Chimica Acta* 398(2-3):329–340.

ERÓZNE JAVY V POVODÍ A ICH DOPAD NA MALÉ VODNÉ NÁDRŽE

Ladislav Glinda, Ľudmila Kočvarová, Martin Rybárik

*Slovenský vodohospodársky podnik, š.p., Odštepny závod Piešťany, Správa povodia stredného Váhu II.,
Nábřežie Ivana Krasku 834/3, 921 80 Piešťany, tel. +421 337 764 701, ladislav.glinda@svp.sk*

Abstrakt

Cieľom príspevku je poukázať na negatívne skúsenosti s pretrvávajúcimi intenzívnymi eróznymi javmi v krajine, ich dopadmi na projektované parametre malých vodných nádrží a na ich prevádzku. Príkladom takejto nádrže v správe SPSV II. ako organizačnej zložky SVP š.p. je vodná nádrž Čerenec situovaná v povodí toku Holeška nad mestom Vrbové. Príspevok mapuje prevádzkové skúsenosti s obhospodarovaním okolitých pozemkov tejto vodnej nádrže, skúsenosti s odstraňovaním sedimentu z nádrže a rýchlosti jeho opätovnej tvorby s dopadom na požiadavky manipulácie, ďalej postupujúcu eróziu brehov nádrže a potrebu ich sanácie. V krátkosti sa tiež zameriava na legislatívne a praktické problémy odstraňovania dnových sedimentov z nádrží, poukazuje na špecifiká niektorých iných vodných nádrží v správe, ako sú VN Omšenie či VN Dubník I.

Kľúčové slová: VN Čerenec; Holeška; erózia; sedimentácia; abrázia brehov.

Úvod

Takmer každá organizačná zložka Slovenského vodohospodárskeho podniku š.p. v súčasnosti spravuje desiatky malých vodných nádrží vybudovaných v šesťdesiatych a sedemdesiatych rokoch minulého storočia, ktoré vo väčšine prípadov spája nielen účel za ktorým boli vybudované, ale aj problém výrazných sedimentačných procesov v ich priestore idúcich ruku v ruku so zmenšovaním zásobných a retenčných objemov a postupnej strate schopnosti plniť svoje primárne funkcie. Jedným z typických príkladov takejto nádrže v pôsobnosti Správy povodia stredného Váhu II. je VN Čerenec ležiaca na vodnom toku Holeška nad mestom Vrbové.

VN Čerenec – základné údaje

Vodná nádrž vybudovaná v rokoch 1961–1964 severne od mesta Vrbové za účelom transformácie povodňovej vlny na tokoch Holeška a Dudvák, zabezpečenia odberu vody pre priemysel (bývalý TECHNOLOG TRIKOTA závod Vrbové) a poľnohospodárstvo, nadlepšenie min. prietokov pod nádržou, či vytvorenie podmienok pre rekreáciu, bola daná do užívania 8.1.1965.



Obrázok 1. Vodná nádrž Čerenec



Obrázok 2. Odstraňovanie nánosov – sedimentačná nádržka na vtoku

Hydrologické údaje a projektované parametre:

Plocha povodia	61km ²
Priemerný ročný úhrn zrážok	750 mm
Q ₃₆₄ :	0,027 m ³ .s ⁻¹
Q ₁₀₀ :	40,0 m ³ .s ⁻¹
Kóta koruny:	191,3 m n. m.
Kóta max. prevádzkovej hladiny	188,1 m n. m.
Kóta max. hladiny (pilier pevného bezpečnostného priepadu)	190,30 m n.m.
Kóta min. prevádzkovej hladiny	183,6 m n. m.
Max. zatopená plocha	0,46 km ²
Celkový objem	1 680 000 m ³
– retenčný	840 000 m ³
– zásobný	705 000 m ³
– stály	135 000 m ³
Sanačný prietok pod VN	40 l.s ⁻¹
Odber z VN (Technopol r. 2001)	58 000 m ³ /rok

Odstraňovanie sedimentov

2004 – Odčistenie sedimentačnej nádrže a zaústenia toku Holeška	18 900 m ³
2005 – Odčistenie nánosov na úseku 130 m pod sedimentačnou nádržou	19 676 m ³

Odčistenie sedimentu bolo realizované klasickým spôsobom za pomoci dozéru a mechanizmu UDS, Schaeff HS 40 na kótu 186,60 pri priemernej výške nánosov 1,5m. Prevažná časť materiálu bola prevezená na dočasnú skládku, časť bola použitá na terénne úpravy brehov, ktoré sú najmä v hornej časti nádrže výrazne erodované.



Obrázok 3. Odstraňovanie nánosov – prístupová cesta do sedimentačnej nádrže

Súčasný stav – zameranie 2018–2019

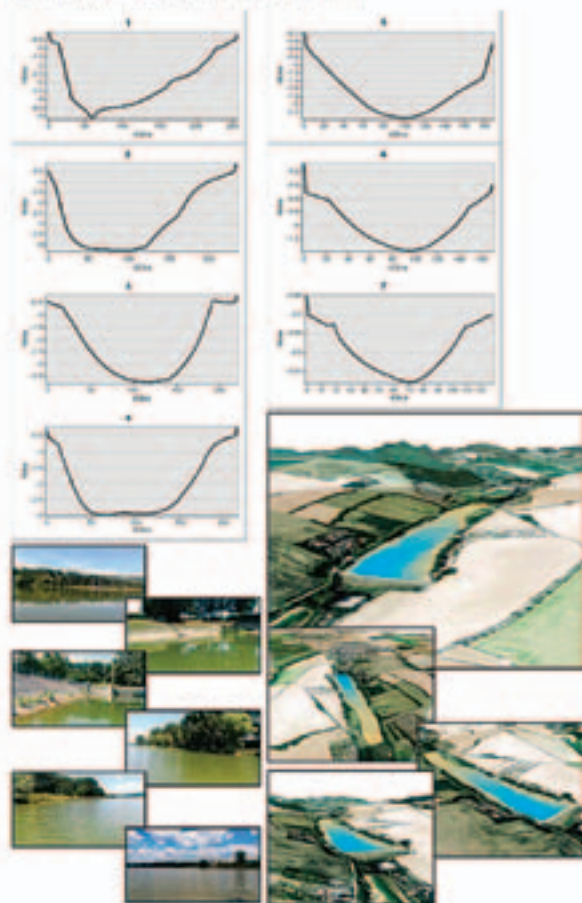
Kóta hladiny pri zameraní	187,68 m n.m.
Vypočítaný objem nádrže pri meranej hladine	421 000 m ³
Vypočítaný objem nádrže pri max. hladine (190, 30 m n.m.)	1 088 000 m ³
Projektovaný objem nádrže pri max. hladine (190, 30 m n.m.)	1 680 000 m ³
Rozdiel objemov (objem sedimentu)	592 000 m ³
Percentuálne vyjadrenie zanesenia vodnej nádrže	35 %

VN Čerenec



Zameranie dna nádrže sonarom, jún 2018

Vybrané priečne profily pri hladine 187,68 m.n.m.



Obrázok 4. Zameranie dna nádrže sonarom, jún 2018



Obr.ázok 5, 6. Obhospodarovanie pôdy v dotyku s VN Čerenec

Erózne javy ako príčina problému nadmernej sedimentácie

- V povodí
- V priestore nádrže (abrázia brehov)

Charakteristické problémy súvisiace s odstraňovaním sedimentu z vodných nádrží

- Množstvo sedimentu a s ním spojená časová, technologická a finančná náročnosť prác
- Riziká spojené s výpadkami zásobovania odberateľov vodou
- Možné škody na rybej osádke, vodnom rastlinstve a živočíchoch
- Fyzikálne a chemické vlastnosti sedimentu (uplatnenie zákona 188/2003 Z.z. v znení neskorších predpisov o aplikácii čistiarenskeho kalu a dnových sedimentov do pôdy)
- Dočasná strata estetiky a rekreačného potenciálu nádrže
- Odvoz sedimentu, jeho skládkovanie a finálna úprava

Záver

Napriek faktu, že mnohé zo spravovaných vodných nádrží s pribúdajúcim vekom strácajú projektované parametre a niekedy aj časť úloh pre ktoré boli budované (odber z VN Čerenec bol ukončený spolu s ukončením výroby spol. BODET&HORST mattress ticking verwaltungs s.r.o, vo Vrbovom v roku 2018), ich prínos pre ochranu pred povodňami a zachovanie života v povodí v období extrémneho sucha pri nerovnomernej distribúcii zrážok v krajine naďalej pretrváva, ba dokonca rastie.

V súčasnej dobe Správa povodia stredného Váhu II. pripravuje realizáciu čiastkových opatrení na sanáciu erodovaných brehov VN Čerenec. Zároveň sa zintenzívnila komunikácia so zástupcami obhospodarovateľov priľahlých pozemkov a samosprávy s cieľom zlepšiť situáciu v povodí a v max. miere eliminovať

splachy pôdy do vodnej nádrže. V prípade doriešenia problému s nájdením vhodnej lokality pre skládku vyťaženého nánosov je po rokoch opäť v hre aj dočasné zníženie hladiny v nádrži, prípadne jej úplné prázdnenie spolu s odstránením sedimentu z jej kľúčových častí.

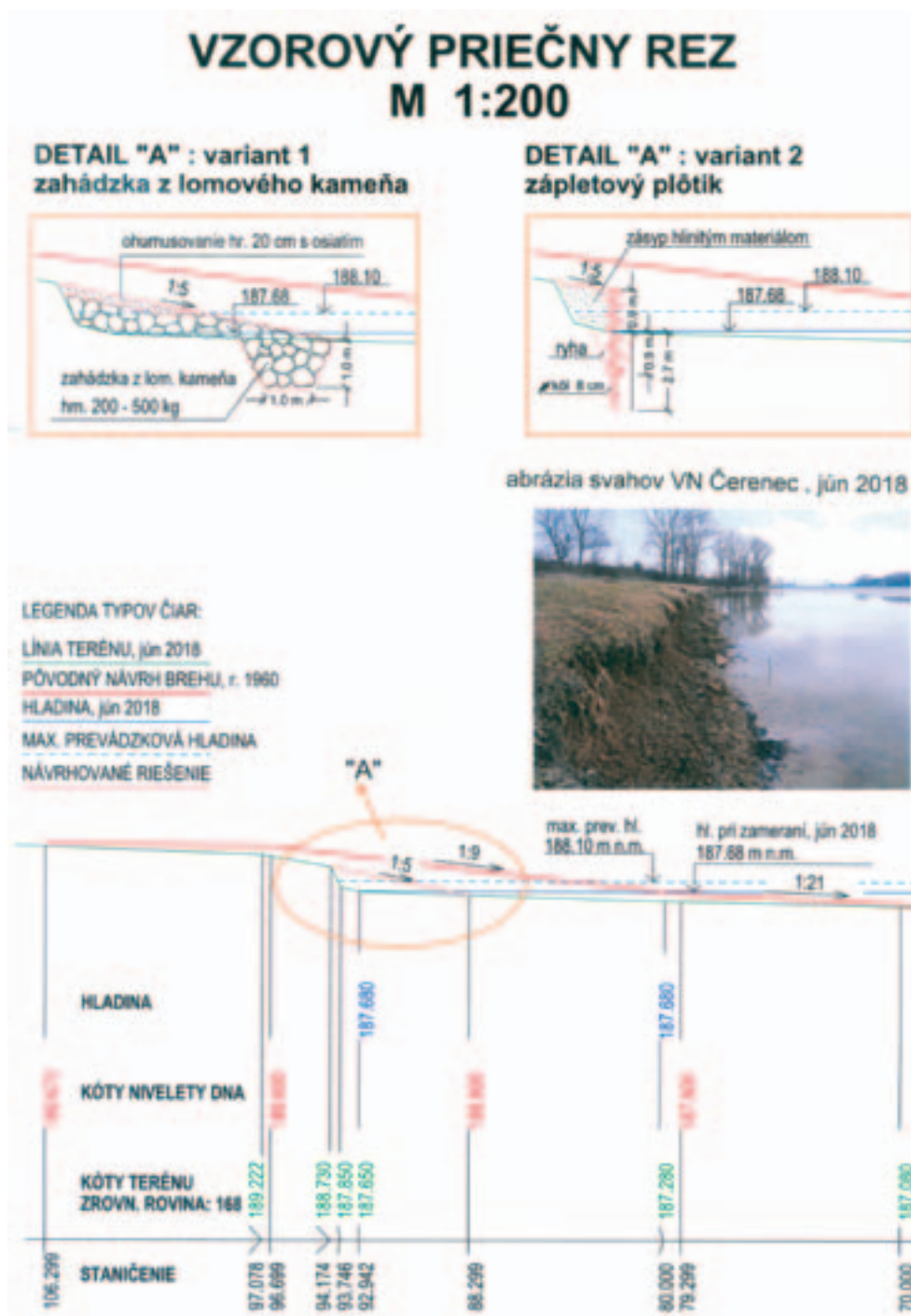
Literatúra

MP vodnej nádrže Čerenec

PD VN Čerenec – odstraňovanie nánosov z usadzovacej nádrže (2001)

PD VN Čerenec – odstraňovanie nánosov z usadzovacej nádrže – doplnenie (2005)

Geodetické zamerania nádrže, merania sonarom kolektívom SVP š.p., OZ Piešťany (2018)



Obrázok 7. Abrázia brehov VN Čerenec s návrhom ich sanácie

OPATŘENÍ NA VODNÍCH TOCÍCH KÖSSEINU A RESLAVĚ KE ZMÍRNĚNÍ PROBLEMATIKY RTUTI NA VODNÍ NÁDRŽI – ANALÝZA RIZIK NA ČESKÉ STRANĚ

Jindřich Hönic, Tomáš Bruna

Povodí Ohře, s. p., Bezručova 4219, 430 03 Chomutov, tel. +420 474 636 290, honig@poh.cz

Abstrakt

Mezinárodní projekt se zabývá problematikou vnosu rtuti do vodní nádrže Skalka na Chebsku. Historickým původcem znečištění byl chemický závod v bavorském Marktredwitzu. Navzdory sanaci samotné továrny i jejího okolí je v současné době sekundárním zdrojem kontaminace říční sediment bohatý na rtuť, který je v podobě splavenin opakovaně mobilizován zvýšenými průtoky a následně transportován do nádrže Skalka, kde se ukládá. Ačkoliv je továrna více jak 30 let mimo provoz, tak koncentrace rtuti na přítoku do VN Skalka za poslední desetiletí neklesají.

Česká část projektu představuje analýzu rizik (AR), která si klade za cíl identifikovat a zhodnotit ekologická i zdravotní rizika a navrhnout případná opatření. Analýza rizik je rovněž podkladem pro německé partnery, kteří v současné době zpracovávají studii možných opatření na bavorské straně. Bavorská studie by měla zhodnotit veškerá v současné době dostupná sanační opatření a technologie. Sanační metody v rámci studie budou posouzeny z hlediska jejich účinnosti, trvanlivosti, ceny, jejich souladu s Rámcovou směrnicí o vodách. Celý projekt je kromě problematiky rtuti zajímavý i tím, že zde dochází ke střetu ochrany jakosti vod a Rámcové směrnice o vodách. Součástí německé části projektu bude i realizace několika pilotních opatření.

Klíčová slova: VN Skalka; rtuť; sanace; analýza rizik.

Abstract

The international project concerns the issue of mercury input into the water reservoir Skalka in the Cheb region. The historical cause of pollution was the chemical plant in Bavarian Marktredwitz. In spite of the sanitation of the plant and its surroundings, still the current secondary source is the river sediment rich with mercury. This river sediment in the form of alluvia is repeatedly mobilised by the high flow and transported to the water reservoir Skalka, where it is finally deposited. Although the chemical plant has not been operating for the last thirty years, the mercury concentration on the inflow of Skalka has not been getting any lower in the recent decades.

The Czech part of the project deals with risk analysis which aims to identify and evaluate the environmental and health risks and suggest prospective actions. The risk analysis provides also the grounds for the German partners, who are currently executing a study of possible solutions on the Bavarian part. The Bavarian study should assess all current available sanitation measures and technologies. The sanitation methods will be evaluated within the study in relevance to the effectivity, durability, price and their act with accordance with the Water Framework Directive. The whole project does not only deal with the mercury issue, but

it also brings two contrasting issues, that being the protection of the water quality and the Water Framework Directive. The part of the project on the German side will be the implementation of some pilot arrangements.

Keywords: water reservoir Skalka; mercury; sanitation; risk analysis.

Úvod

Analýza rizik [1] byla vypracována za účelem zhodnocení míry rizika plynoucího z historické i současně probíhající ekologické zátěže vodní nádrže Skalka na řece Ohři. Mezi základní cíle analýzy patřil průzkum znečištění rtutí v zátopě vodní nádrže a vyhodnocení možnosti dalšího šíření znečištění do okolního prostředí, popis existujících i reálných potenciálních rizik a stanovení nápravných opatření, resp. strategie řízení rizika. Kromě aktuálně realizovaných prací a průzkumů byly v rámci analýzy využity i analýzy a dílčí studie Povodí Ohře, s. p., jakož i výsledky studie proveditelnosti z roku 2011[2].

Projekt je podporován Operačním programem přeshraniční spolupráce Interreg V – Česká republika – Svobodný stát Bavorsko 2014–2020.

Shrnutí problematiky

Základní charakteristiky a popis vodní nádrže Skalky a jejího povodí uvádí Tabulka 1. Primárním zdrojem antropogenního znečištění nádrže Skalka byl chemický závod (Chemische fabrik Marktredwitz) v německém městě Marktredwitz, kde se v letech 1788–1985 vyráběly anorganické a organické sloučeniny rtuti. Během výroby docházelo k úkapům sloučenin a postupné kontaminaci zemního prostředí pod areálem závodu. Rtuť znečišťovala také říčku Kösseine, do které byla zaústěna dešťová kanalizace z areálu. Kösseine je hlavním přítokem řeky Reslavy. Po dobu téměř 200 let byly tedy řeky Kösseine, Reslava a následně Ohře zatěžovány znečištěním rtutí, a to včetně jejich niv.

Po vnosu rtuti do recipientu se sloučeniny rtuti vázaly na částice sedimentu a vstupovaly do různých chemických vazeb. Sekundárním zdrojem znečištění se pak stal kontaminovaný říční sediment – splaveniny. Ty byly a jsou pravidelně při vyšších průtocích erodovány a uváděny do pohybu. Při snížení průtoku se splaveniny usazovaly a usazují v nivě podél toku, v konvexních obloucích a ve zdržích nad vzdouvacími objekty na toku. Vzhledem k dlouhodobému provozu chemického závodu tak došlo k postupnému znečištění sedimentu a zemin v nivě toků Kösseine, Reslava a následně Ohře. VN Skalka je první velká vodní nádrž

Tabulka 1. Charakteristika (parametry) VN Skalka a jejího povodí

Charakteristika (parametr)	
Plocha povodí /A/	671,92 km ²
Průměrná dlouhodobá roční hodnota srážek /P _a /	760 mm
Průměrná dlouhodobá roční hodnota průtoku /Q _a /	6220 l/s
Průměrný 355denní průtok** /Q _{355d} /	950 l/s
Stoletý průtok /Q ₁₀₀ /	277 m ³ /s
Minimální průtok pod hrází /M _Q / v profilu limnigrafu Cheb	1 m ³ /s
Neškodný průtok pod vodním dílem /Q _{neš} /	m ³ /s
Prostor stálého nadržení	0,911 mil. m ³ / 73 ha
Celkový ovladatelný prostor	15,919 mil. m ³ / 340 ha
Celkový prostor nádrže	19,555 mil. m ³ / 378 ha
Kóta koruny hráze	444,60 m n. m
Délka / šířka hráze v koruně	115 / 4 m
Maximální výška hráze nad terénem	14,6 m
Zájmové přítoky od VD ke zdroji kontaminace	Ohře – Reslava – Kössein
Vzdálenost původního zdroje kontaminace od VD	16 km vzdušnou čarou

Popis VD Skalka: vzdouvací objekt tvoří přímá, sypaná kamenitá hráz s návodním betonovým těsnicím pláštěm. Výpustné zařízení tvoří dvě spodní výpusti o průměru DN 1200 mm (2 x 12,4 m³/s). Převod velkých vod zajišťují dva bezpečnostní přelivy s celkovou kapacitou při max. hladině v nádrži 559 m³/s. Při pravém břehu VD je umístěna MVE s dvěma Kaplanovými horizontálními turbínami (2 x 350 kW).

Tabulka 2. Zjednodušené výsledky analýz matric posuzovaných v rámci analýzy rizik

Matrice	limit	průměr	minimum	maximum
povrchová voda	0,07 µg/l	–	–	pod mezí stan.
sediment ve VD	0,8 mg/kg / 20 µg/kg*	2,937 mg/kg	0,124 mg/kg	7,72 mg/kg
sediment Ohře pod VD	0,8 mg/kg / 20 µg/kg*	1,616 mg/kg	0,222 mg/kg	5,23 mg/kg
kořeny rostlin	–	0,675 mg/kg	0,105 mg/kg	3,14 mg/kg
obojživelníci (svalovina)	–	0,178 mg/kg	0,166 mg/kg	0,190 mg/kg
hlodavci (svalovina)	–	0,066 mg/kg	0,055 mg/kg	0,077 mg/kg
dravé ryby	0,5 / 1,0 mg/kg	3,11 mg/kg		
nedravé ryby	0,5 mg/kg	0,87 mg/kg		

*limit pro využití sedimentu na zemědělské půdě / NEK – RP pro biotu v pevné matici dle NV č. 401/2015 Sb.

pod primárním zdrojem a proto zde docházelo a dochází ke konečné sedimentaci většiny splavenin z kontaminovaného povodí.

V roce 1985 byla výroba v chemickém závodě Marktreidwitz zastavena a v roce 1996 byl realizován projekt sanace kontaminovaných zemín pod areálem. Po sanaci chemického závodu byly vytěženy i kontaminované sedimenty z říčky Kösseine a začalo se s odtěžováním kontaminovaných zdrží na Reslavě.

Příčinou zvýšené sekundární kontaminace vody, splavenin a plavenin v posledních letech je současný trend revitalizací a rozvolňování břehů toků, kdy dochází k změnám splaveninového režimu. Tento za běžných podmínek vítaný přístup v současné době bavorská strana jednoznačně upřednostňuje. Dochází k přírodě blízkým úpravám koryt vodních toků, odstraňování původních

opevnění koryt vodních toků, či likvidace rozsáhlých průmyslových objektů na vodních tocích (např. elektrárna Arzberg na Reslavě). Tím však bohužel dochází k mobilizaci sedimentů a zemín z lokalit, kde je koncentrace rtuti v zemině řádově ve stovkách mg/kg. Odhadovaná dotace území České republiky rtutí z předmětné ekologické zátěže činí až 420 kg rtuti za rok.

Metodika

Analýza rizik byla zpracována v souladu s metodickým pokynem pro analýzu rizik kontaminovaného území dle MŽP. Za potenciálně exponované příjemce rizik byli stanoveni rekreanti,

rybáři, ekosystémy vázané na povrchové vody řek Reslavy a Ohře, ekosystémy vázané na příbřežní partii VN včetně nivy řek při soutoku Ohře a Reslavy.

Kromě historických analytických dat byly v rámci analýzy rizik provedeny odběry a analýzy vzorků povrchových vod (8 vzorků), sedimentů v zátokách VN (21 vzorků), sedimentů v Ohři pod VD (10 vzorků), kořenů rostlin (30 vzorků), organismů obojživelníků a hlodavců (30 vzorků). Pro účely analýzy rizik byly použity výsledky průběžných analýz koncentrace rtuti ve svalovině ryb z let 2004–2018.

Z výsledků uvedených v Tabulce 2 vyplývá, že povrchová voda není nositelem znečištění rtuti. Oproti tomu sedimenty jsou bohaté na rtuť. Platný limit pro sedimenty ukládané na zemědělskou půdu 0,8 mg/kg je mnohonásobně překračován. Dá se tedy konstatovat, že rtuť je fyzikálně vázána na hnilokal. Tento závěr je podpořen i korelací koncentrace rtuti a celkového organického uhlíku (TOC). K uvolňování rtuti do povrchové vody prakticky nedochází. Vysoké koncentrace rtuti v sedimentu jsou zřejmé i na Ohři pod vodním dílem Skalka. Posledním místem se zjištěnou vysokou kontaminací sedimentu v Ohři (1,72 mg/kg rtuti) je jez v Kynšperku nad Ohří vzdálený cca 20 km od nádrže. Z výše uvedeného vyplývá, že nositelem kontaminace rtutí v přítocích nádrže, vodním dílem Skalka i v Ohři pod nádrží jsou plavitelné sedimenty.

Analýzy rostlin, resp. jejich kořenů prokázaly vysoké koncentrace rtuti, řádově o dva řády vyšší než je typické přirozené pozadí ve střední Evropě. Zkoumáním obojživelníků a hlodavců byla zjištěna podstatně vyšší koncentrace rtuti ve svalovině u obojživelníků, jakožto živočichů vázaných na vodu. Játra a ledviny byly analyzovány pouze u hlodavců, přičemž nejvyšší koncentrace rtuti byla zjištěna u ledvin myši lesní (0,472 mg/kg).

Expoziční scénáře a vyhodnocení rizik

Jako reálné byly vyhodnoceny tyto expoziční scénáře:

- nahodilé požití vody během koupání
- dermální kontakt s povrchovou vodou během koupání
- konzumace ulovených ryb
- kontakt s vodou a sedimenty (ekosystémy vázané na povrchové vody řek Reslavy a Ohře)
- kontakt s vodou a sedimenty (ekosystémy vázané na příbřežní partii vodní nádrže včetně nivy řek při soutoku Ohře a Reslavy)

Z výsledků analýzy rizik vyplývá, že z nahodilého použití vody ani dermálního kontaktu s vodou během koupání ve vodní nádrži Skalka zdravotní rizika nevyplývají. Oproti tomu bylo analýzou zjištěno, že pravidelná konzumace dravých i nedravých ryb dětmi i dospělými lidmi představuje zdravotní riziko. Nepravidelná

konzumace představuje riziko pouze u dravých ryb (u nedravých se jedná o přijatelné riziko). V případě dravých ryb (zejména bolien, ale i candát či okoun) představuje zdravotní riziko pro děti již konzumace v intervalu 4x za rok (se zjištěnou kontaminací nad 2,5 mg/kg a předpokládanou metabolickou methylací).

Vyhodnocení ekologických rizik bylo komplikované zejména neexistujícími regulativy koncentrace rtuti v jednotlivých složkách životního prostředí (sedimenty, rostliny, živočichové atd.). V porovnání s odvozenými a nepřímými limity lze konstatovat, že koncentrace rtuti jsou na vysoké úrovni. Např. limit pro biotu v pevné matici dle NV č. 401/2015 Sb. činí 20 µg/kg, nebo hodnota pro vážné ekotoxické účinky dle agentury ochrany životního prostředí Kanady činí u sedimentu 0,486 mg/kg.

Ekologické riziko je rovněž umocněno např. faktem, že skokan zelený s prokázanou vysokou koncentrací rtuti je silně ohrožený druh a vyskytuje se na nízkém stupni potravního řetězce. Struktura potravní pyramidy v kombinaci biologickou methylací rtuti a její bioakumulační schopností zakládá riziko pro vyšší články potravního systému. Vysoké koncentrace rtuti ve sledovaných maticích navíc byly zjištěny v přírodní rezervaci Rathsam.

Doporučení a nápravná opatření

Jako primární a nejefektivnější řešení kontaminace se jeví odtěžení dnového sedimentu doplněné o podpurné technologie jako je například fytořemediace a air stripping pro zbytkové silně znečištěné vody po těžbě. V případě těžby sedimentu si je nutné uvědomit i pozitivní vliv na zmírnění problematiky výskytu sinic. Celková bilance sedimentu uvažovaného k těžbě činí cca 1,7 mil. m³, z čehož 0,4 mil. m³ tvoří rizikový sediment s vysokým obsahem rtuti. Náklady na těžbu jsou odhadnuty dle jednotlivých variant od 0,73 po 2,6 mld. Kč.

Případná těžba sedimentu je však možná až po zajištění stavu s nulovou dotací rtuti z bavorského území. S ohledem na výsledky analýz sedimentů pod nádrží Skalka se jako neefektivní jeví v minulosti diskutované vybudování zdrže na bavorském území. Jako účelné se jeví pokračovat v monitoringu ve stávajícím rozsahu a rozšíření zákazu konzumace ryb i na nedravé druhy.

Literatura

- [1] PAULIN Tomáš, František TITL, Petr KOZUBEK, Marta VALENTOVÁ. Opatření na vodních tocích Kösseinu a Reslavě ke zmírnění problematiky rtuti na vodní nádrži Skalka, CZ – studie analýza rizik. Praha, Aquatest, a. s., 2019.
- [2] TITL František, Jakub DOUCHA, Barbora TOPINKOVÁ, Antonín ORGOŇ. Rtuť na přítoku do VD Skalka – vyhodnocení a návrhy opatření. Praha, Aquatest, a. s., 2011.

ATLAS HYDROLOGIE – MODERNÍ NÁSTROJ PRO VÝPOČET SMYVU, ODTOKU A DIMENZOVÁNÍ PRVKŮ PROTIEROZNÍ OCHRANY

**Barbora Jáchymová, Petr Křížek, Luděk Strouhal, Martin Landa, Jakub Jeřábek,
Josef Krása, Petr Kavka**

*Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Fakulta stavební, ČVUT v Praze,
Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice, barbora.jachymova@fsv.cvut.cz*

Abstrakt

Príspevok predstavuje aktuálne výsledky projektu „Atlas HYDROLOGIE – moderní nástroj pro výpočet smyvu, odtoku a dimenzování prvků protierozní ochrany“. Projekt si klade za cíl vytvořit modul Atlas HYDROLOGIE pro hydrologické a hydrotechnické navrhování prvků v krajinném inženýrství. Nástroj bude využitelný při projektování pozemkových úprav. Především při dimenzování odváděcích, zasakovacích a retenčních prvků protierozní ochrany.

Na základě modelování v prostředí Atlas HYDROLOGIE jsou definovány návrhové parametry, tj. objem odtoku nebo kulminační průtok, na který je třeba prvky protierozní ochrany dimenzovat. Dále je definována trasa (její sklon) a šířka prvku. Katalog biotechnických opatření implementovaný do prostředí Atlas HYDROLOGIE obsahuje základní parametry prvků protierozní ochrany (sklonové poměry, hloubka, možný typ opevnění prvku apod.). Pro zachytivé a odváděcí liniové prvky je stanovena kapacita prvku, která je porovnávána s návrhovými parametry.

Klíčová slova: eroze; povrchový odtok; kulminační průtok; efektivní srážka.

Abstract

The paper presents actual results of the project „Atlas HYDROLOGY – a modern tool for sediment and runoff calculating and anti-erosion measures dimensioning“. The new module will be useful in the design of land consolidation, especially in the design of infiltration and retention elements of erosion control.

Based on modeling in the Atlas HYDROLOGY module, design parameters are defined, i.e. the total surface runoff volume or the peak flow, for which the erosion control elements need to be dimensioned. The route (slope) and the width of the designed element are defined. The catalog of biotechnical measures implemented in the Atlas HYDROLOGY contains basic parameters of the erosion control elements (slope conditions, depth, possible type of fortification of the element, etc.). The capacity of the element is determined for the retention and drain line elements. The elements capacity is compared with the design parameters.

Key words: erosion; surface runoff; peak flow; effective rainfall.

Úvod

Společnost Atlas spol. s r. o. vyvíjí od roku 1991 software Atlas DMT, který je určen pro modelování a zobrazování prostorových trojrozměrných ploch, a který dokáže s běžně dostupným hardware zpracovat rozsáhlé modely až do 666 000 bodů. Nad tímto hlavním produktem vyvinula společnost Atlas řadu aplikací s rozličným využitím v rámci projekční praxe. Příkladem jsou moduly pro projektování liniových staveb (modul CESTY a TOK) nebo modul pro analýzu tvaru terénu (EROZE), který vznikl v roce 2014 ve spolupráci s ČVUT v Praze.

V roce 2018 bylo zahájeno řešení projektu TAČR TJ01000270 „Atlas HYDROLOGIE – moderní nástroj pro výpočet smyvu, odtoku a dimenzování prvků protierozní ochrany“, jehož cílem je vytvořit v prostředí Atlas modul pro hydrologické a hydrotechnické navrhování prvků v krajinném inženýrství. Ve spojení se stávajícím modulem Atlas EROZE bude modul Atlas HYDROLOGIE nástrojem pro efektivní plánování pozemkových úprav, ochrany půdy a rozvoje krajiny.

Výpočet návrhových parametrů metodou SCS-CN

Hydrologické principy odvození návrhových parametrů

Na základě rešerše vhodných hydrologických metod pro stanovení návrhových parametrů pro dimenzování prvků protipovodňové ochrany byla vybrána jako nejvhodnější pro implementaci do prostředí Atlas metoda SCS-CN.

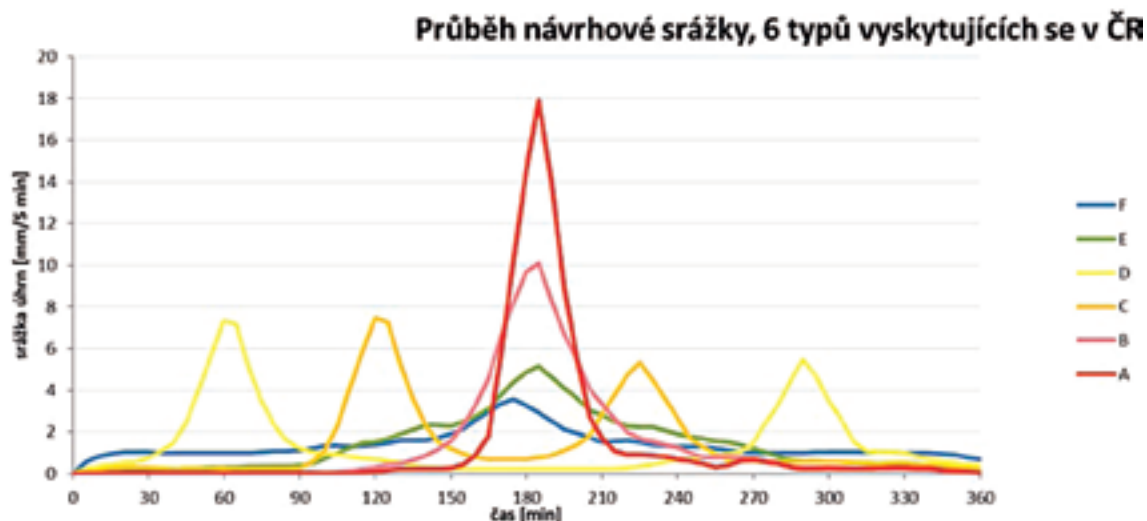
Klíčovým vstupem metody je číslo odtokové křivky závislé na hydrologické skupině půd a půdním pokryvu. Výstupem metody je odtoková výška nebo také úhrn efektivní srážky a s využitím vstupního hyetogramu i hyetogram efektivní srážky.

Pro určení výsledného odtoku z příčinné srážky je hyetogram efektivní srážky získaný metodou SCS-CN transformován do odtokové odezvy pomocí jednotkového hydrogramu. Parametry určující tvar hydrogramu jsou odvozeny z hydromorfologických charakteristik povodí.

Formáty vstupních dat a jejich napojení na prostředí Atlas Srážka

Zadávání srážky je možné několika způsoby. Základní způsob je volba celkového srážkového úhrnu. Při zajištění relativně přesných výsledků jej lze využít pro výpočet celkového objemu odtoku z řešeného území pro návrh bezodtokých prvků.

Výhodou nového modulu Atlas HYDROLOGIE bude možnost napojení na webovou geoprocesingovou službu, která poskytuje průběh návrhové srážky ve formátu CSV pro zvolené území



Obrázek 1. Průběh šestihodinových syntetických hyetogramů uvedených v metodice krátkodobých srážek

ČR a to včetně pravděpodobnosti výskytu konkrétního průběhu srážky. To umožní využití přesných průběhů návrhových srážek (viz Obr. 1) pro řešení lokalitu získaných z výpočetního serveru <http://rain.fsv.cvut.cz/webapp/webowe-sluzby/ogc-wps/> tak, jak je popsáno v certifikované metodice [1].

Půda

Půdní data jsou do modelu Atlas HYDROLOGIE zadávána na základě datových zdrojů běžně dostupných v České republice. Model Atlas HYDROLOGIE umožňuje využít data ve formátu kódů BPEJ, která jsou v současné době volně dostupná. Zároveň je do modelu možné zadávat půdní data v podobě kódu Hlavní půdní jednotky (HPJ), která je částí kódu BPEJ. Možné je i zadávání individuálních hodnot Hydrologické půdní skupiny a doplnění chybějících dat výchozími, které odpovídají průměrné kvalitě půdních podmínek v České republice.

Využití území

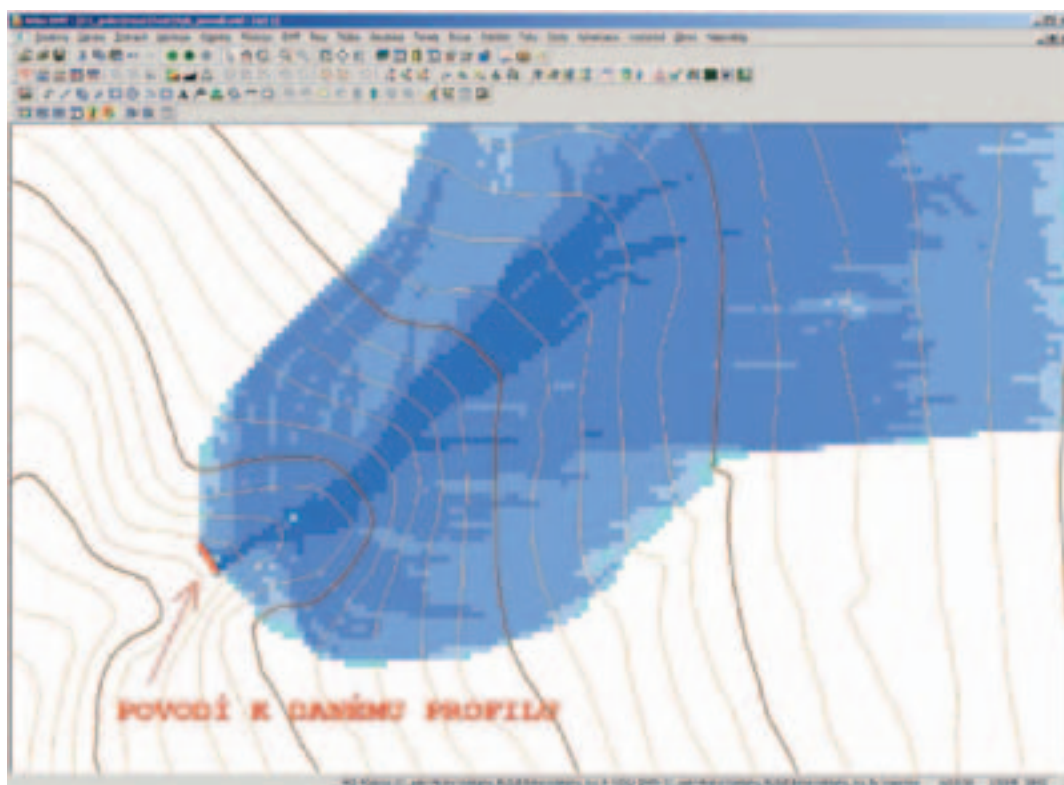
Data využití území potřebná pro modelování metodou SCS-CN jsou do modelu implementována v podobě kategorií využití území, které odpovídá stávající metodice [2]. Tyto kategorie využití území zahrnují všechny základní typy a zároveň umožňují uživatelům modelu zohlednit kvalitu využití a posoudit implementaci případných protierozních a půdoochranných opatření v rámci navrhování technických protierozních a protipovodňových opatření v krajině. Datová vrstva využití území v prostředí Atlas je uvedena na Obr. 2.

Řešené území

Vzhledem k celkovému zaměření cílové skupiny uživatelů modulu Atlas HYDROLOGIE lze předpokládat významné provázání s modulem Atlas EROZE. Výstupem tohoto modulu jsou technické prvky protierozní ochrany, které přerušují povrchový odtok a tím eliminují intenzitu erozního procesu.



Obrázek 2. Zobrazení využití území v prostředí Atlas



Obrázek 3. Povodí vygenerované k vybranému uzávěrovému profilu v prostředí Atlas

Model Atlas HYDROLOGIE pak cílí na možnost zhodnocení odtokových poměrů v zájmovém území s cílem vypočítat návrhové parametry pro dimenzování záchytných i odtokových prvků protierozní ochrany.

Řešeným územím je pak primárně sub-povodí posuzovaného prvku, které je v prostředí Atlas generováno na základě detailního digitálního modelu terénu (viz Obr. 3). Uživatel pak může tuto oblast upravovat a řešenou lokalitu editovat. Typ závěrového profilu zájmového území určí uživatel. Jako závěrový profil lze volit skutečný závěrový profil dílčího povodí, nově navrhovaný přerušující prvek (příkop, průleh apod.), nebo může být využit prvek navržený v rámci protierozních opatření v modulu Atlas EROZE.

Řešené území bude rovněž vstupem při získávání návrhových průběhu srážek, podobně jako je tomu v případě webové aplikace <https://rain1.fsv.cvut.cz/webapp/gisquick>.

Atlas biotechnických opatření

Pro implementaci do modulu Atlas HYDROLOGIE byla vybrána biotechnická opatření, která bude možné s využitím tohoto modulu navrhovat. Pro tuto implementaci byly vybrány liniové prvky, které jsou navrhovány v rámci modulu Atlas EROZE, protože se předpokládá propojení obou těchto modulů při

navrhování biotechnických opatření tj., že budou navržené přerušující prvky v modulu EROZE dále dimenzovány s využitím modulu HYDROLOGIE.

Při sestavování katalogu biotechnických opatření pro Atlas HYDROLOGIE byla využita Metodika navrhování technických protierozních opatření [3]. Do modulu je implementován návrh příkopů (včetně různých funkčních typů) a návrh průlehů (včetně různých funkčních typů). Modul Atlas HYDROLOGIE dále umožňuje orientační návrh propustky (stanovení návrhového kulminačního průtoku k vybranému bodu, kde bude propustek umístěn) a orientační návrh protierozní jímky (stanovení objemu odtoku, na který bude jímka navrhována).

Vybrané prvky TPEO

Retenční prvky

Retenční liniové prvky jsou dimenzovány na základě vztahu (1). Uživatel zadává šířku a hloubku prvku a navrhovaný sklon svahů. Délka prvku je odečtena přímo z modelu. Rozsah navrhovaných parametrů, který je doporučen metodikou, je uveden v Tab. 1. Uživatel má tyto doporučené hodnoty k dispozici. Při návrhu je možné doporučené hodnoty nerespektovat a navrhnout vlastní rozměry prvku.

Tabulka 1. Liniové retenční prvky včetně jejich vlastností (doporučené dle metodiky [3])

typ	umístění	sklon pozemku	navrhová veličina	tvář profilu	šířka dna	hloubka	sklon svahů	opevnění
Protierozní příkop vsakovací	v pozemku/nad pozemkem	> 10%	objem odtoku	lichoběžník	> 0.6	0.6 - 1.0	1:1.15 - 1:2	TTP (polovegetační tvárnice)
Protierozní průleh vsakovací	v pozemku/nad pozemkem	< 10%	objem odtoku	lichoběžník	> 0.6	0.6 - 1.0	1:1.15 - 1:2	TTP (polovegetační tvárnice)

$$V = (b \cdot h + m \cdot h^2) \cdot l \quad (1) \quad \text{Závěr}$$

kde:

b – šířka dna prvku [m]

h – hloubka prvku [m]

m – sklon svahu [1:x]

l – délka prvku [m]

Prvky dimenzované na odtok zachycené vody

Prvky jsou dimenzovány na základě vztahů (2), (3) a (4). Uživatel zadává šířku a hloubku prvku a navrhovaný sklon svahů. Dále je možné navrhnout sklon prvku a jeho opevnění, které definuje drsnost prvku. Rozsah navrhovaných parametrů, který je doporučen metodikou, je uveden v Tab. 2. Uživatel má tyto doporučené hodnoty k dispozici. Při návrhu je možné doporučené hodnoty nerespektovat a navrhnout vlastní rozměry prvku.

$$Q = S \cdot \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (2)$$

S – plocha průřezu [m²]

n – Manningův součinitel drsnosti [–]

R – hydraulický poloměr [S/O]

I – sklon prvku [–]

$$S = b \cdot h + m \cdot h^2 \quad (3)$$

b – šířka dna prvku [m]

h – hloubka prvku [m]

m – sklon svahu [1:x]

$$O = b + 2 \cdot h \cdot (1 + m^2)^{1/2} \quad (4)$$

O – omočený obvod [m]

b – šířka dna prvku [m]

h – hloubka prvku [m]

m – sklon svahu [1:x]

Nově vytvořený model Atlas HYDROLOGIE poskytuje nástroj pro navrhování vybraných biotechnických prvků protierozní ochrany. Spolu s dříve vytvořeným modelem Atlas EROZE jde o unikátní nástroj vhodný pro přípravu komplexních pozemkových úprav.

Nový model v rámci komplexních pozemkových úprav umožňuje spojit výpočet erozní ohroženosti, s řešením retence a odvádění povrchového odtoku v řešené lokalitě. Model je vhodným nástrojem i pro pozemkové úřady pro kontrolu řešených projektů.

Hlavní výhodou modelu je unikátní způsob definice povodí řešeného prvku nad digitálním modelem terénu, dále pak možnost propojení protierozního návrhu (definovaných prvků přerušujících povrchový odtok) s hydrologickým modelem. V rámci modelu jsou pak pro tyto prvky stanoveny návrhové parametry, na které je pak možno prvky dimenzovat. V neposlední řadě je výhodou implementace platné metodiky navrhování technických protierozních opatření do modelu, což napomáhá uživateli při návrhu používat doporučené rozměry prvků a typů opevnění včetně kontroly vhodnosti jejich využití v konkrétním místě.

Poděkování

Príspevek byl podpořen projektem TJ01000270 – „Atlas HYDROLOGIE – moderní nástroj pro výpočet smyvu, odtoku a dimenzování prvků protierozní ochrany“.

Literatura

- [1] Kavka P. a Müller M. et al., (2018). Krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině Certifikovaná metodika ISBN 987-80-01-06363-7
- [2] JANEČEK, M. a kol. (2012). Ochrana zemědělské půdy před erozí – Metodika. Praha: Česká zemědělská univerzita Praha. roč. 1. ISSN 978-80-87415-42-9.
- [3] Kadlec V. et al., (2014). Metodika technických protierozních opatření, Praha. Certifikovaná metodika ISBN 978-80-87-3612-90

Tabulka 2. Liniové prvky pro odvádění vody včetně jejich vlastností (doporučené dle metodiky [3])

typ	umístění	sklon pozemku	návrhová veličina	tvar profilu	šířka dna	hloubka	sklon svahů	opevnění
Protierozní příkop zachytý	nad pozemkem	> 10%	kulminační průtok	lichoběžník	0.3 - 0.6	0.6 - 1.2	1:1.15 - 1:2	TTP polovegetační tvárnice betonové žlabovky
Protierozní příkop sběrný	v pozemku	> 10%	kulminační průtok	lichoběžník	0.3 - 0.6	0.6 - 1.2	1:1.15 - 1:2	TTP polovegetační tvárnice betonové žlabovky
Protierozní příkop svodný	odvádí vodu do recipientu	> 10%	kulminační průtok	lichoběžník	0.3 - 0.6	0.6 - 1.2	1:1.15 - 1:2	TTP polovegetační tvárnice betonové žlabovky
Protierozní průleh zachytý	nad pozemkem	< 10%	kulminační průtok	lichoběžník	0.3 - 0.6	0.6 - 1.2	1:1.15 - 1:2	TTP polovegetační tvárnice betonové žlabovky
Protierozní průleh sběrný	v pozemku	< 10%	kulminační průtok	lichoběžník	0.3 - 0.6	0.6 - 1.2	1:1.15 - 1:2	TTP polovegetační tvárnice betonové žlabovky
Protierozní průleh svodný	odvádí vodu do recipientu	< 10%	kulminační průtok	lichoběžník	0.3 - 0.6	0.6 - 1.2	1:1.15 - 1:2	TTP polovegetační tvárnice betonové žlabovky

VLIV KVALITY SEDIMENTU NA KYSLÍKOVÝ REŽIM RYBNÍČNÍHO EKOSYSTÉMU

Jiří Jan¹, Jakub Borovec^{1,2}, Felipe Bretón^{1,2}

¹ Biologické centrum AVČR, v.v.i., Výzkumná Infrastruktura SoWa, Na sádkách 7, 370 05 České Budějovice

² Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, přírodovědecká fakulta, Branišovská 31 7, 370 05 České Budějovice

Abstrakt

Příspěvek se zabývá vlivem sedimentu na spotřebu kyslíku v rybníce. Hlavní reakce a procesy v sedimentech a jejich důsledky vedoucí až ke kyslíkovým deficitům ve vodním sloupci jsou teoreticky popsány. Součástí příspěvku je ukázka důležitosti sedimentů a jeho resuspenze na celkový kyslíkový režim.

Klíčová slova: spotřeba kyslíku sedimentem; rybník; sediment; resuspenze.

Abstract

The article focuses on the influence of bottom sediment on oxygen consumption in fish ponds. The main reactions and processes in sediments and their consequences leading to oxygen deficits in the water column are theoretically described. The article includes an example of the importance of sediments and its resuspension on the overall oxygen regime in the system.

Keywords: *sediment oxygen demand; fish pond; sediment resuspension.*

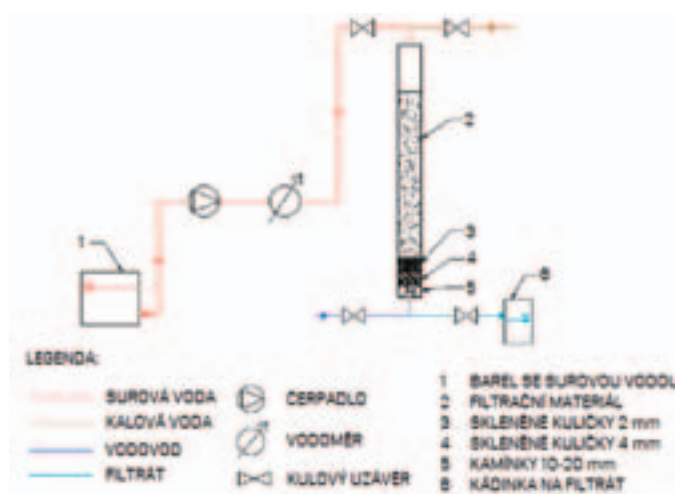
Vyčerpání rozpuštěného kyslíku v rybníčních ekosystémech způsobuje ekologické a ekonomické ztráty např. masovým úhynem ryb nebo snížením jejich přírůstků. Tato situace bývá způsobena celým komplexem faktorů, mezi které můžeme zařadit nadměrné zarybnění, zaklesnutí hladiny vody důsledkem sucha v kombinaci s vysokými teplotami, přílišný přísun krmiv, zaústení splaškových vod nebo velký rozvoj fytoplanktonu, bakterio-planktonu nebo nálevníků ve vodním sloupci.

Dalším významným faktorem, kterým se zabývá tento příspěvek, jsou dnové sedimenty. Rybníky jsou typické svojí malou hloubkou vodního sloupce, který je tak často celý míchaný. Sedimenty jsou přímo v kontaktu s vodou o vysoké teplotě v letních měsících a hrají důležitou roli ve spotřebě kyslíku a uvolňování živin. Dnové sedimenty však vykazují rozdílnou kvantitu i kvalitu v závislosti na geografické poloze, geologii nebo systému hospodaření.

Produkce a spotřeba kyslíku v rybníce je z velké míry určována diurnálními cykly fototrofních organismů, kdy během dne dochází k produkci kyslíku, zatímco v noci nebo při vysokém zákalu vodního sloupce a velké oblačnosti převládá respirace, a kyslíku tak v celém vodním ekosystému ubývá. Za těchto situací se zvyšuje význam resuspenzí sedimentů, způsobené masivně mícháním vody větrem, která i) sníží pronikání světla do vodního sloupce a omezí produkci kyslíku a ii) zvýší vnos organických částic a bakterií na nich do vodního sloupce. Průvodním jevem

resuspenzí tak bývá nárůst spotřeby kyslíku oproti stavu za klidného počasí.

V sedimentech se vyskytuje organický uhlík (OC) jak v rozpuštěné, tak částicové formě a jeho množství se zvyšuje s celkovou trofíí systému. Spotřeba kyslíku sedimentem je pak ovlivněna usazováním organických látek a následnou sérií biologických a chemických oxidačních reakcí. Kyslík je primárně spotřebován na respiraci aerobních bakterií a makroorganismů při rozkladu organických látek. Značná část kyslíku je rovněž spotřebována na oxidaci amonných iontů, rovněž pocházejících z rozkladu organické hmoty. Pod povrchem sedimentu a hlubších vrstvách sedimentu bez přítomnosti rozpuštěného kyslíku jsou využívány další akceptory elektronů pro mikrobiální rozklad organických látek (NO_3^- , Mn^{+4} , Fe^{+3} , SO_4^{2-}), které se během těchto procesů redukují. Tyto redukované látky jsou z pórové vody difúzí po koncentračním gradientu a dalšími mechanismy transportovány do prooxidované svrchní vrstvy sedimentu nebo až do vodního sloupce, kde se zpětně oxidují a rovněž spotřebovávají kyslík (Park a Jaffé, 1999, Obr. 1).



Obrázek 1. Schéma hlavních biochemických reakcí v sedimentech ovlivňujících spotřebu kyslíku (převzato z Park a Jaffé, 1999).

Na Obr. 1. jsou jednotlivé oxidanty neboli akceptory elektronů seřazeny podle zisku volné energie při oxidaci jednoho molu organického uhlíku. Reakce s větším ziskem energie probíhá přednostně a po jejich vyčerpání dochází k reakcím následným, ačkoli reakce nejsou striktně odděleny a dochází k jejich překryvu. Zjednodušeně lze říci, že při rozkladu organických látek je využíván přednostně rozpuštěný kyslík, při jeho vyčerpání dále dusičnaný (NO_3^-), následují oxidované formy Mn a Fe a sírany (SO_4^{2-}). Při vyčerpání všech těchto akceptorů elektronů dochází k anaerobní fermentaci a produkci methanu (CH_4). Za tyto reakce jsou zodpovědná různá konsorcia bakterií (Park a Jaffé, 1996).

Zjednodušená stechiometrie spotřeby kyslíku a vliv jednotlivých reakcí na spotřebu kyslíku je uvedena v Tabulce 1.

Tabulka 1. Stechiometrie spotřeby kyslíku jednotlivými redukovánými látkami

$\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
$\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$
$2\text{Mn}^{2+} + \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+$
$4\text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{FeOOH} + 8\text{H}^+$
$\text{HS}^- + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{H}^+$
$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

Mikrobiální a chemická oxidace organického uhlíku spolu s oxidací dalších redukováných rozpuštěných látek může skokově způsobit vyčerpání kyslíku a vznik anoxického prostředí v celém vodním sloupci. Tento efekt je výrazně zrychlen, pokud dojde ke zvýšenému uvolňování těchto látek ze sedimentů za podmínky zvýšení proudění vody nad sedimentem v důsledku větrných epizod.

Na rozhraní sediment/voda ve vodním sloupci se nachází tenká tzv. difúzní vrstva (anglicky diffusive boundary layer, DBL), ve které při pohybech látek uplatňuje pouze molekulární difúze řízená teplotou a jejich specifických difúzních koeficientem. Platí, že s rostoucí rychlostí proudění vody nad sedimentem zmenšuje tloušťka DBL. Při zvýšení pohybu vody ve vodním sloupci, např. působením větru, tak dochází ke zvýšení výměny látek mezi vodním sloupcem a sedimentem včetně transportu kyslíku do sedimentu a jeho rychlé spotřeby (viz poster Bretón a kol., tento sborník). Při vyšších rychlostech proudění vody je výměna tak rychlá, že reakce jsou limitovány pouze rychlostí biologických a chemických reakcí (Nakamura a Stefan., 1994).

V různých studiích sledujících biochemickou spotřebu kyslíku sedimenty jsou často jednotlivé procesy spotřeby odděleny. Zatímco některé studie zanedbávají vliv proudění vody nad sedimentem a resuspenze, jiné naopak neoddělují vliv jednotlivých reakcí na spotřebu kyslíku (Waterman et al., 2011). Vliv resuspenze sedimentu na spotřebu kyslíku byl ukázán na například v přítoku Chicago River (USA), kde byla naměřena spotřeba kyslíku sedimenty pomocí benthických komor v rozmezí od 6,7 do 12,1 g m⁻² za den v závislosti na obsahu organické hmoty (ztráta žíháním 550°C v rozmezí 3 až 20 %). Při resuspenzi a koncentraci suspendovaného sedimentu v rozmezí 3 až 5 g L⁻¹ ve vodě nad

sedimentem se rychlost spotřeby zvýšila oproti variantě bez resuspenze přibližně desetinásobně.

Průběh spotřeby kyslíku v čase není lineární. Maximálních rychlostí spotřeby bývá dosaženo díky rychlé oxidaci rozpuštěných iontů v pórové vodě, a rychlé oxidaci nejvíce reaktivních organických látek ihned na počátku vzniku resuspenze, zatímco pomalejší mineralizace dalších organických složek a rozvoje bakteriální populace v oxickém prostředí s dostatkem živin je doprovázen pomalejšími rychlostmi spotřeby (Waterman et al., 2011). Na rychlost spotřeby kyslíku sedimenty má také vliv samotná koncentrace kyslíku, kdy platí vztah, že rychlost spotřeby se snižuje se snižující se koncentrací rozpuštěného kyslíku (Haag et al., 2006).

Příklad vlivu sedimentu na kyslíkový režim

Vliv sedimentů na kyslíkový režim na rybníku lze ukázat na teoretickém příkladu bilance hlavních procesů produkce a spotřeby kyslíku (Tab. 2). Uvedené hodnoty jsou průměrem z dat uvedených pro eutrofní až hypertrofní vodní nádrž v literatuře (Stefan a Fang, 1994, Kalf 2002, FAO 1984).

Z Tabulky 2 je patrné, že produkce fytoplanktonu představuje největší vnos kyslíku do systému. Hodnota však platí pouze při maximálním svitu po dobu 10 hodin, při zvýšené limitaci světlem vlivem oblačného počasí, zákalem nebo sebe zastíněním fytoplanktonu rychlost produkce klesá. V noci je pak kyslík ve velké míře spotřebováván. V tabulce je uvedena také teoretická hodnota spotřeby kyslíku během resuspenze s délkou trvání 2 hodiny, která se téměř rovná celkové spotřebě sedimentu během 24 hodin nebo respirace fytoplanktonu. Tato hodnota je pouze odhadnuta dle desetinásobného navýšení rychlosti spotřeby dle Waterman a kol. (2011). Rozpuštěná i partikulovaná organická hmota, společně s vysokými koncentracemi NH₄⁺, Fe²⁺ a HS⁻, se během krátkého časového úseku vlivem rychlého míchání vody může transportovat do vodního sloupce a způsobit dramatický pokles koncentrací kyslíku až deficit vedoucí k úhynu ryb. Tento jev bude nejvíce patrný po sérii horkých letních dnů bez větru, během nichž dochází i v malých hloubkách k ustavení teplotní a kyslíkové stratifikace a zvýšené kumulace redukováných látek v sedimentu. Tento stav, který můžeme nazvat jako „klid před bouří“ může fungovat jako „časovaná bomba“. Zatímco bez resuspenze lze bilanci kyslíku mezi dnem a nocí považovat za pozitivní (přes den zůstane v systému více kyslíku, než je v noci spotřebováno), v případě krátkodobého rozmíchání sedimentů se rybníční systém více přiblíží k úplnému vyčerpání kyslíku.

Tabulka 2. Produkce a spotřeby kyslíku v teoreticky definovaném hypertrofním rybníce. Hodnoty počítány na plochu A = 1 m², průměrnou hloubku h = 1 m, teplotu vody 20 °C

Proces produkce (+) a spotřeby (-) O ₂	Den	Noc
Vnos z atmosféry (25°C) (g m ⁻² den ⁻¹)	0,8	0,8
Produkce/respirace fytoplanktonu (g m ⁻³ den ⁻¹) (pro koncentraci chlorofylu = 100 µg L ⁻¹)	10	-1,5
BSK ₅ vody = 10 mg L ⁻¹ (g m ⁻³ den ⁻¹)	-2	-2
Respirace ryb (při obsádce 1000 kg /ha) (g m ⁻³ den ⁻¹)	-0,1	-0,1
Biochemická spotřeba sedimentu (g m ⁻² den ⁻¹)	-2	-2
Celkem	6,7	-4,8
Spotřeba při resuspenzi s dobou trvání 2 h (g m ⁻³ 2hod ⁻¹)	-1,5	-1,5
Celkem	5,2	-6,3
BSK ₅ = biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní		

Určení rychlosti spotřeby sedimentem je v jednotlivých modelech cyklu kyslíku nejvíce problematické. Jejich hodnota se může pohybovat v rozmezí od 0,1 až po 10 g m⁻² den (Stefan a Fang, 1994, Waterman a kol., 2011). S kvalitou sedimentu pak také přímo souvisí resuspenze a její vliv na spotřebu kyslíku. Správné stanovení vlivu sedimentu na deficit kyslíku ve vodě vyžaduje další sledování. Metody, kterými je možné získat správná data jsou popsána v tomto sborníku (viz Bretón a kol.).

Poděkování

Práce byla podpořena z následujících výzkumných projektů: MŠMT LM2015075, CZ.02.1.01 /0.0/0.0/16_013/0001782, TAČR TH04030289, a NAZV QK1810161.

Literatura

- FAO (1984). Inland Aquaculture Engineering, ADCP/REP/84/21, Rome
- Kalff, Jacob. Limnology: inland water ecosystems. No. 504.45 KAL. 2002.
- Nakamura, Yoshiyuki, and Heinz G. Stefan. „Effect of flow velocity on sediment oxygen demand: Theory.“ *Journal of Environmental Engineering* 120.5 (1994): 996–1016.
- Park, Seok S., and Peter R. Jaffé. „Development of a sediment redox potential model for the assessment of postdepositional metal mobility.“ *Ecological Modelling* 91.1-3 (1996): 169–181.
- Park, Seok Soon, and Peter R. Jaffé. „A numerical model to estimate sediment oxygen levels and demand.“ *Journal of Environmental Quality* 28.4 (1999): 1219–1226.
- Stefan, Heinz G., and Xing Fang. „Dissolved oxygen model for regional lake analysis.“ *Ecological Modelling* 71.1-3 (1994): 37–68.
- Waterman, David M., et al. „In situ characterization of resuspended-sediment oxygen demand in Bubbly Creek, Chicago, Illinois.“ *Journal of Environmental Engineering* 137.8 (2011): 717–730.

TRANSPORT NEROZPUSTNÝCH LÁTEK, DUSÍKU A FOSFORU V POVODÍ RETENČNÍ NÁDRŽE NA NĚMČICKÉM POTOCE

Jana Konečná, Petr Karásek, Josef Kučera, Jana Podhrázká, Svatava Křížková, Michal Pochop

*Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Oddělení Pozemkové úpravy a využití krajiny,
Lidická 25/27, 602 00 Brno, konecna.jana@vumop.cz*

Procesy spojené s vodní erozí jsou vzhledem k jejich rozšíření a intenzitě v ČR stále jedním z akcentovaných témat aplikovaného výzkumu cíleného na požadavky ochrany půdy, vody a životního prostředí celkově. V důsledku eroze dochází ke ztrátě nejúrodnější vrstvy zemědělské půdy, degradaci jejích vlastností a omezení až ztrátě ekosystémových funkcí. Půdní částice jsou transportovány povrchovým odtokem až do vodních útvarů. V nich dochází k zanášení sedimenty a k ovlivnění vodního prostředí různými látkami, zejména živinami a kontaminanty.

Výzkum transportu půdních částic a vybraných látek probíhá v experimentálním povodí Němčického potoka od roku 2005. V měřicím profilu vybaveném Thomsonovým přelivem se kontinuálně sledují průtoky a srážky. Při extrémních průtocích se

pomocí automatického vzorkovače odebírají a následně analyzují vzorky vody. V povodí jsou pravidelně monitorovány obsahy N a P v půdách na svazích nad profilem a dále v dnových sedimentech v potoce i v retenční nádrži, která celé experimentální povodí (plocha 3 km²) uzavírá. Od dokončení hráze v r. 2012 se nádrž zanáší dnovým sedimentem. Z pravidelného měření hloubek vyplynulo, že průměrná intenzita tohoto procesu je 0,6 mm ročně. Koncentrace celkového dusíku a podobně i fosforu byly ve dnovém sedimentu zjištěny přibližně dvojnásobné ve srovnání s půdou. Jedná se o dílčí výsledky dlouhodobého komplexního projektu, který mj. zahrnuje i sledování dopadů extrémních srážko-odtokových událostí na vodní živočichy.

Tato studie vznikla díky podpoře MZe v rámci projektu RO0218 a QK1910282.

ADAPTIVNÍ ŘÍZENÍ ZÁSOBNÍ FUNKCE NÁDRŽE S VYUŽITÍM FUZZY MODELŮ

Tomáš Kozel¹, Miloš Starý

¹ Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny, Antonínská 548/1, 601 90 Brno, tel. +420 541 147 780, kozel.t@fce.vutbr.cz

Abstrakt

Příspěvek se zabývá možnostmi využití adaptivního řízení zásobní funkce vodní nádrže Vranov situované na řece Dyji. Algoritmus řízení využívá fuzzy model, který aproximuje vstupně-výstupní vztahy obsažené v matici cílového chování nádrže, sestavené pomocí optimalizační metody diferenciální evoluce. Opakující se předpovědi přítoků vody do nádrže jsou konstruovány pomocí fuzzy modelu, který vychází z myšlenky podobnosti průběhů reálné řady průměrných měsíčních průtoků v průběhu roku. Po kalibraci řídicího i předpovědního modelu bylo celé řízení otestováno v období let 2004 – 2018. Výsledky získané pomocí uvedených modelů jsou porovnány s výsledky dosaženými pomocí dispečerských grafů. Dosažené výsledky adaptivního řízení ukázaly, že uvedená metoda je velmi vhodná pro řízení během dlouhých málovodých období. V obdobích s dostatkem vody se výsledky téměř nelišily.

Klíčová slova: zásobní funkce nádrže; fuzzy; předpovědi přítoků.

Abstract

The paper deals with the possibilities of using adaptive control of the reservoir function of the Vranov reservoir situated on the Dyje river. The control algorithm uses a fuzzy model that approximates the I / O relationships contained in the target reservoir behavior matrix, constructed using the differential evolution optimization method. Recurring predictions of water inflows into the reservoir are constructed using a fuzzy model, which is based on the idea of similarity of the course of real series of average monthly flows during the year. After calibration of the control and predictive model, the whole control was tested in the period 2004–2018. The results obtained by the mentioned models are compared with the results obtained by dispatching graphs. The results of adaptive control have shown that the method is very suitable for driving during long, low-water periods. In periods with plenty of water, the results almost did not differ.

Keywords: reservoir storage function; fuzzy logic; inflow forecast.

Úvod

V souvislosti s narůstajícími problémy kolem sucha je třeba se zaměřit na intenzivní hospodaření s vodou, která se nachází v korytech toků a ve vodních nádržích. Příspěvek se zaměřuje na možnost využití adaptivního operativního řízení odtoku vody z údolní nádrže v průběhu dlouhotrvajících málovodých období, ke kterému využívá opakující se předpovědi přítoků vody do nádrže. Navržený způsob řízení, který pracuje s měsíčním časovým krokem, je aplikován na nádrž Vranov. Dosažené výsledky řízení jsou srovnány s výsledky dosaženými při řízení pomocí dispečerského grafu. Řídicí modul obsahuje dva dílčí moduly. První je zaměřen na vydávání předpovědi přítoků vody do nádrže, druhý pak provádí vlastní řízení a vychází z optimalizace založené na evolučním algoritmu. Kritériem optimalizace je minimalizace součtu čtverců odchylek mezi průměrnými řízenými odtoky a požadovanými odtoky v jednotlivých měsících předpovídaného období. Dosažené výsledky dokumentují přínos použitého přístupu.

Metody

Chování nádrže je popsáno základní rovnicí nádrže. Pro ko-
nečně velký časový krok Δt (např. jeden měsíc, který je použit
v předložené práci) je možno ji zapsat v diferenčním tvaru

$$Q_i - O_i(V_{i-1}) = \frac{V_i - V_{i-1}}{\Delta t}, \quad (1)$$

kde i určuje pořadí časového kroku Δt v daném časovém dělení, V_{i-1} je objem vody v nádrži na počátku příslušného časového kroku Δt , V_i je pak objem vody v nádrži na konci časového kroku. Q_i je průměrný přítok vody do nádrže v daném časovém kroku a obdobně $O_i(V_{i-1})$ je průměrný odtok vody z nádrže. Hodnota O_i tedy dle (1) závisí pouze na plnění nádrže na počátku časového kroku (v reálném provozu je V_{i-1} daná měřením) a jeho hodnota Q_i je v reálném provozu určena např. pomocí dispečerského grafu. Pokud je tedy tato hodnota určena, je při známém přítoku vody do nádrže jedinou neznámou ve vztahu (1) objem vody v nádrži na konci časového kroku V_i , který v reálném provozu můžeme určit měřením a při simulaci chování nádrže jej vypočteme z uvedeného vztahu.

Pro plnění nádrže V platí v každém kroku řešení omezující podmínka

$$0 \leq V_i \leq V_Z, \quad (2)$$

kde V_Z je hodnota zásobního objemu nádrže.

Klasický dispečerský graf hodnotu přítoku vody do nádrže nevyžaduje. Hodnota požadovaného řízeného odtoku je dána příslušností k zóně, které dispečerský graf v pravoúhlém souřadnicovém systému (V, t) vymezuje.

Lokální model řízení

Při operativním řízení, při kterém je možno využít předpovědi přítoků vody do nádrže, je nutno vztah (1) napsat pro každý krok řešení $i = 1, 2, \dots, n$, kde n určuje celkový počet předpovězených průtoků (délku předpovědi). Úloha pak vede na soustavu rovnic, které jsou vzájemně propojeny přes plnění nádrže V_p , přitom v každém kroku řešení je třeba respektovat omezující podmínku (2). Počáteční podmínkou řešení je pro první časový krok znalost V_0 . Okrajovou podmínkou řešení je vektor předpovězených hodnot průměrných průtoků $\mathbf{Q} = (Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$, jehož prvky jsou předpovězené hodnoty průměrných průtoků na časových krocích Δt . Hodnoty řízených odtoků, tvoří prvky hledaného vektoru $\mathbf{O} = (O_1, O_2, \dots, O_n)$. Protože počet rovnic je menší než počet prvků ve vektoru $\mathbf{O}$, je třeba řešit úlohu optimalizací. Za kritérium optimalizace p byl zvolen součet čtverců odchylek mezi požadovanými průměrnými řídicími odtoky vody z nádrže $O_{p,i}$ (nalepšené odtoky) a hledanými průměrnými řízenými odtoky vody z nádrže O_i , který je minimalizován

$$\left[\pi = \sum_{i=1}^n (O_{p,i} - O_i)^2 \right] \rightarrow \text{MIN}. \quad (3)$$

Popsaný postup je vlastně řídicím algoritmem, který je možno uplatnit v reálném provozu nádrže. Popsaný postup budeme v dalším textu nazývat **lokálním modelem řízení**. Pro optimalizaci byla zvolena metoda diferenciální evoluce (dále DE) [1], která prohledává prostor přípustných řešení Ω , s počtem rozměrů, které tvoří počáteční plnění nádrže a předpovídané průtoky – prvky vektoru $\mathbf{Q}$. Metoda DE je prohledávací metodou prostoru Ω .

Globální model řízení

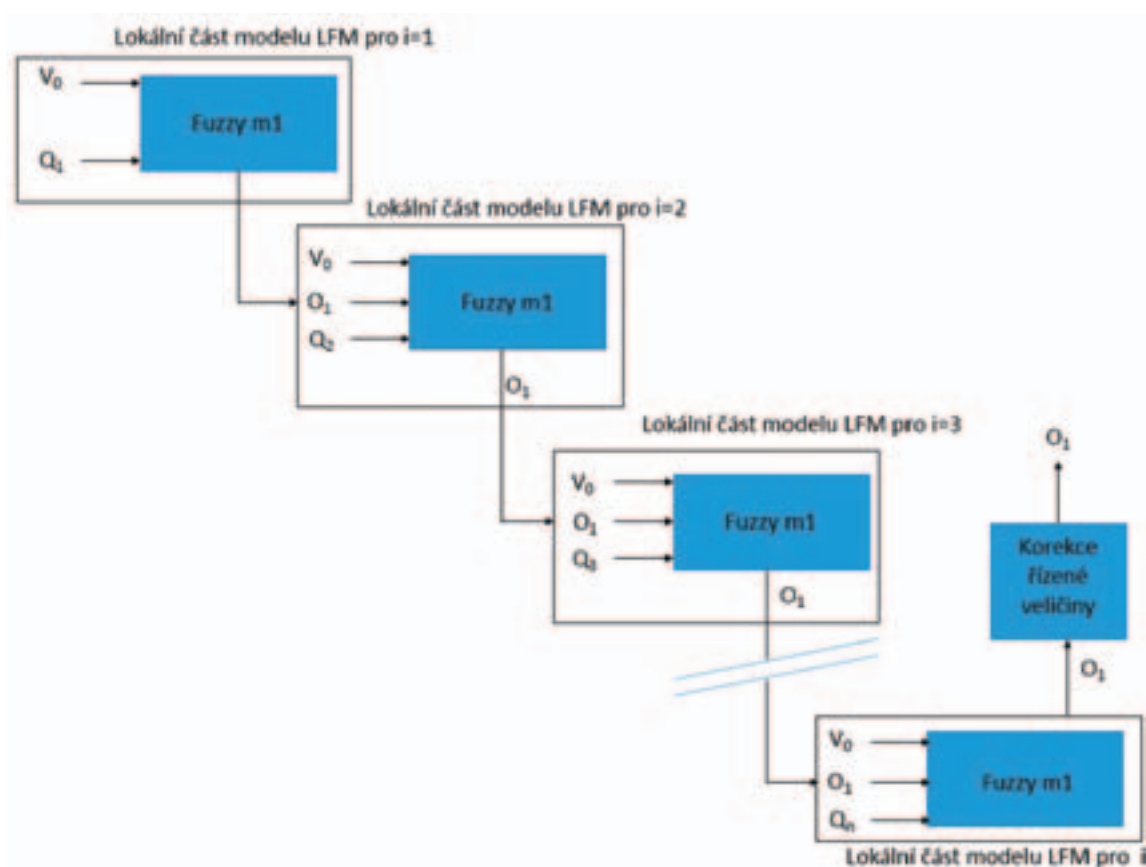
Při simulaci řízení nádrže ve dlouhém časovém období se výše uvedený postup (lokální model) postupně posouvá po jednotlivých časových krocích Δt , jedná se o analogii popsaného uplatnění lokálního modelu v reálném provozu. Výpočty se opakují pro jednotlivé časové kroky $t = 1, 2, \dots, N$, kde N je počet všech řešených časových kroků Δt v dlouhém období. V každém kroku řešení t je vydána předpověď přítoků a optimalizací je stanoven vektor $\mathbf{O}$, z něž je pro vlastní řízení použit pouze první prvek. Řízený odtok vody z nádrže v časovém kroku t je pak roven $O^t = O_1$. Počáteční objem vody v nádrži V_0 , který je při řízení v reálném provozu získán měřením, je při simulaci řízení ve dlouhém časovém období nahrazen vypočtenou hodnotou V_0^{t-1} z předchozího výpočtu lokálního modelu. Uvedený postup budeme nazývat v dalším textu **globálním modelem řízení**. Pro posouzení úspěšnosti simulace řízení v globálním modelu bylo zvoleno kritérium

$$\pi 1 = \sum_{\tau=1}^N (O_P^\tau - O^\tau)^2, \quad (4)$$

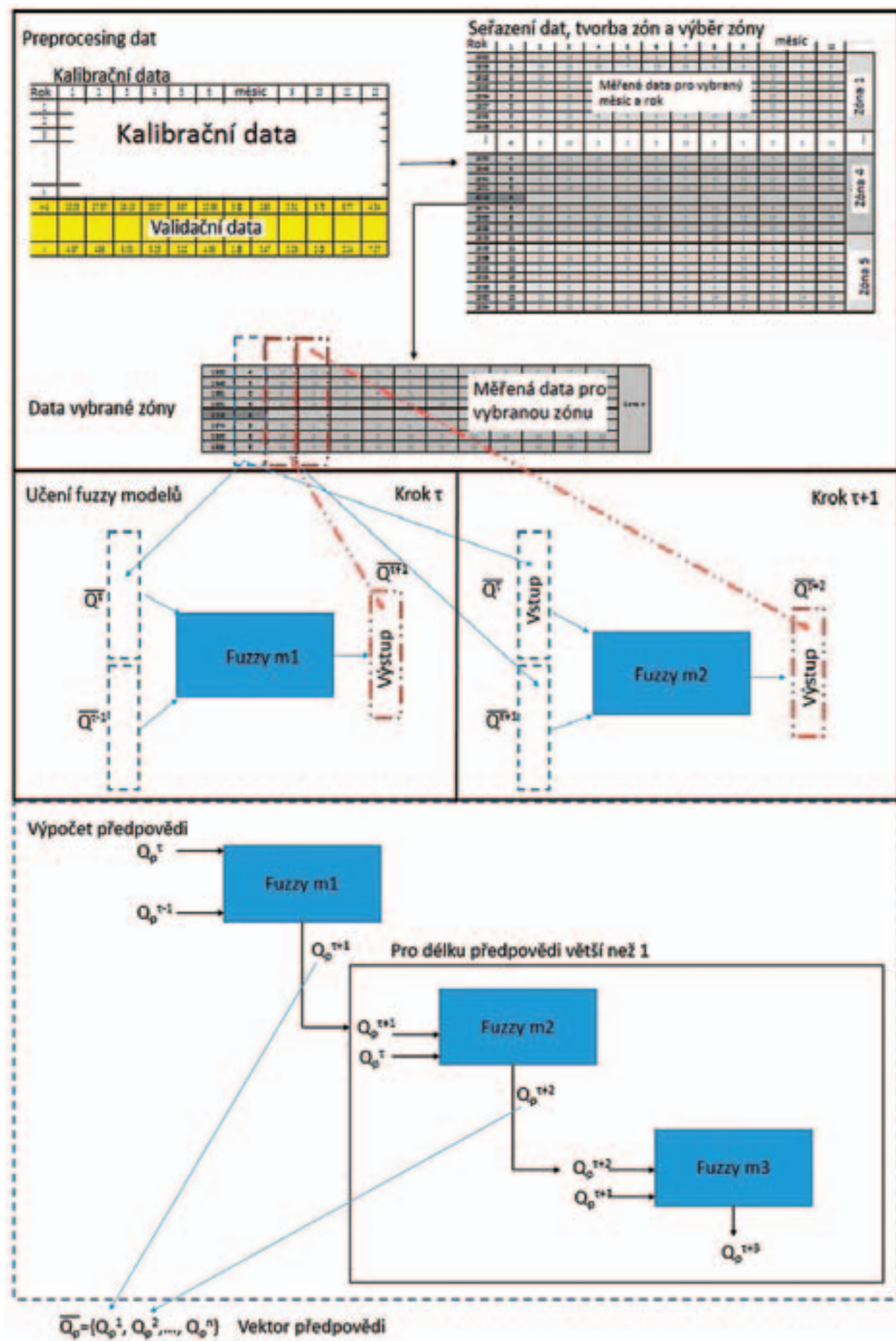
kde O_P^t je opět požadovaný řídicí (nalepšený) odtok vody z nádrže a O^t je skutečně dosažený řízený odtok.

Učí se fuzzy model

Nevýhodou použití metody DE a obecně metod vycházejících z genetických algoritmů jsou velké nároky na strojový čas. Proto je výhodné použít optimalizaci pomocí metody DE pro konstrukci



Obrázek 1. Schéma LFM pro měsíc leden (m1) a velikost vektoru $Q_p = n$



Obrázek 2. Schéma modelu ALFM

matice cílového chování nádrže. Vstupní sloupce matice tvoří počáteční plnění nádrže a prvky vektoru předpovězených průtoků Q . Výstupním sloupcem matice jsou odpovídající hodnoty řízených odtoků získaných v předstihu pomocí DE. Řádky matice tvoří vzory chování. Matici by bylo možno rovněž nazvat maticí vzorů. Čím více bodů (řádků v matici cílového chování), tím lépe. Pro aproximaci matice cílového chování byl použit učící se fuzzy model (LFM). Naučeným fuzzy model [2], pak je schopný při určité ztrátě přesnosti, velmi výrazně zkrátit čas potřebný pro řešení. Po předložení konkrétních hodnot vstupů odpoví hledanou hodnotou výstupu (řízeného odtoku). Vhodnost použití naučených fuzzy modelů pro řízení byla potvrzena mnoha autory např. [3].

U řízení zásobní funkce skutečné nádrže nastává problém, protože pro každý časový krok (měsíc) řízení se řídící odtok (požadovaný nalepšený odtok) obecně mění od měsíce v rámci roku. Z výše uvedeného důvodu byl pro každý měsíc sestaven vlastní naučený LFM. Použité LFM, pro řízení v lokálním modelu delším než jeden časový krok, využívají postupnou agregaci vstupů [4]. Pro samotné řízení potřebuje každá část model LFM objem vody na počátku řešeného kroku a předpověď přítoku vody do nádrže pro daný časový krok. Částí modelu LFM se rozumí naučený lokální fuzzy model, který přísluší danému měsíci a pořadí předpovědi pro daný měsíc.

Na obr. 1 je ukázáno základní schéma LFM. V prvním kroku ($i=1$) naučený fuzzy model potřebuje objem vody v nádrži na počátku řešení V_0 (okrajová podmínka) a první člen vektoru $Q - Q_1$. Na základě vstupů model vypočte řízený odtok vody z nádrže O_1 . Když vektor Q má více prvků než 1, výstup modelu O_1 z předchozího kroku výpočtu τ , se stává vstupem do následující části modelu. Dalšími vstupy jsou objem na počátku řešení V_0 a příslušný prvek vektoru Q . Výstup O_i se tedy postupně agreguje – upřesňuje, jak postupně prochází jednotlivými dílčími částmi LFM

Předpovědi přítoků vody

Pro předpověď budoucích přítoků vody do nádrže, prvky vektoru Q , byl sestaven adaptivní učící se fuzzy model (ALFM). Základní myšlenka modelu je postavena na skutečnosti, že průměrné měsíční průtoky reálné průtokové řady zkrácené v rámci jednoho roku, vycházející z konkrétní hodnoty průměrného měsíčního průtoku a jeho okolí, vytvářejí v další části roku podobné průběhy. V těchto průbězích se tedy objevuje určitá podobnost (tendence) v průbězích budoucích (následujících) hodnot takto seřazených průměrných měsíčních průtoků. Uvedené tendence se dá využít rozdělením intervalu historického výskytu průtoků do několika stejně velkých zón. Z hodnot navazujících průtoků v dalších měsících, které vycházejí z dané zóny lze vybrat hodnotu, která je nejpravděpodobnější [5].

V článku je popsána možnost, jak využít zóny a z nich vycházejícího svazku průtoků v modelu pomocí ALFM. Na obr. 2 je vykresleno schéma modelu ALFM. Kalibrační data jsou seřazena podle průtoků v měsíci, kdy proběhlo poslední měření (předchozí měsíc v lokálním modelu řízení). Uvedený průtok určuje příslušnost k určité zóně. Ze svazku průtoků, které vychází z dané zóny (vždy délka jeden rok) jsou naučeny jednotlivé fuzzy modely ALFM příslušející k dané zóně a danému měsíci.

Na základě numerických experimentů se ukázalo, že je vhodné zahrnout do vydávané předpovědi hodnoty dvou předchozích průměrných měsíčních průtoků. Po průběžné kalibraci fuzzy modelů je proveden výpočet prvků vektoru Q .

Aplikace

Výše popsaný způsob řízení využívající předpovědní model ALFM byl aplikován na vodní nádrž Vranov, která je situována na řece Dyji. Řídící (nalepšené) odtoky byly pro jednotlivé měsíce převzaty z manipulačního řádu nádrže Vranov. Zásobní objem nádrže je 81 811 000 m³ a řídící odtoky vody z nádrže Op jsou uvedeny v tabulce 1. V řídících odtocích vody z nádrže jsou zabudovány průměrné ztráty vody výparem.

Pro sestavení i následnou validaci předpovědního modelu přítoků vody do nádrže byla použita 84 let dlouhá řada průměrných měsíčních průtoků (od roku 1934 do roku 2018). Řada vznikla součtem měřených průtoků v měrných profilech Dyje/Podhradí a Želetava/Vysočany. Pro kalibraci předpovědního modelu ALFM bylo zvoleno období 1934 až 2002, které se při výpočtu postupně prodlužovalo o již proběhlé roky z validačního období. Posledních 15 let bylo použito pro validaci modelu. Uvedený postup odpovídá použití modelu v praxi, kdy se předpokládá, že pro kalibraci modelu budou použita všechna dostupná historická data.

Kalibrační období pro řídící model LFM bylo zvoleno v letech 1984–2002 a validační bylo 2003–2018. Kalibrační období bylo vybráno s ohledem na výskyt malovodných období, které jsou problematické z pohledu řízení zásobní funkce nádrže. I přesto se musely snížit průměrné měsíční průtoky v tomto období na 90% své hodnoty aby bylo dosaženo poruch na, kterých by se mohl model LFM učit. Výsledky získané pomocí DE byly využity pro sestavení matice vzorů (tréninková matice) pro model LFM. Pro trénink modelu fuzzy modelu LFM byla využita metoda fuzzy C-means [7] pro předem sestavenou matici pravidel.

Po skončení kalibrace jednotlivých modelů, bylo přistoupeno k vyhodnocení předpovědního modelu ALFM. Protože model ALFM je určen pro předpověď přítoků vody do nádrže se zásobní funkcí, byl model ALFM vyhodnocován na základě úspěšnosti řízení nádrže modelem LFM. Pro model LFM byly použity pro každý vstup i výstup 4 funkce příslušnosti mf (gausovy křivky). Samotná úspěšnost řízení byla vyhodnocena kritériem π_1 suma kvadrátů odchylek mezi řídícími odtoky a řízenými odtoky poskytnutými modelem LFM – vztah (4), který používal jako vstup předpovědi vytvořené modelem ALFM.

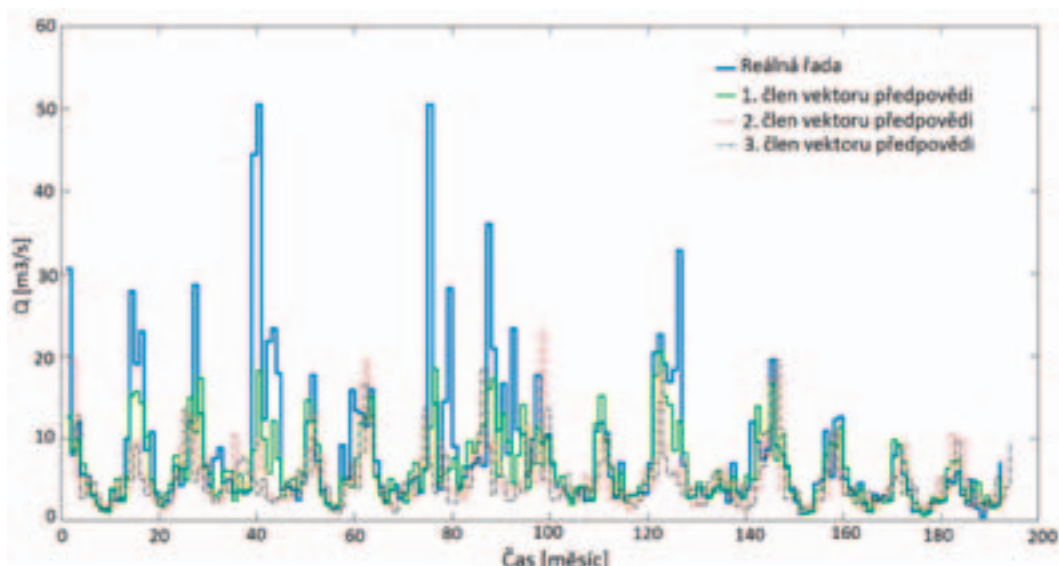
Shrnutí výsledků

V kapitole jsou uvedeny vybrané výsledky modelu ALFM a výsledky řízení modelu LFM s využitím předpovědi vytvořených modelem ALFM. Dále je zde uvedeno srovnání výsledků dosažených kombinací modelů LFM a ALFM s výsledky získanými s využitím metody DG, které byly převzaty z manipulačního řádu nádrže Vranov [6].

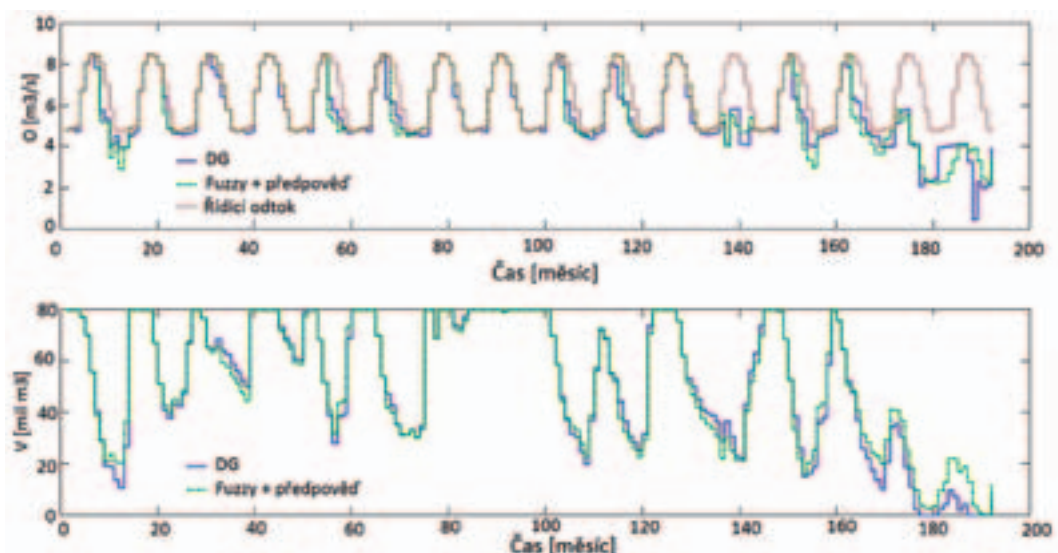
Z obr. 3. je patrné, že předpovědní model ALFM je schopen velmi dobře předpovídat dlouhá málo vodná období i několik měsíců dopředu. Obecně lze konstatovat, že nejlepší předpovědi je dosaženo pro první předpovídaný měsíc, což se dalo očekávat.

Tabulka 1. Řídící odtoky vody z nádrže Vranov [6]

Měsíc	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Op [m ³ /s]	4.813	4.93	4.981	6.744	8.051	8.489	8.412	8.01	7.026	5.794	4.87	4.727



Obrázek 3. Srovnání reálné řady s prvými třemi členy předpovědi modelu ALFM (počet zón 6, počet mf 4)



Obrázek 4. Srovnání výsledků poskytnutých metodou DG a kombinací fuzzy modelů

Na obrázku 4 je v horním grafu vykresleno srovnání řídicích a řízených průměrných měsíčních odtoků vody z nádrže (kombinace modelu LFM – délka předpovědi 4 měsíce a předpovědního modelu ALFM – počet zón 6, počet mf 4) a řízených průměrných měsíčních odtoků stanovených pomocí DG a. Ve spodní části obrázku je uveden průběh plnění nádrže pro LFM a DG.

Tabulka 2. Vybrané výsledky kritéria $\pi 1$ pro validační období

Model	Délka předpovědi	Počet zón	Kritérium $\pi 1$
Fuzzy	4	6	20 759
Fuzzy	2	6	20 819
DG	–	–	23 506
Fuzzy	11	2	24 498
Fuzzy	11	8	24 631

V tabulce 2 jsou uvedeny 2 nejlepší a 2 nejhorší výsledky pro kritérium $\pi 1$ poskytnuté kombinací fuzzy modelů a výsledek poskytnutý metodou DG.

Z obr. 4 i tab. 2 je patrné, že adaptivní řízení využívající předpovědi dosáhlo lepšího průběhu řízených odtoků vody z nádrže a výrazně lepších hodnot kritéria $\pi 1$ než výsledky poskytnuté metodou DG.

Závěr a diskuze

Samotná vodní nádrž Vranov je velmi vhodným ukazatelem potřeby změny v řízení, protože její vodohospodářské řešení probíhalo v období vyššího Q_a než je v současné době. Z výše uvedeného důvodu se dají očekávat její problémy při z hlediska zásobování vodou.

Nejlepších výsledků bylo dosaženo u LFM při počtu 4 funkcí příslušnosti a délce předpovědi 4 měsíce a šesti zónách u modelu ALFM. Z výše uvedených výsledků kombinace modelů

LFM+ALFM vyplývá, že jsou schopny úspěšně uřídit zásobní nádrž v dlouhých málovodých obdobích lépe než metoda DG, která prokázala svoji účinnost při průchodu krátkými malovodnými obdobími.

Výše popsaná metoda řízení nabízí možnost, jak v budoucnu zabránit, nebo alespoň zmírnit dopady poruch při zásobování vodou. Prezentované výsledky ukazují, že uvedené postupy vycházející z adaptivního řízení zásobní funkce nádrže Vranov získané s využitím fuzzy modelů lze úspěšně aplikovat na libovolnou reálnou nádrž a má smysl je dále rozvíjet.

Výhodou adaptivního řízení s využitím naučených fuzzy modelů je schopnost přizpůsobit se výrazným změnám v cyklu přítoků vody do nádrže, a proto je lze doporučit pro řízení zásobní funkce nádrže i při uvažovaných změnách klimatu.

Acknowledgements

The article was supported by SEDECO – Sediments, ecosystem services and interrelation with floods and droughts in the AT-CZ border region, ATCZ28.

Literatura

- [1.] STORN R., PRICE, K., 1997. Differential evolution – a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of Global Optimization*, 11:341–359
- [2.] CHAVES, P. and T. KOJIRI, 2007. Deriving reservoir operational strategies considering water quantity and quality objectives by stochastic fuzzy neural networks. *Adv. Water Resour.*, 30: 1329–1341.
- [3.] TAGAKI, H., SUGENO, M.: Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modelling and Control. In: *IEEE Trans. On Systems, Man and Cybern.*, SMC-15(1), 1985, s. 116–132
- [4.] JANÁL, P., STARÝ, M.: Fuzzy Model Used for the Prediction of a State of Emergency for a River Basin in the Case of a Flash Flood – PART 2. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 2012, vol. 60, no. 3, p. 162–173. ISSN: 0042- 790X.
- [5.] MARTON, D., MENŠÍK, P., STARÝ, M.: Using Predictive Model for Strategic Control of Multi-reservoir System Storage Capacity, *článek v Procedia Engineering*, ISSN 1877-7058, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 2015
- [6.] Manipulační řád pro VD Vranov, 2011, s. 1–77.
- [7.] BEZDEC, J.C.: *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*, Plenum Press, New York, 1981.

VPLYV VODNEJ NÁDRŽE DOMAŠA NA HYDROLOGICKÝ REŽIM ONDAVY V ROKOCH 2017 A 2018

Katarína Melová, Jana Poórová, Ľubica Lovasová, Lotta Blaškovičová, Beáta Síčová

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, katarina.melova@shmu.sk

Abstrakt

Vodné nádrže predstavujú významné krajinné prvky. Majú rôzne účely využitia, z ktorých najhlavnejším pre vodnú nádrž Domaša je akumulácia funkcia. V čase povodní zadržiava zvýšené prietoky a v období malej vodnosti má za úlohu kontinuálne kryť potreby na užívanie vôd (odbery), na ktoré je určená a zároveň kontinuálne zabezpečovať tzv. zaručený prietok pod vodnou nádržou. V období minimálnych prietokov z pohľadu hydrologie a vodného hospodárstva môžeme v toku zaznamenať obdobie malej vodnosti, ktorého príčinou môže byť hydrologické sucho. Jeho negatívnym dôsledkom môže byť aj nedostatok vody na zabezpečenie požiadaviek na vodu. Hydrologické sucho je prírodným javom a je súčasťou prirodzeného hydrologického režimu vodných zdrojov. Pojemom „nedostatok vody“ sa označuje stav, kedy množstvo vody vo vodných zdrojoch nie je dostatočné na zabezpečenie požiadaviek človeka na vodu. V predkladanom príspevku hodnotíme v období rokov 2017 a 2018 vplyv vodnej nádrže Veľká Domaša (VN Domaša) na tok Ondava, kde Slovenský hydrometeorologický ústav monitoruje hydrologický režim nad aj pod nádržou a ktorá sa zároveň bilancuje pravidelne v Kvantitatívnej vodohospodárskej bilancii SR uplynulého roka.

Kľúčové slová: vodná nádrž Domaša; vodnosť; bilančný stav; sucho; nedostatok vody.

Úvod

Cieľom príspevku je zhodnotenie hydrologickej situácie v povodí Ondavy nad VN Domaša vo vybraných rokoch. V ostatnom období sa v médiách s určitou pravidelnosťou opakuje správa, že vo VN Domaša je málo vody, čo je nevyhovujúce pre rekreačné účely. Keďže Slovenský hydrometeorologický ústav systematicky monitoruje hydrologický režim v objektoch štátnej hydrologickej siete aj v povodí nad touto VN a pravidelne ho vyhodnocuje, pozreli sme sa v tejto súvislosti detailnejšie na výsledky. Na začiatku je však potrebné upozorniť, že VN Domaša plní aj funkciu rekreácie, ale bola vybudovaná na akumuláciu vody pri vyšších prietokoch s cieľom zabezpečiť dostatok vody práve v období nedostatku vody v tokoch. Ďalšie účely stavby sú energetické, závlahové, protipovodňová ochrana (sploštenie povodňovej vlny), chov rýb a až následne rekreácia. Vodná nádrž bola navrhnutá tak aby vždy zabezpečila, t.j. aj v čase minimálnych prietokov $4,90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, z toho $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ako odber pre priemyselné účely a $3,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pre zaručený prietok pod vodnou stavbou [1]. K vodnému dielu patrí aj vyrovnávací vodná nádrž Malá Domaša, ktorá má za úlohu zachytiť zvýšený prietok v čase prevádzky špičkovej vodnej elektrárne Veľká Domaša a zároveň umožňuje rovnomerné vypúšťanie prietokov do koryta Ondavy pod nádržou.

Materiál a metódy

Pri hodnotení problematiky sme vychádzali z údajov monitoringu v štátnej hydrologickej sieti, štátnej meteorologickej sieti, z údajov z nahlasovacej povinnosti o užívaní vôd, z výsledkov pravidelného hodnotenia hydrologického režimu v povodí [2], [3] a z kvantitatívnej vodohospodárskej bilancie povrchových vôd uplynulého roka [4].

Účelom kvantitatívnej vodohospodárskej bilancie uplynulého roka je stanovenie kritických hodnôt vyjadrených vo vzťahu (1).

$$\text{ZDROJE} \stackrel{\leq}{\underset{>}{\neq}} \text{POTREBA} \quad (1)$$

To znamená povedať, kedy a kde nie sú alebo nebudú pokryté požiadavky na vodu. V tomto príspevku sme sa zamerali na podrobnejšie zhodnotenie vodnosti a kvantitatívneho bilančného stavu.

Bilančný stav vyjadrený vzťahom (1) sa hodnotí v dvoch alternatívach:

1. za prirodzených prietokov pri uvažovaní zrealizovaných odberov a vypúšťaní vody (BSC),
2. s uvažovaním vplyvu vodných nádrží alebo prevodov vody a pri uvažovaní zrealizovaných odberov a vypúšťaní vody (BSENP).

Podľa hodnoty bilančného stavu sa určujú nasledovné kategórie:

- BSC (BSENP) > 1,1 aktívny bilančný stav – kategória A 
1,1 > BSC (BSENP) > 0,9 napätý bilančný stav – kategória B 
0,9 > BSC (BSENP) > 0 pasívny bilančný stav – kategória C 

Pri hodnotení sme uvažovali s rôznymi hodnotami minimálneho bilančného prietoku; v súčasnosti platnou hodnotou MQ a následne s ďalšími zvolenými limitnými hodnotami, a to: Q_{355d} , Q_{364d} , 20% príslušného priemerného mesačného prietoku a 40% príslušného priemerného mesačného prietoku.

Na základe systematického monitorovania hydrologického režimu sme vyhodnotili vývoj vodnosti v povodí nad vodným dielom s cieľom ukázať vývoj stavu hydrologickej situácie v jednotlivých rokoch ako vstup pre následné, detailnejšie zhodnotenie stavu hydrologickej bilancie a vodohospodárskej bilancie vo vybraných rokoch 2017 a 2018.

Vodnosť je hydrologická charakteristika, ktorá vyjadruje kvantitatívne zhodnotenie konkrétneho roka alebo mesiaca (%), t.j. porovnanie konkrétneho ročného, resp. mesačného prietoku so zodpovedajúcou dlhodobou hodnotou prietoku za referenčné obdobie 1961–2000.

Indikátorom podnormálnej vodnosti roka je hodnota 90 % Q_a [5], resp. hodnoty priemerných mesačných prietokov pod 80% Q_{ma} a 50% Q_a je indikátorom výrazne podnormálnej vodnosti roka, resp. hodnoty pod 40% Q_{ma} reprezentujú výrazne podnormálny stav vodnosti mesiaca [6].

Vývoj vodnosti

Roky 2017 a 2018 patria medzi roky, ktoré boli vyhodnotené ako roky s podpriemernou vodnosťou (Obrázok. 1), t.j. celková priemerná ročná vodnosť bola nižšia než 90% (Pozn. farebne, resp. čiarkovane sú zvýraznené roky s najmenšou priemernou vodnosťou roka). V povodí Ondavy nad VN Domaša (Obrázok. 2), ktoré patrí do čiastkového povodia Bodrogu, priemerná ročná vodnosť rokov 2017 a 2018 je rozdielna. Rok 2017 z hľadiska priemernej ročnej vodnosti patril síce k rokom normálnym, ale vodnosť ostatných predchádzajúcich rokov od roku 2012 bola podnormálna.

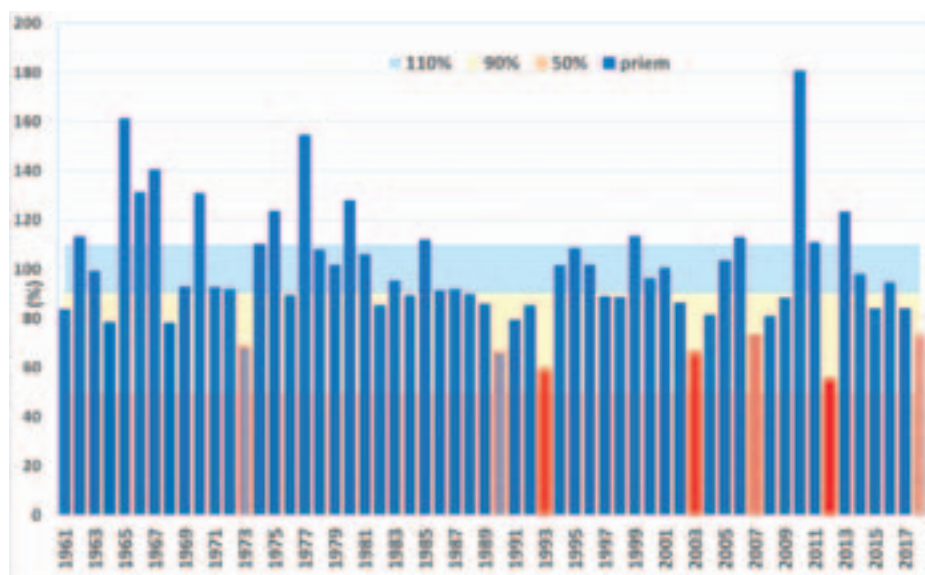
Detailnejšie sme sa pozreli na vývoj ročnej vodnosti vo vodoмерnej stanici Ondava – Stropkov, ktorá je kľúčovou stanicou pre hodnotenie prítoku vody do vodnej nádrže Veľká Domaša (Obrázok 3.). V predmetnej vodoмерnej stanici sa pozoruje a vyhodnocuje prietok od hydrologického rolu 1967. Za 52 rokov pozorovania sa vyskytlo až 28 rokov, ktorých vodnosť bola menšia ako 90%. Čo je ale pozoruhodné, z týchto 28 rokov je 13 z obdobia 2001–2018. (Pozn. ostatné roky za obdobie 2001 až 2018 s podnormálnou vodnosťou sú na obrázku 3. vyznačené

červeným šrafovaním). To znamená, že iba v štyroch rokoch v tomto období bola vodnosť väčšia. Jedným z takýchto rokov je aj rok 2017.

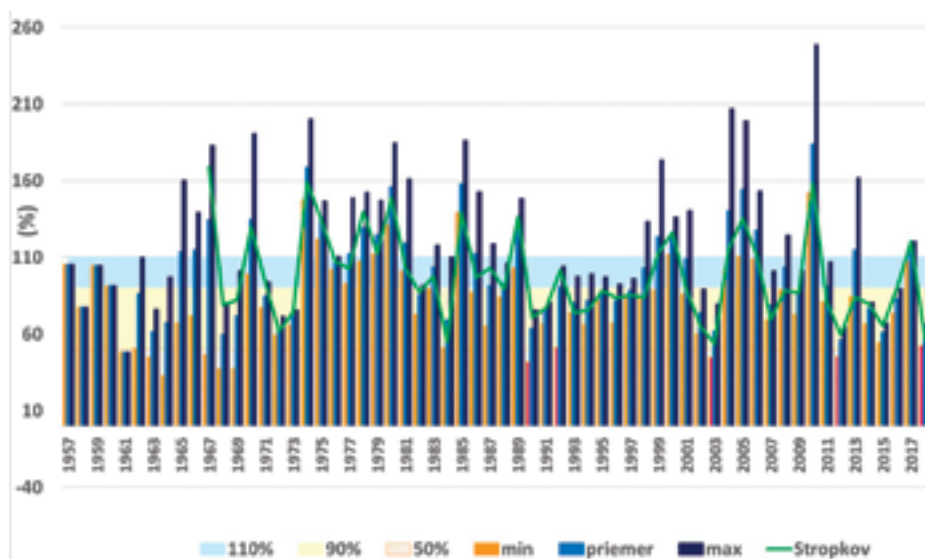
Ak porovnáme dlhodobý prietok za obdobie 2001 – 2018 s dlhodobým prietokom za referenčné obdobie 1961 – 2000, jednoznačne musíme konštatovať, že tento prietok bol menší až o 10,4%. Z tohto je zrejme, že takáto zložitá hydrologická situácia pri plnení základného cieľa VN Domaša, v sérii toľkých za sebou idúcich nepriaznivých rokov sa musela niekde odzrkadliť aj napriek tomu, že uvedená vodná nádrž má schopnosť viacročného vyrovnania prietokov.

V ďalšom sa pozrieme podrobnejšie na rozdelenie odtoku vybraných rokov 2017 a 2018, t.j. na jednotlivé mesiace a následne ako alebo či si s tým VN Domaša poradila.

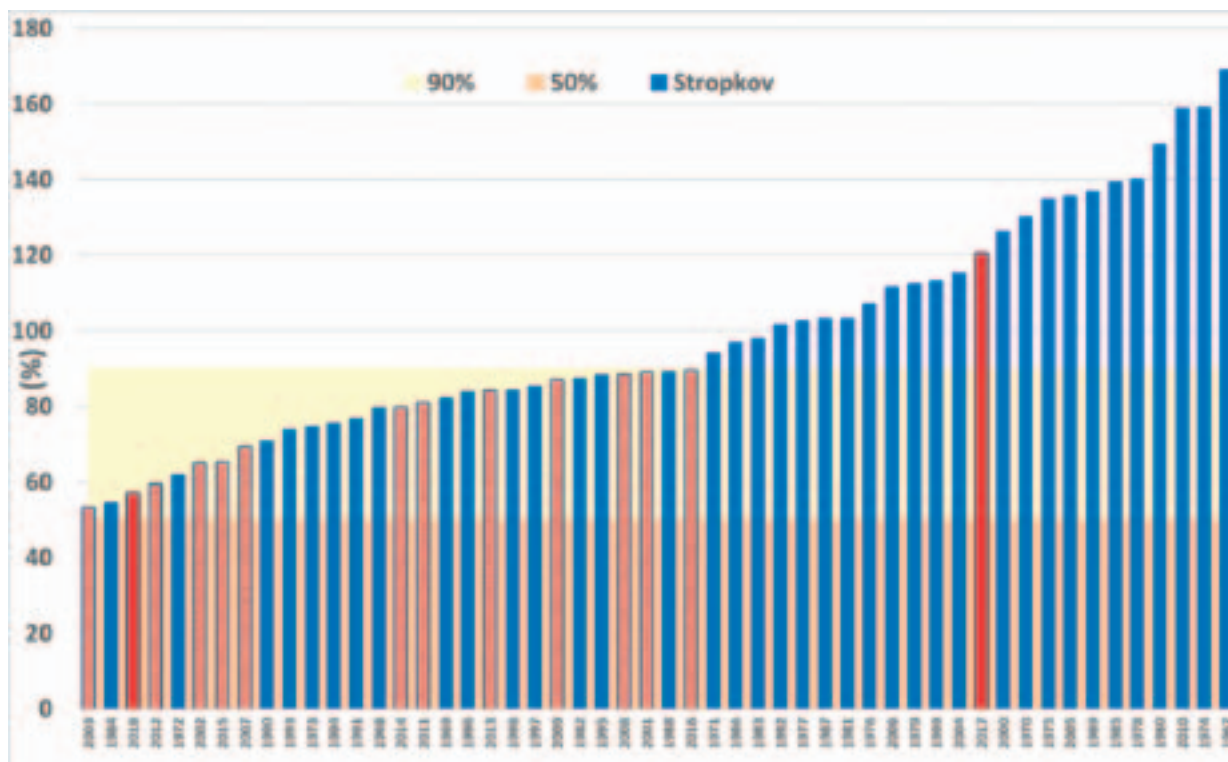
Z pohľadu hydrologickej bilancie v rámci Slovenska bol rok 2017 zrážkovo normálny a rok 2018 suchý. Kým v roku 2017 vznikol nadbytok zrážok 65 mm, zrážkový deficit v nasledujúcom roku dosiahol 89 mm. Najväčšie množstvo zrážok v roku 2017 v rámci Slovenska spadlo v septembri, najmenej v januári. Podobná bola situácia aj v povodí nad VN Domaša (Obrázok 4), kde najmenšie množstvo zrážok spadlo v januári, ale maximálne



Obrázok 1. Vývoj priemernej ročnej vodnosti SR od roku 1961



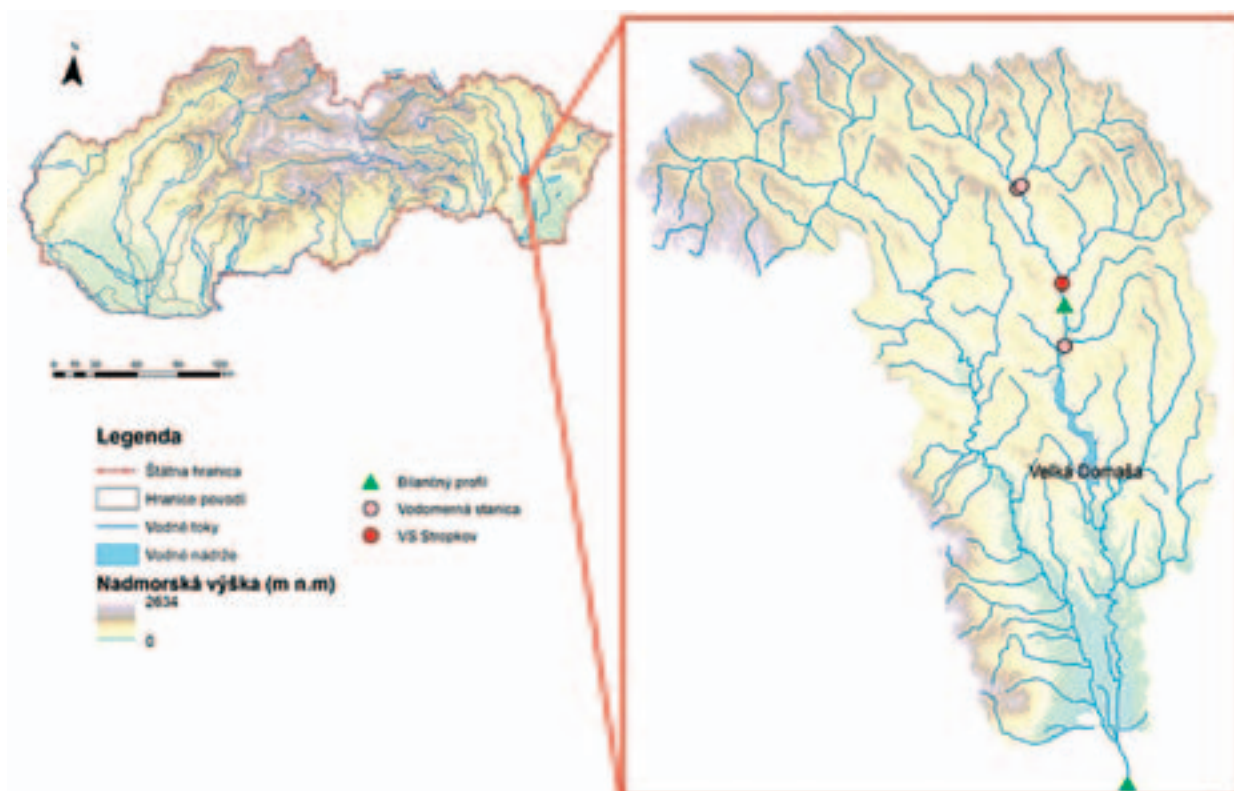
Obrázok 2. Vývoj priemernej ročnej vodnosti v povodí Ondavy nad VN Domaša



Obrázok 3. Zoradená priemerná ročná vodnosť vo vodomernej stanici Ondava – Stropkov

Tabuľka 1. Mesačné zrážkové úhrny v mm v povodí nad VD Domaša v rokoch 2017 a 2018

Zrážky	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
2017	32,4	37,8	37,5	65,7	88,3	110,5	117,8	78,9	109,2	84,1	67,9	98,7
2018	26,9	47,6	64,1	34,6	60,1	116,4	81,4	93,0	40,3	52,3	25,5	57,4



Obrázok 4. Situácia VN Domaša, hodnotených vodomerných staníc a bilančných profilov

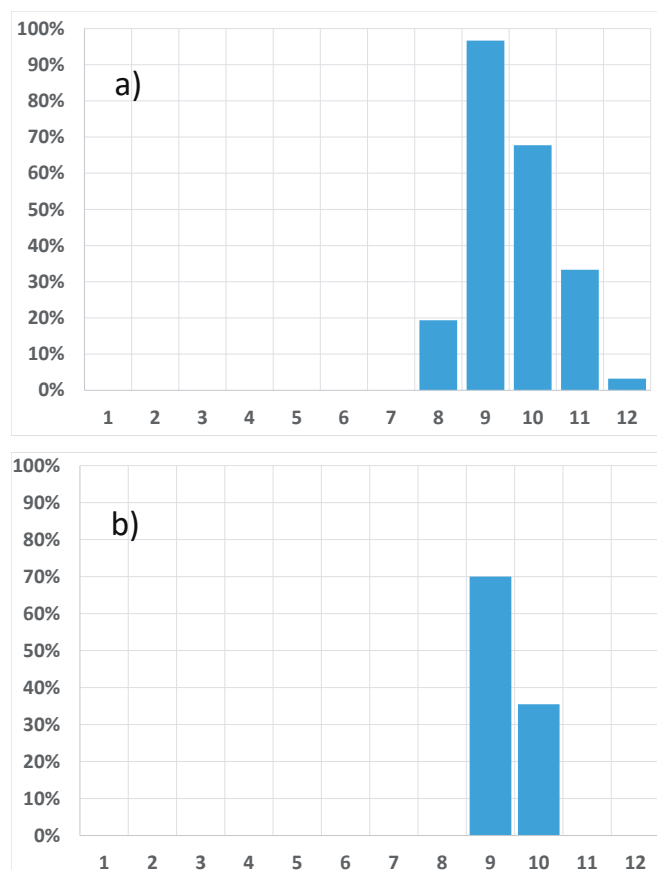
zrážkové úhrny sa vyskytli v júni a júli. V roku 2018 najväčšie množstvo zrážok spadlo v mesiaci jún, a najmenšie v novembri tak z pohľadu hodnotenia celého územia Slovenska ako aj z pohľadu povodia Ondavy nad VN Domaša.

Odtok z povodia nad vodnou nádržou bol najväčší v oboch rokoch v marci a najmenší v auguste 2017 a v septembri 2018. Mesačné hodnoty zrážok za hodnotené roky z územia nad VN Domaša obsahuje tabuľka 1.

Kým priemerné ročné prietoky v roku 2017 sa v povodí Ondavy pohybovali v rozpätí od 112 do 117 % príslušných dlhodobých hodnôt v roku 2018 dosahovali len 52 až 57 %.

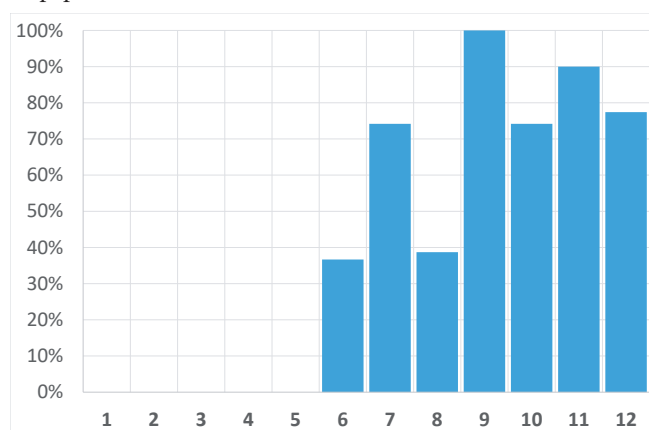
Maximálne priemerné mesačné prietoky v oboch rokoch boli zaznamenané v marci. V roku 2017 v rozpätí 105 až 140 % príslušných dlhodobých hodnôt v roku 2018 z nich dosahovali len 54 až 70 %. Minimálne priemerné mesačné prietoky v roku 2017 sa vyskytovali v auguste s hodnotami od 38 – 59 % $Q_{8,1961-2000}$ v roku 2018 v septembri a dosahovali len 10 – 14 % príslušných dlhodobých hodnôt.

Minimálne priemerné denné prietoky sa v oboch hodnotených rokoch vyskytli v letno-jesennom období malej vodnosti. V roku 2017 vo vodomernej stanici Ondava – Stropkov nedošlo k dosiahnutiu ani podkročeniu hodnôt Q_{355d} ani Q_{364d} . V roku 2018 bola hodnota Q_{355d} v období august – december vo vodomernej stanici Stropkov – Ondava dosiahnutá alebo podkročená počas 67 dní (Obrázok 5a), z čoho najviac dní sa vyskytlo v septembri, a to až 29, čo predstavuje 97% dní daného mesiaca. V októbri bolo takýchto dní zaznamenaných 21 (61% dní v mesiaci), v novembri 10, v auguste 6 a v decembri 1 deň. Priemerné denné prietoky menšie než Q_{364d} sa vo vodomernej stanici Stropkov – Ondava vyskytli v mesiacoch september (21 dní) a október (11 dní). V oboch mesiacoch sa jednalo o súvislé obdobia malej vodnosti (Obrázok 5b).



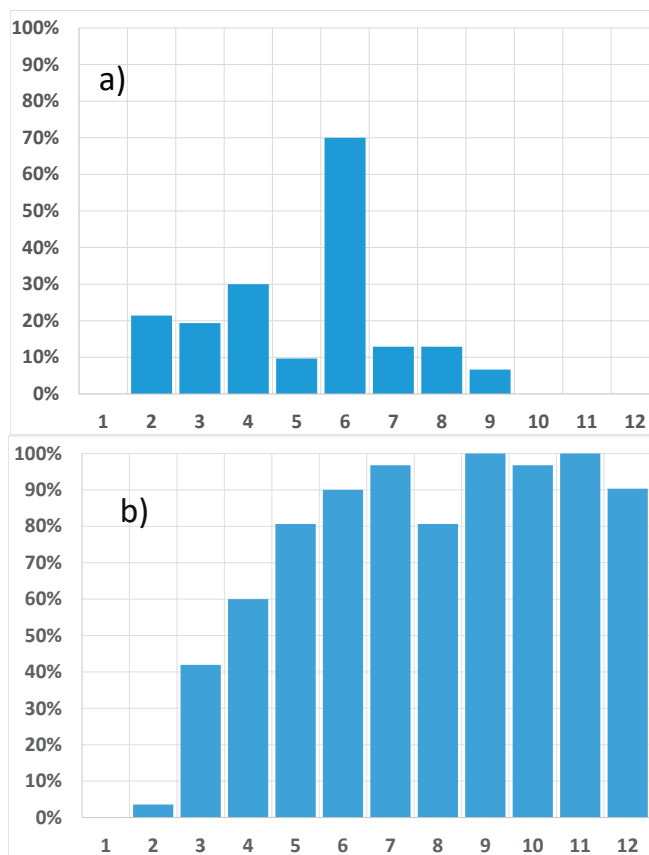
Obrázok 5. % počtu dní v jednotlivých mesiacoch roka 2018 s hodnotou priemerného denného prietoku menšieho ako Q_{355d} (a) a menšieho ako Q_{364d} (b)

Ďalším indikátorom malej vodnosti, s ktorým sme sa zaoberali bol výskyt príslušných priemerných mesačných prietokov menších ako 20 % Q_{ma} , resp. 40% príslušných Q_{ma} , ich dosiahnutie resp. podkročenie.



Obrázok 6. % počtu dní s hodnotou priemerného denného prietoku menšieho ako 20% príslušného Q_{ma}

V roku 2017 sa nevyskytol ani jeden deň s denným prietokom menším ako 20 % Q_{ma} , ale v roku 2018 sa dni s hodnotami priemerných denných prietokov nižšími ako 20 % $Q_{ma,1961-2000}$ vyskytli od júna v každom mesiaci, v septembri dokonca bol denný prietok menší súvisle celý mesiac.



Obrázok 7. % počtu dní s hodnotou priemerného denného prietoku menšieho ako 40 % príslušného Q_{ma} v roku 2017 (a) a v roku 2018 (b)

Tabuľka 2. Manipulácia na VN Domaša v roku 2017

4560BO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
manipulácia VN ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	2,18	-8,94	-4,50	0,74	1,14	2,64	0,52	3,86	2,08	1,19	-3,27	-9,18
vodnosť C (%)	64,3	167,6	104,7	37,9	96,1	43,5	61,2	35,3	79,6	79,0	158,7	287,4
vodnosť E (%)	96,2	97,6	87,6	42,5	107,0	73,6	67,6	96,6	122,4	98,9	112,7	194,9
vodnosť EN (%)	95,0	96,2	87,1	42,0	106,6	73,2	66,8	96,0	121,5	98,3	111,5	193,6
potreba ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	0,657	0,699	0,689	0,658	0,675	0,691	0,686	0,681	0,676	0,68	0,667	0,662

akumulácia	vodnosť < 40	80 < vodnosť < 120
bez manipulácie	40 < vodnosť < 80	vodnosť > 120
nadlepšovanie		

Ak sme ako limitnú hodnotu definovali 40 % Q_{ma} , takéto prietoky sa vyskytli aj v roku 2017 a vo viacerých mesiacoch, vrátane mesiacoch v ktorých je prirodzený zvýšený odtok. V roku 2018 počet dní s rovnou resp. nižšou hodnotou priemerného denného prietoku ako 40 % Q_{ma} bol vysoký. Dá sa povedať, že od mája 2018 priemerné denné prietoky vo vodomernej stanici Onda-va-Stropkov sa s menšími prerušeniami vyskytovali od mája až do konca roka

Z uvedenej analýzy je zjavné, že už v roku 2017 bol zaznamenaný výskyt priemerných denných prietokov s výrazne podpriemernou vodnosťou, a to aj v čase, kedy by mal byť prirodzený zvýšený odtok (jarné mesiace), čo znamenalo nie najvhodnejšie podmienky na akumuláciu prietokov vo vodnej nádrži. Ešte nepriaznivejšia situácia na akumuláciu bola v roku 2018 (Obrázky 5–7).

Výsledky a diskusia

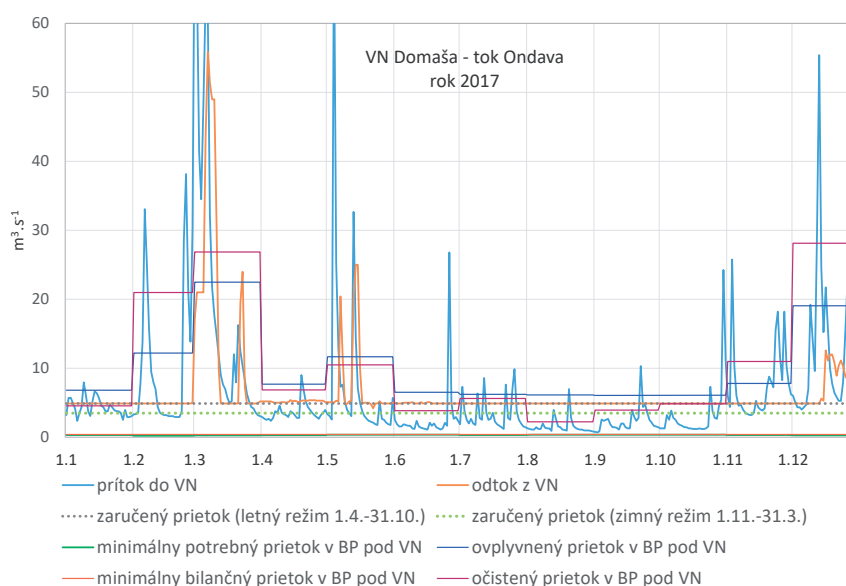
VN Veľká Domaša bola k 1.1.2017 naplnená na 75,3 % svojho zásobného objemu. V mesiaci január nádrž nadlepšovala prietoky, počas mesiacov február a marec VN akumulovala s maximálnou hodnotou vo februári ($8,940 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), čo spolu s priaznivým naplnením zásobného priestoru na začiatku roka umožnilo nadlepšovať prietoky pod VN v nepriaznivom období od apríla do októbra s maximálnou hodnotou v auguste ($3,863 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) a zlepšiť hydrologickú situáciu v povodí pod VN a zároveň

zabezpečiť požiadavky na vodu (v tabuľke 2 to vyjadrujú hodnoty vodnosti EN, t.j. prietokov nadlepšených VN a potreba).

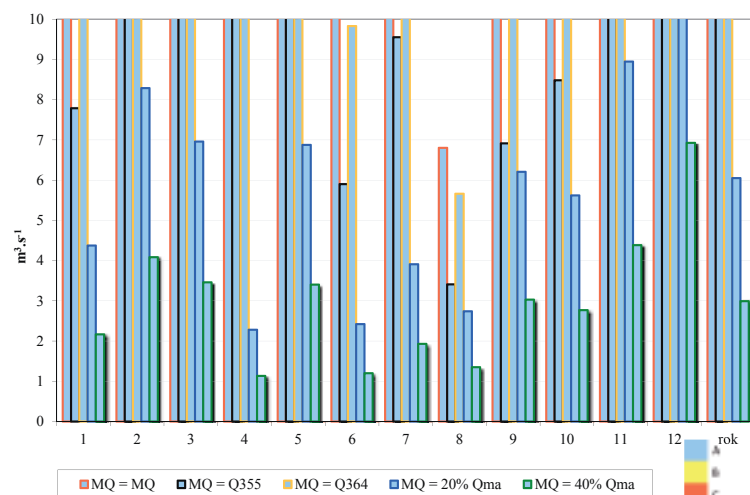
VN Domaša v novembri a decembri akumulovala. Na VN Domaša sa hodnotí aj výpar z vodnej hladiny a jeho priemerná ročná hodnota bola $0,195 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, maximálna hodnota výparu bola zaznamenaná v júni ($0,480 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Situácia je znázornená aj priebehom ovplyvnených a očistených prietokov na obrázku 8.

Hodnotenie bilančného stavu v bilančnom profile nad VN Domaša pri uvažovaní vybraných hypotetických limitných hodnôt (Q_{355d} , Q_{364d} , 20% Q_{ma} , 40% Q_{ma}) v porovnaní s hodnotou MQ v súčasnosti platnou je znázornené na obrázku 9. V roku 2017 vo všetkých mesiacoch a pre všetky zvolené hypotetické limitné hodnoty by bol vyhodnotený aktívny bilančný stav.

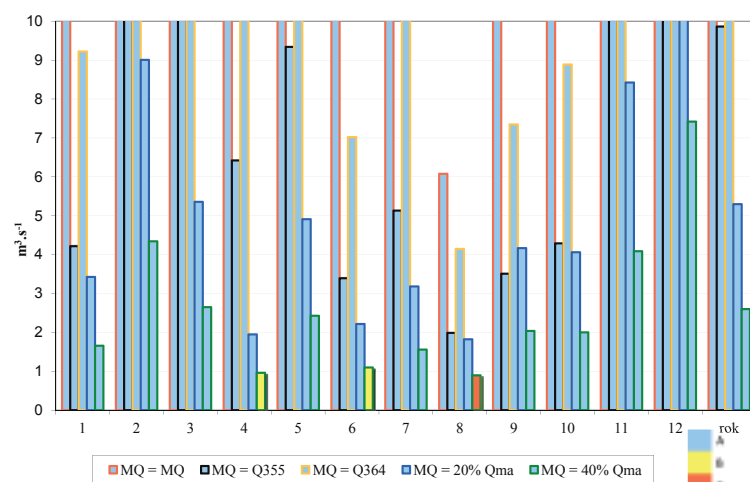
V profile pod VN Domaša sme hodnotili bilančný stav v dvoch alternatívach (popis v metodike) a pre rovnaké vybrané hypotetické limitné hodnoty. Výsledky hodnotenia bilančného stavu v bilančnom profile pod VN Domaša pre obidve alternatívy a pri uvažovaní vybraných hypotetických limitných hodnôt (Q_{355d} , Q_{364d} , 20% Q_{ma} , 40% Q_{ma}) v porovnaní s hodnotou MQ v súčasnosti platnou sú znázornené na obrázkoch 10–11. V roku 2017 pri limitnej hodnote minimálneho bilančného prietoku reprezentujúcej 40% Q_{ma} by za prirodzených podmienok vodných zdrojov (t.j. bez vplyvu VN) zabezpečenie požiadaviek na vodu spôsobilo nepriaznivý (pasívny) bilančný stav v auguste a napätý bilančný stav v apríli a júni, ale vplyvom VN Domaša by boli zabezpečené požiadavky na vodu bez zhoršenia bilančného stavu, iba s napätým bilančným stavom v apríli.



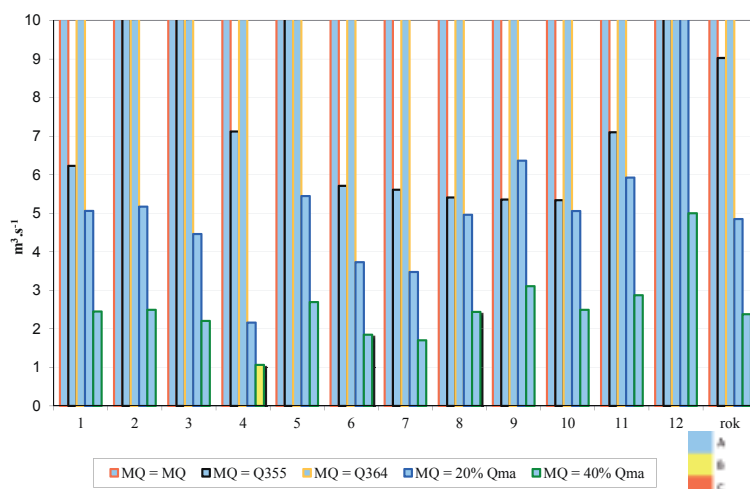
Obrázok 8. Priebeh vybraných prvkov vodohospodárskej bilancie v roku 2017 v bilančnom profile pod vodnou nádržou



Obrázok 9. Bilančný stav v roku 2017 v bilančnom profile Ondava – Stropkov nad vodnou nádržou pri uvažovaní vybraných hypotetických limitných hodnôt



Obrázok 10. Bilančný stav v roku 2017 v bilančnom profile pod vodnou nádržou pri uvažovaní prirodzených prietokov a pre vybrané hypotetické limitné hodnoty

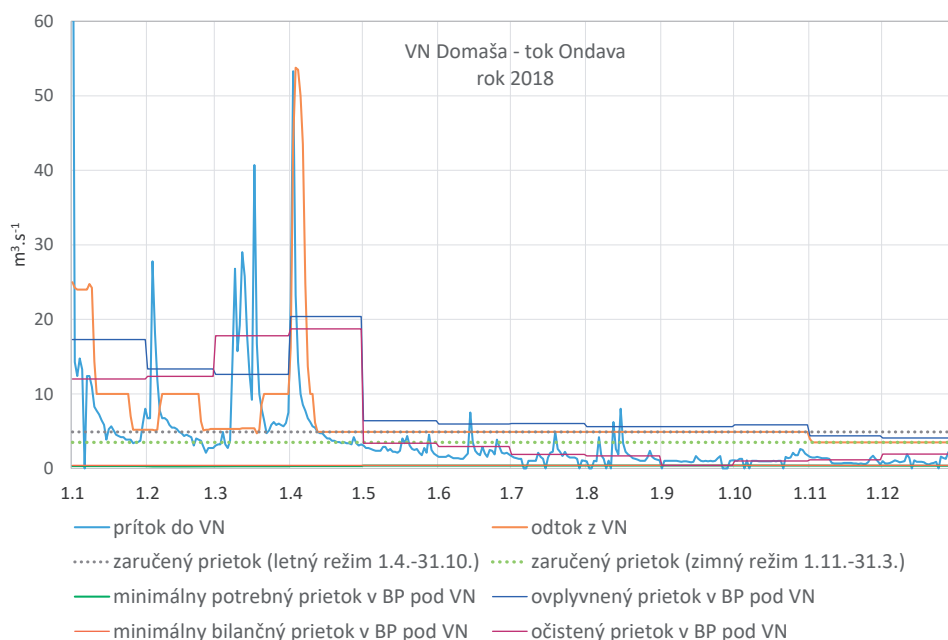


Obrázok 11. Bilančný stav v roku 2017 v bilančnom profile pod vodnou nádržou pri uvažovaní prietokov ovplyvnených činnosťou nádrže a pre vybrané hypotetické limitné hodnoty

Tabuľka 3. Manipulácia na VN Domaša v roku 2018

4560BO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
manipulácia VN ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	5,19	0,87	-5,30	1,58	2,99	2,99	4,14	3,92	5,20	4,83	3,20	2,12
vodnosť C (%)	169,2	98,7	69,4	103,4	31,1	33,2	20,3	26,4	8,3	16,4	16,8	19,7
vodnosť E (%)	243,6	106,7	49,2	112,6	58,6	67,2	65,4	88,3	113,4	94,9	63,3	41,8
vodnosť EN (%)	242,2	105,6	48,8	112,1	58,4	66,9	65,3	88,1	113,1	94,7	63,0	41,4
potreba ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	0,639	0,653	0,659	0,678	0,662	0,662	0,683	0,659	0,645	0,656	0,648	0,654

akumulácia	vodnosť < 40	80 < vodnosť < 120
bez manipulácie	40 < vodnosť < 80	vodnosť > 120
nadlepšovanie		



Obrázok 12. Pribeh vybraných prvkov vodohospodárskej bilancie v roku 2018 v bilančnom profile pod vodnou nádržou

Obdobnú analýzu sme spracovali aj pre rok 2018. VN Domaša bola k 1.1.2018 naplnená na 96,3 % svojho zásobného objemu. VN počas celého roka s výnimkou mesiaca marec, nadlepšovala prítoky s maximálnou hodnotou v septembri ($5,30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), čo v tomto hydrologicky nepriaznivom období výrazne zlepšilo hydrologickú situáciu v povodí pod vodnou nádržou a zároveň zabezpečilo pokrytie požiadaviek na vodu (v tabuľke 3 to vyjadrujú hodnoty vodnosti EN a potreba). VN nepretržitým nadlepšovaním prítokov od apríla do konca roka dosiahla v decembri minimálnu hladinu vody vo VN, iba 153,42 m n.m.), čo znamenalo, že k 1.1.2019 bola VN naplnená len na 35,1 % svojho zásobného objemu. Priemerná ročná hodnota výparu z vodnej hladiny počas roka 2018 bola $0,211 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, maximálna hodnota výparu bola zaznamenaná ($0,515 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) v auguste.

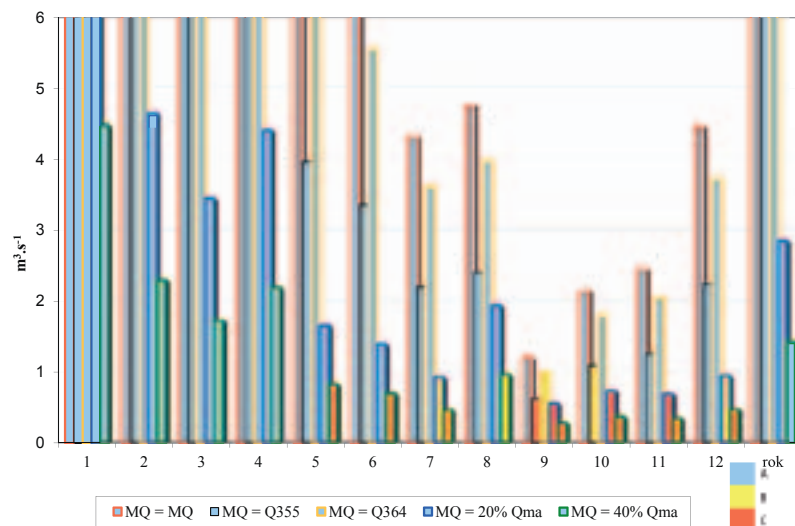
Situácia je znázornená aj priebehom ovplyvnených a očistených prítokov na obrázku 12.

Hodnotenie bilančného stavu v bilančnom profile nad VN Domaša pri uvažovaní vybraných hypotetických limitných hodnôt (Q_{355d} , Q_{364d} , 20% Q_{ma} , 40% Q_{ma}) v porovnaní s hodnotou MQ v súčasnosti platnou je na obrázku 13 a hodnotenie bilančného stavu v bilančnom profile pod VN Domaša pre obidve alternatívy a pri uvažovaní vybraných hypotetických limitných hodnôt

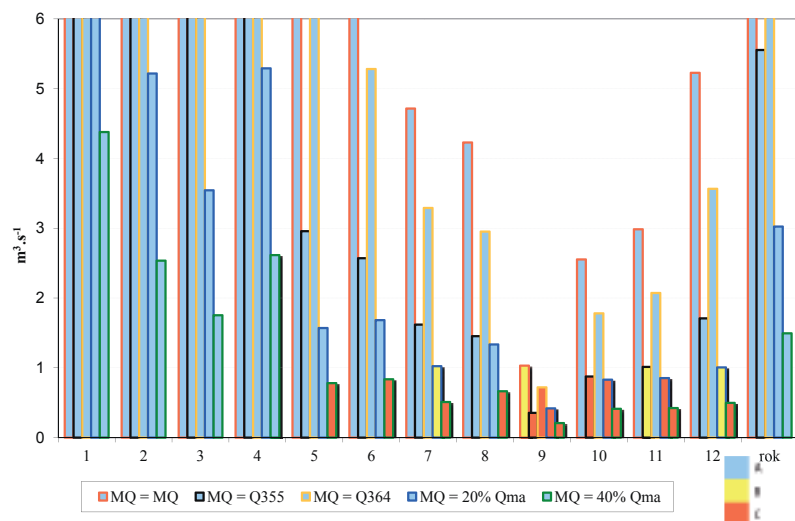
(Q_{355d} , Q_{364d} , 20% Q_{ma} , 40% Q_{ma}) v porovnaní s hodnotou MQ v súčasnosti platnou je uvedené na obrázkoch 14–15.

V profile nad VN Domaša roku 2018 v období od mája do decembra by za prirodzených podmienok vodných zdrojov by boli zaznamenané nepriaznivé bilančné stavy v rôznych mesiacoch. Kým v mesiacoch máj, jún, júl a december by pasívny stav nastal iba pri limitnej hodnote 40 % Q_{ma} , v mesiacoch október a november aj pri limitnej hodnote 20% Q_{ma} . Najnepriaznivejšie výsledky boli vyhodnotené za mesiac september, v ktorom by bol zaznamenaný pasívny bilančný stav pre 3 zo 4 zvolených hypotetických hodnôt.

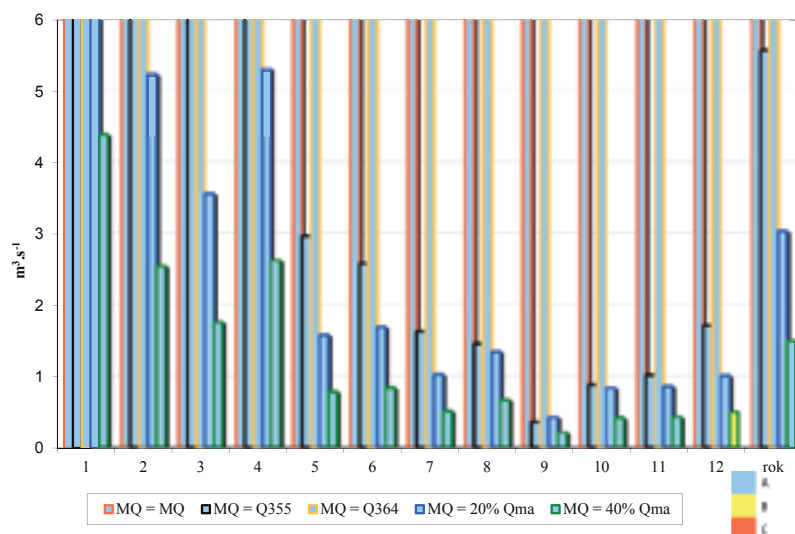
Ešte nepriaznivejšie výsledky by boli dosiahnuté v profile pod VN Domaša, keby vodná nádrž neexistovala. Manipulácia na VN Domaša v roku 2018 aj pre zvolené hypotetické hodnoty, ktoré sú vyššie ako v súčasnosti používaná hodnota minimálneho bilančného prítoku, by nielen zabezpečila požiadavky na vodu, ale pod VN zabezpečila priaznivú hydrologickú situáciu. Zároveň je nutné poznamenať, že ďalším predĺžovaním nepriaznivej hydrologickej situácie aj táto vodná nádrž by mohla mať problémy so zabezpečením požiadaviek bez nastavení opatrení, ktorými napr. by bolo zníženie zabezpečenia požiadaviek na vodu alebo ich regulovanie.



Obrázok 13. Bilančný stav v roku 2018 v bilančnom profile Ondava – Stropkov nad vodnou nádržou



Obrázok 14. Bilančný stav v roku 2018 v bilančnom profile Ondava – nad Topľou pod vodnou nádržou za prirodzených podmienok pri uvažovaní prirodzených prietokov



Obrázok 15. Bilančný stav v roku 2017 v bilančnom profile Ondava – nad Topľou pod vodnou nádržou pri uvažovaní prietokov ovplyvnených činnosťou nádrže

Záver

VN Domaša bola vybudovaná na akumuláciu vody pri vyšších prietokoch s cieľom zabezpečiť dostatok vody práve v období nedostatku vody v tokoch a tým zabezpečiť vodu pre energetiku, priemysel a rybárstvo. Analýza ukázala, že VN Domaša aj v období s nepriaznivými hydrologickými podmienkami dokázala splniť svoj hlavný cieľ, pre ktorý bola vybudovaná. To, že vo VN Domaša je v súčasnosti málo vody pre komfortnú rekreáciu je práve dôsledkom správnej manipulácie s objemom vody v nej v dlhotrvajúcom období malej vodnosti. Zároveň je nutné poznamenať, že ďalším predlžovaním nepriaznivej hydrologickej situácie aj táto VN by mohla mať problémy so zabezpečením požiadaviek bez nastavení opatrení. Rok 2018 opätovne ukázal, že hydrologické sucho je jav, s ktorým musíme počítať častejšie a nedá sa eliminovať, a preto je nevyhnutné vytvárať opatrenia aby sme znížili jeho dôsledky. Jedným z potrebných opatrení je stanoviť jasnú prioritizáciu požiadaviek na vodu a nastaviť regulačné opatrenia v čase nedostatku vody, ale s maximálnym ohľadom na ekologickú hodnotu prostredia.

Úplne na záver na obrázku 16 je stav hydrologickej situácie nad VN Domaša z 5.3.2019. Už na pohľad je jasné, že hydrologická situácia na prítoku bola veľmi nepriaznivá a zároveň je potrebné si uvedomiť, že táto situácia opäť nastala v marci, t.j. v mesiaci v ktorom sa očakával jarný odtok potrebný na dopĺňanie jej objemu.

Literatúra

- [1] ABÁFFY, D. 1991. Priehrady a nádrže na Slovensku. Bratislava. Alfa, 1991. ISBN 80-05-00926-7
- [2] Hydrologická ročenka, časť Povrchové vody 2017. Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava. 2018.
- [3] JENEIOVA, Katarína, Katarína MELOVÁ, Jana, PODOLINSKÁ, Beáta, SIČOVÁ, Soňa, LIOVÁ. Zhodnotenie hydrologického roka 2018. In. Vodohospodársky spravodajca 5–6. 2019. s. 11–15. ISSN 0322-886X
- [4] Vodohospodárska bilancia SR: Kvantitatívna vodohospodárska bilancia množstva povrchových vôd za roky 2017 a 2018 Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava.
- [5] POÓROVÁ, Jana a kol. 2018: Hodnotenie vodnosti roka a zmien rozdelenia odtoku v roku. Čiastková úloha: Hodnotenie hydrologického sucha. SHMÚ.
- [6] BLÁŠKOVIČOVÁ, Lotta., Jana, POÓROVÁ, Katarína, MELOVÁ, Katarína, JENEIOVA. 2019: Nastavenie limitných hodnôt pre hodnotenie hydrologického sucha. In: *Manažment povodí a extrémne hydrologické javy 2019*. Vyhne.



Obrázok 16. Prítok do vodnej nádrže Veľká Domaša 5. 3. 2019

OCHRANNÁ PÁSMÁ VODNÍCH ZDROJŮ A BILANČNÍ HODNOCENÍ PŘÍTOKŮ DO NÁDRŽE VRANOV

Petra Oppeltová¹, Jana Svobodová¹

¹ Mendelova univerzita v Brně, Ústav aplikované a krajinné ekologie,
Zemědělská 1, Brno, 613 00, telefon +420 545 132 471, oppeltova@mendelu.cz

Abstrakt

Ochrana vod slouží k zajištění dostatečného množství a jakosti vod v přírodním prostředí, a to v souladu s požadavky legislativy české i evropské. Stanovování ochranných pásem vodních zdrojů (OPVZ) patří do speciální ochrany vod, jedná se tedy o preventivní nástroj při zajištění dostatečného množství kvalitní pitné vody. Zajištění zásobování obyvatelstva kvalitní pitnou vodou je veřejným zájmem. Předkládaný příspěvek se zabývá problematikou vodní nádrže Vranov na řece Dyji, která je velmi specifická – jedná se o víceúčelovou nádrž s vodárenským odběrem. Součástí příspěvku je bilanční hodnocení vybraných ukazatelů na přítocích do nádrže a zhodnocení aktuálních problémů spojených s ochranou této nevodárenské nádrže (plavba, rekreace, odpadní voda a další).

Klíčová slova: ochrana vod; fosfor; plavba; rekreace.

Abstract

Water protection serves to ensure sufficient quantity and quality of water in the environment in accordance with the requirements of Czech and European legislation. Determination of protection zones of water resources belongs to special water protection. It is therefore a preventive tool while ensuring a sufficient quantity of quality drinking water. Ensuring the supply of quality drinking water to the population is in the public interest. This paper deals with the issue of the Vranov reservoir on Dyje river, which is very specific. It is a multipurpose reservoir with water supply. Balance evaluation of selected indicators on tributaries into the reservoir and evaluation of current problems associated with the protection of this non-water reservoir (sailing, recreation, waste water and others) are included in the paper.

Keywords: water protection; phosphorus; navigation; recreation.

Úvod

Problematika ochrany vodních zdrojů a hospodaření v ochranných pásmech se dotýká všech vyspělých států. Je důležité si uvědomit, že zajištění zásobování obyvatelstva kvalitní pitnou vodou je veřejným zájmem. Ochranná pásma se dle zák. č. 254/2001 Sb., v platném znění, stanovují opatřením obecné povahy a jsou dvoustupňová (OP I.st. a OP II. st.).

Způsob stanovení ochranných pásem zdrojů pitné vody a rozsah ochranných opatření je v jednotlivých zemích EU odlišný, avšak cíl ochrany vodních zdrojů je velmi podobný. Ve většině případů se jedná o tři až čtyři stupně ochrany. Nejprísnejší

ochranné pásmo I.st. je stanovováno vzdáleností od místa jímání (např. 10–30 m v Německu, Belgii, USA, Itálii) nebo časově, tj. dle doby zdržení (např. 50–60 dní v Holandsku, 100 dní v Irsku, 50 dní ve Velké Británii, 1 den v Belgii a Španělsku), případně kombinací obou způsobů. Identifikace původu znečištění je problematická zejména u podzemních zdrojů a negativní vliv na podzemní zdroje je méně předvídatelný než u zdrojů povrchových [1].

V současné době se řada povrchových i podzemních zdrojů pitné vody potýká nejen s vysokými koncentracemi živin, ale i s výskytem pesticidních látek a jejich metabolitů. V evropských povodích zdrojů pitné vody existuje mnoho problémů se znečištěním dusičnany a pesticidy ze zemědělských zdrojů a hledají se různé možnosti managementu v těchto povodích. Jednou z možností, jak sladit zemědělské činnosti a ochranu vod, je ekologické zemědělství [2].

Materiál a metodika

Vodárenský odběr z víceúčelové vodní nádrže Vranov na řece Dyji byl uveden do provozu v roce 1982. Vzhledem k tomu, že tato vodní nádrž nepatří mezi vodárenské nádrže, nelze při stanovování rozsahu OP a režimu v nich využít tohoto specifického postavení vodárenských nádrží vyplývající z legislativních předpisů. Problematickou stanovování a změny OP této nádrže se proto nezabývá Povodí Moravy, s.p. (PMO, s.p.), z vodního zákona tato povinnost připadá nositeli povolení k odběru vody. Tím je vlastník vodárenské infrastruktury (Svazek měst a obcí) – v tomto případě za vlastníka řeší provozovatel, tedy VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a.s. (VAS).

Současná ochranná pásma platí od května roku 2018. Územně se neliší od OP platných od roku 2000, nicméně došlo k jejich optimalizaci. OP I. stupně je vymezeno v bezprostředním okolí odběrného zařízení, které je umístěno na plovoucím pontonu v „Jelení zátoce“. OP II. stupně představuje zhruba celou zátopu nádrže spolu s přilehlými břehy. Hranice OP vede převážně po hranicích pozemků PMO, s.p..

Je třeba zdůraznit, že obdobný vodní zdroj, co do významu, rozsahu, typu a dalších specifik, se v ČR nevyskytuje. Jedná se např. o dlouhodobé střety zájmů vodárenství s lodní dopravou, rekreací, vodními sporty, ale i problémy eutrofizací, které naopak řeší většina nádrží [3,4].

Na základě dat poskytnutých PMO, s.p. – vybraných ukazatelů jakosti vody (pravidelný měsíční monitoring) a průtoků na přítocích v Dyji a Želetavce za období 2014–2018 (Tabulka 1) bylo možné zhodnotit bilanci vybraných látek.

Tabulka 1. Průměrné roční průtoky na Dyji a Želetavce (spočítáno dle dat poskytnutých PMO s.p. z denních průtoků)

rok	Dyje	Želetavka
	m ³ /s	m ³ /s
2014	5,656377	0,89
2015	6,212981	1,050124
2016	5,005293	0,676293
2017	3,46107	0,387417
2018	3,458179	0,366892

Výzkum byl zaměřen především na sloučeniny dusíku, fosforu a vybrané pesticidní látky – dle dostupnosti dat z monitoringu. Výsledky jakosti vody v Dyji a Želetavce byly porovnány s normou environmentální kvality (NEK) dle NV 401/2015 Sb., v platném znění.

Výsledky

Bilanci živin za sledované období 2014 – 2018 na Dyji a Želetavce představuje Tabulka 2.

Tabulka 2. Balance sloučenin dusíku a fosforu za období 2014–2018

	N-NH ₄ [t]	N-NO ₃ [t]	PO ₄ [t]	P _{celk.} [t]
Dyje (2014–2018)	53,4	2560	38,15	74,2
Želetavka (2014–2018)	7,8	485	10,4	14,8

Největší množství amoniakálního dusíku se do nádrže dostalo v roce 2015 – Dyjí přiteklo přibližně 21,7 t a Želetavkou 2,9 t (Graf 1). Za sledované období nebyla u amoniakálního dusíku v žádném roce překročena NEK 0,23 mg.l⁻¹ (Graf 2). Rovněž dusičnanového dusíku přiteklo do nádrže nejvíce v nejvodnatějším roce 2015 – Dyjí kolem 700 t a Želetavkou 180 t (Graf 3). Za celé sledované období byly průměrné roční koncentrace dusičnanového dusíku v Želetavce vyšší než v Dyji (Graf 4), přičemž na Želetavce byla v roce 2015 dosažena a v roce 2016 překročena limitní koncentrace NEK 5,4 mg.l⁻¹ dle NV 401/2015 Sb., v platném znění.

Průměrná roční koncentrace celkového fosforu i ortofosforečnanů byla vždy vyšší na Želetavce než na Dyji, v suchých letech 2017 a 2018 byla na Želetavce překročena limitní koncentrace 0,15 mg.l⁻¹ dle NV 401/2015 Sb., v platném znění (Graf 5,6). Co se týká bilančního hodnocení, nejvíce celkového fosforu přiteklo do nádrže v roce 2015 a 2014 – Dyjí každý rok téměř 20 t a Želetavkou téměř 4 t (Graf 7).

Pesticidy a jejich metabolity nebyly monitorovány na Želetavce během celého sledovaného období, proto není možné shrnout jejich celkovou bilanci tak, jako u živin. Každopádně z analýz dostupných dat vyplývá následující:

- nejvyšší průměrná roční koncentrace metolachloru ESA byla zjištěna na Želetavce v roce 2016 – 140 ng.l⁻¹, na Dyji v témže roce – téměř 80 ng.l⁻¹ (Graf 8),
- Dyjí se za celé sledované období (tj. za 5 let) mohlo do nádrže dostat až 36 kg metolachloru ESA (Graf 9) a 33 kg terbutylazinu (Graf 10),

- nejvyšší průměrná roční koncentrace metazachloru ESA byla zjištěna na Želetavce v roce 2018 – 550 ng.l⁻¹ a byla zde překročena NEK 400 ng.l⁻¹. Na Dyji byla nejvyšší roční koncentrace metazachloru ESA rovněž v roce 2018 – téměř 300 ng.l⁻¹,
- Dyjí za rok 2018 mohlo přitéct až 6 kg metazachloru OA, a 32 kg metazachloru ESA, Želetavkou 2 kg metazachloru OA a 6 kg metazachloru ESA,
- nejvyšší průměrná roční koncentrace terbutylazinu byla zjištěna na Želetavce v roce 2014 – více než 140 ng.l⁻¹ a na Dyji v roce 2016 – více než 60 ng.l⁻¹ (Graf 11).



Graf 1. Amoniakální dusík



Graf 2. Amoniakální dusík – roční průměr



Graf 3. Dusičnanový dusík



Graf 4. Dusičnanový dusík – roční průměr



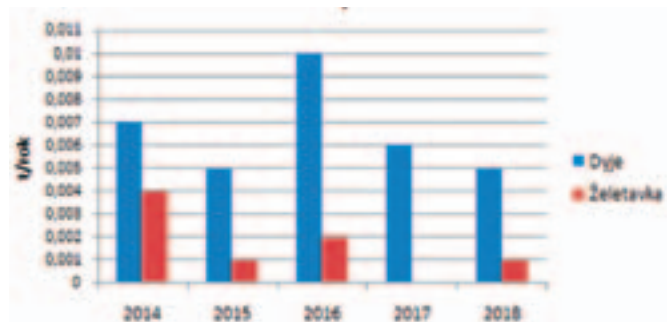
Graf 5. Fosforečnany – roční průměr



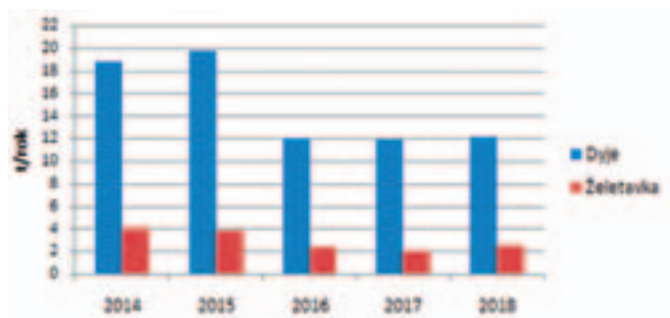
Graf 9. Metolachlor ESA



Graf 6. Fosfor celkový – roční průměr



Graf 10. Terbutylazin



Graf 7. Fosfor celkový



Graf 11. Terbutylazin – roční průměr



Graf 8. Metolachlor ESA – roční průměr

Diskuze a závěr

Z výsledků tohoto i předchozích výzkumů [4] vyplývá, že k problematickým ukazatelům jakosti vody na přítocích do vodní nádrže Vranov patří fosfor a pesticidy. Nádrž se pravidelně potýká s eutrofizací, výrazný vodní květ je patrný především v oblasti Bítova při ústí Želetavky (Obrázek 1). Zásadním rizikem je produkce odpadních vod v povodí nad nádrží – především v povodí Želetavky i v bezprostředním okolí nádrže. V blízkém okolí nádrže se nachází cca 1000 rekreačních objektů k soukromé či veřejné rekreaci, v širším okolí kolem 5000. Kanalizace je pouze u Vranovské a Bítovské pláže, ostatní rekreační objekty by měly nakládat s odpadními vodami jiným zákonným způsobem, např. mít vlastní nepropustné jímky s možností vyvážení. Problém je, že některé objekty jsou nedostupné pro fekální vůz. Výstavbu kanalizací a ČOV nebo jejich intenzifikaci v obcích v povodí nad nádrží však nelze řešit režimem v OP, ale jde o obecnou ochranu životního prostředí. V případě, že by jednou z podmínek v OP bylo vybudování kanalizací a ČOV na místech, kde dosud nejsou, náhrady za takovou výstavbu by pak mohly být žádány po vlastníkově vodárenské infrastruktury, což je nereálné.

Na základě výše uvedených výsledků lze konstatovat, že z povodí se hlavními přítoky dostává do nádrže i určité množství pesticidů. Nejedná se o mimořádný jev, jak uvádí řada autorů a výzkumů, obdobná je situace u řady nevodárenských i vodárenských nádrží v ČR [5, 6, 7]. S tím souvisí i zvyšování investičních a provozních nákladů při výrobě pitné vody. Odstraňování chemických látek ze surové vody se tak promítá do ceny vodného – pro občany, podnikatele i zemědělce. Jednou z možností jak snížit průnik znečišťujících látek do vodních toků je např. zapojení travních pásů, keřů a stromů podél vodních toků. Je tedy třeba podpořit realizaci preventivních opatření v povodí, než nákladně řešit vzniklou kontaminaci povrchových nebo podzemních vod, přičemž zcela nezbytná je spolupráce vodohospodářů a subjektů hospodařících v povodí.

Poděkování

Děkujeme Povodí Moravy, s.p. za poskytnutí dat jakosti vody a průtoků. Příspěvek vznikl za podpory projektu QK1920214 “Inovace systémů pěstování brambor v ochranných pásmech vodních zdrojů s omezenými vstupy pesticidů a hnojiv vedoucí ke snížení znečištění vody a zachování konkurenceschopnosti pěstitelů brambor“ v rámci Programu aplikovaného výzkumu Ministerstva zemědělství na období 2017–2025, ZEMĚ.

Literatura

- [1] Siauve, S., Amorsi, N. 2015. Protection of the whole catchments providing drinking water, Study of practices in Europe. International office for Water. 36 s.
- [2] Barataud, F., Aubry, CH., Wezel, A., Mundler, P. 2014. Management of drinking water catchment areas in cooperation with agriculture and the specific role of organic farming. Experiences from Germany and France. Land Use Policy. Volume 36, 585–594. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.10.010>
- [3] Oppeltová, P., Novák, J. 2018. Problematika hospodaření v povodí vodní nádrže Vranov nad Dyjí. In: Oppeltová, Petra a kol. Problematika znečišťování a ochrany vodních zdrojů v souvislosti se zemědělstvím. Brno: Mendelova univerzita v Brně, s. 68–76. ISBN 978-80-7509-604-3.
- [4] Kosour D., Duras J., Hanák R. VN Vranov – situace a možnosti řešení jakosti vody, 2015. In: KOSOUR, Dušan et al., ed. Vodní nádrže 2015: 6.–7. října 2015, Brno, Česká republika. Brno: Povodí Moravy, s.p., 2015. ISBN 978-80-260-8726-7. str. 61–68
- [5] Kvítek, T. et al. 2017. Retence a jakost vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce. Povodí Vltavy, státní podnik, Praha. ISBN 978-80-270-2488-9
- [6] Kosour D., Geriš, R. Kvalita surové vody vodárenských nádrží ve správě Povodí Moravy, s.p. In: Vodárenská biologie 2019, Praha. ISBN 978-80-88238-12-6. str. 153–159
- [7] Kohout, P., Novák, P., Šupíková, I., Ocelka, T., Mráz, A., Skalický, M., Milický, M. 2018. Systematická ochrana vodních zdrojů před rizikem znečištění pesticidy a jejich metabolity, Pilotní studie Káraný. W&ET Team, sborník příspěvků konference Pitná voda 2018, Tábor 28.–31.5.2018

KONKRÉTNÍ TECHNICKÁ OPATŘENÍ PRO UDRŽITELNÉ ŘEŠENÍ VENKOVA

Karel Plotěný¹, Michal Mrkývka²

¹ ASIO, spol. s r.o. Kšírova 552/45, 619 00 Brno, tel. +420 548 428 111, ploteny@asio.cz

² ASIO NEW, spol. s r.o. Kšírova 552/45, 619 00 Brno

Abstrakt

Česká republika se zavázala v přístupové smlouvě dosáhnout dobrého stavu vod, což předpokládá i vyřešení venkovských oblastí. Ukazuje se ale, že na výsledný efekt má vliv nejen způsob odkanalizování, ale i celkové řešení venkova, tj. především zemědělské výroby. Navíc do rozhodování vstupuje i další prvek – adaptace na změnu klimatu, konkrétně množství vody v tocích a s tím spojené koncentrace znečištění. Dále se ukazuje, že vhodným řešením venkovských oblastí mohou být extenzivní řešení, a to díky tomu, že jsou nenáročné na provoz a provozní náklady jsou ve srovnání s centrálními řešeními nízké. Udržitelnost těchto řešení se pak projevuje například i ve využití čistících schopností krajiny, například sorpci fosforu na půdu a tím snížení fosforu v povrchových vodách, a tedy snížením potenciálu trofizace vodních útvarů.

Klíčová slova: venkovské oblasti; odkanalizování; extenzivní řešení; fosfor a trofizace.

Abstract

By the Treaty of Accession, the Czech Republic is bound to achieve a good state of waters, which assumes also solutions in the rural areas. However, it becomes evident that the resulting effects are influenced not only by the manner of draining, but solutions concerning the entire rural areas, i.e. the agricultural production in the first place. In addition, another element is involved in the decision-making process – the adaptation to the climate change – specifically the water quantities in watercourses and concentrations of contaminants connected therewith. Again, in addition to this, it is clear that suitable solutions for rural areas may be of an extensive kind, mostly because they are affordable in terms of their operations; in such cases, the operating costs are low as compared to the centralised solutions. For instance, the sustainability of these solutions manifests itself in the use of landscape cleaning properties such as phosphorus sorption in the soil with the subsequent reduction of concentrations of this element in surface waters, which reduces the eutrophication potential in water bodies.

Keywords: rural areas; draining; extensive solutions of an extensive kind; phosphorus, eutrophication.

Úvod

Dosažení dobrého stavu u co nejvíce sledovaných profilů je jeden z cílů, který si Česká republika dala při vstupu do EU. Odkanalizování aglomerací větších než 2000 EO je zhruba totožné přesto stále většina vybraných profilů v České republice nedosahuje „dobrého“ stavu, tj. stavu, k jehož dosažení jsme se zavázali před vstupem do EU. Např. v povodí Labe je to až 85 % profilů, v povodí Dunaje pak 75 % [1]. Pokračovat v zavedeném schématu řešení, všechny domy ať jsou od sebe vzdáleny, jak chtějí daleko, napojit na jeden kanál a ten dovést do jedné čistírny, nebo soustředit odpadní vodu v jímce a tu odvést na čistírnu, se v řadě případů ukazuje zjevně neekonomické a neudržitelné. Navíc, i přes značnou investici, tím k odpovídajícímu zlepšení nedochází. Někdy tato investice má paradoxně opačný účinek, soustředěním vypouštěného zbytkového znečištění do toku v místě čistírny dosáhneme v konkrétním místě zhoršení stavu, vytvoření „HOT SPOTU“, místa zvýšené koncentrace cizorodých látek a nastartování trofizace. V řadě lokalit, zejména tam, kde dochází k intenzivní zemědělské produkci, je centrální čistírna jako investice za několik desítek milionů opatření, které stav toku ovlivní jen kosmeticky a pro občany v důsledku znamená zvýšení životních nákladů. Z hlediska vlivu na tok by účinnějším opatřením bylo např. zamezení splachům z půdy. V posledních letech do rozhodování o řešení venkova vstupuje i další fenomén – sucho a s ním potřebné zadržení vody v krajině a např. její využití k nadlepení minimálních průtoků.

Změna klimatu a vliv na řešení venkovských oblastí

Je tak trochu novým atributem při rozhodování, i když pokud bychom rozhodovali o koncepci v duchu udržitelnosti, tak bychom stejně nakonec skončili u řešení, která korespondují s požadavky, jako jsou udržení vody v krajině, řešení problematiky nejbližšího místa vzniku atd. I když na první pohled by se dokonce mohlo zdát, že obcí se adaptace na změnu klimatu netýká, v praxi stále více přibývá obcí, kde se již od jarních měsíců reguluje spotřeba vody, je zakázáno používat pitnou vodu v době, kdy to zahrádka a trávníky nejvíce potřebují a je zakázáno odebírat vodu z toků, a tak schnou fotbalová hřiště a pěstované plodiny v zahradnictví. Studny už více prohloubit nepomáhá. Řada příspěvků na konferencích končí tím, že jediným řešením jsou nádrže na tocích a zasítování rozvodů pitné vody. Určitě to jeden ze způsobů je, ale ne jediný. Jako by se zapomnělo na to, že rovnice má dvě strany, a když na jedné straně (na straně záso) něco chybí, že je třeba levnějším řešením snížení spotřeby na straně druhé.



Obrázek 1. Opatření před a za vodoměrem

Snížení se dá dosáhnout i tím, že část vody budeme recyklovat. Paradoxně ale v praxi demonstrujeme nezávislost na vodě tím, že vodu z území odčerpáme a někdy dokonce tak, že pak v tocích nic neteče. Teprve, až nastane kolaps, např. ve formě úhynu ryb v rybníce, tak si uvědomíme, že v některých obdobích teče v tocích již jen použitá voda, a když i tu odvedeme z území, tak katastrofa ve formě úhynu ryb je na světě.

Jako konkrétní případ se dá uvést celá řada obcí na Brněnsku, včetně města Šlapanice. Vody se čerpají na městskou ČOV v Modřicích. Oblast se elegantně zbavila odpadních vod, díky solidaritě se toto poměrně nákladné řešení ani neprojevovalo ve stočném, ale...

Město i obce začínají mít problém s vodou. Voda, která se dřív zasákla, v podzemí chybí, v tocích teče v době, kdy je voda potřebná na zeleň (např. fotbalové hřiště) málo vody, a tak je logické, že je vyhlášen zákaz odběru vody na závlahu. Zavlažovat se dá pitnou, to zatím až tak není předmětem zájmu a dokud je kde brát, tak spíše nahrává správcům vodovodů a kanalizací. Odběratelé ale musí sáhnout do ka(p)sy, když chtějí zelený trávník.



Obrázek 2. Příklad nedostatku vody v toku a likvidace ryb v Ponětovickém rybníce

Rozhodování v duchu udržitelnosti – decentral a řešení zachovávající vodu v krajině

Decentrálnímu řešení a řešení, které bude zadržovat vodu v krajině brání často paradoxně rozhodování vodoprávních úřadů a současný výklad legislativy na všech úrovních, ale:

- Je nutné centrální řešení za každou cenu, a to i když je pro občany ekonomicky nevýhodné a odvádí to použitou vodu z krajiny?
- Je zasakování vyčištěných vod vždy horší řešení, než jejich vypouštění do vod povrchových?
- Má příroda samočisticí schopnosti, je možné je využít a potřebujeme vodu zadržet v místě?
- Jsou opravdu odpadní vody z rodinných domů znečištěné tak, že představují zvýšené riziko, pokud jsou vícestupňově čištěny?
- Je dnešní stav, kdy na vesnicích „prosakuji“ jímky u RD až tak konfliktní z hlediska kvality povrchových vod? Nebo je znečištění v tocích primárně ze zemědělství?
- Je centrální řešení obce z pohledu trofické toku lepší, než zasakování z jednotlivých ČOV?

Zkusme si poctivě odpovědět na výše uvedené otázky. Nemělo by se něco změnit na přístupu k řešení venkova? Nenašel by se nějaký mechanismus, s jehož pomocí bychom si dokázali vyhodnotit rizika (nebo ještě lépe – všechny prvky udržitelnosti) a na základě toho pak rozhodovali v konkrétních případech? Například v případě roztroušené solitérní zástavby.

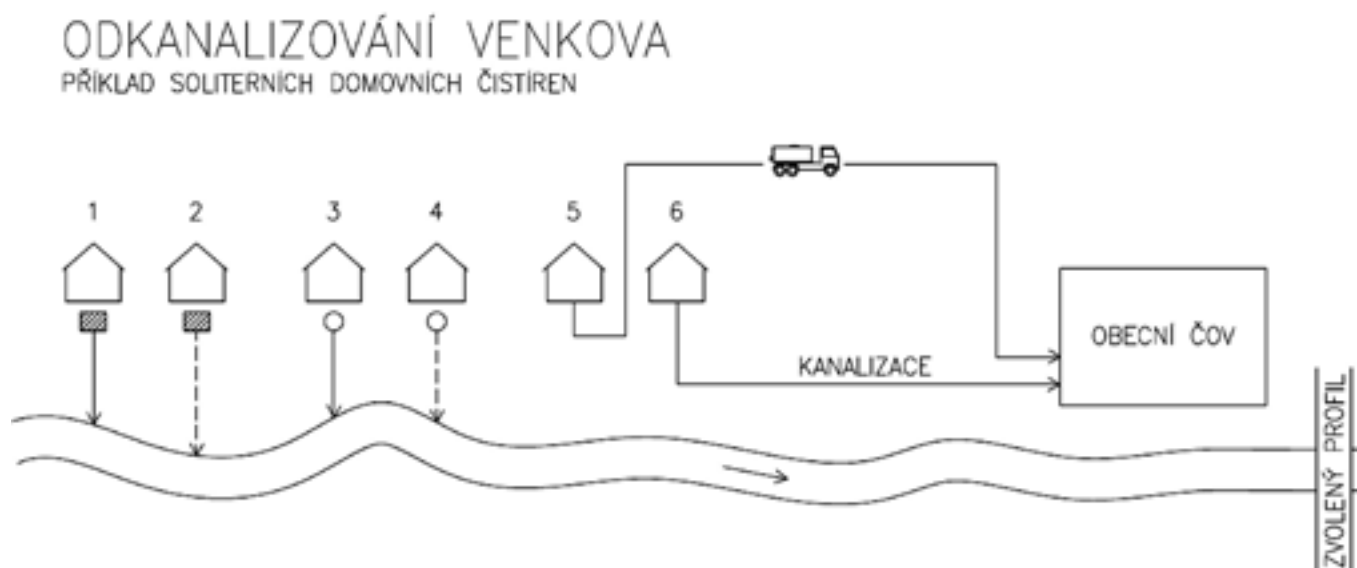
Řešení solitérních staveb a malých aglomerací – příklad vlivu řešení na kvalitu vody v toku

Jako typový objekt byla zvolena solitérní stavba rodinného domu. Pro skupiny domů by však bylo možné použít obdobné hodnocení. Pro hodnocení vlivu jednotlivých řešení byla zvolena jednoduchá forma hodnocení, a to pomocí stupnice hodnotící vliv na tok srovnáním s řešením, kdy by byla použita ČOV do 500 EO. Srovnání si neklade za cíl nějaké přesné vyhodnocení, ale jen orientační s cílem získat představu o dopadech jednotlivých řešení na tok. Přesnější vyhodnocení by bylo možné udělat například s využitím LCA analýzy [2], nebyl by ani problém zpracovat nějaký software, který by zohlednil samočisticí schopnost toku a půdy.



Tabulka 1. Stupnice pro hodnocení vlivu na tok

0	Bagatelní, neovlivňující dobrý stav
1	Menší než ČOV pro 500 EO podle současných BAT
2	Obvyklý pro ČOV do 500 EO s parametry BAT
3	Obvyklý pro ČOV s BAT a odstraňováním P
4	Vyšší než pro ČOV s BAT a odstraňováním P
5	Podstatně vyšší než pro kategorii 3

**Obrázek 3.** Schématické zobrazení jednotlivých případů řešení odkanalizování objektu

Poznámka: 1 – Rodinný dům (RD) s jímkou a „černým“ přepadem do toku, 2 – RD s jímkou a nedovoleným vypouštěním do zásaku, 3 – RD s ČOV (např. sestavou septik/filtr) a vypouštěním do toku, 4 – RD s čistírnou a zásakem, 5 – RD s jímkou na vyvážení, 6 – RD odvedený veřejnou kanalizací v oblasti s vysokým podílem délky kanalizace na obyvatele.

Tabulka 2. Hodnocení vlivu jednotlivých řešení

	Popis řešení	Hodnocení vlivu jednotlivých řešení na zvolený profil				
		BSK	N	P	bakterie	náklady
1	Dům s „jako“ septikem a přepadem do toku přímo, nebo prostřednictvím dešťové kanalizace	1 až 3	3	4	4	0
2	Dům s „jako“ septikem a přepadem do zásaku v blízkosti toku	0-3++	1 až 3 ++	0	0	0
3	Dům s ČOV a vypouštěním do toku přímo nebo do obecní dešťové kanalizace	0	1	2	2	2 až 3
4	Dům s ČOV a vypouštěním do zásaku	0	0	0	0	2 až 3
5	Odvoz odpadních vod na vzdálenou ČOV	2	2	2	2	5
6	Odkanalizování – více než 10 m kanalizace/ 1 EO	2	2	2	2	3 až 5

Závěr

V praxi paradoxně dochází k situacím, kdy po odkanalizování území jednou centrální čistírnou dojde k zvýšení trofizace v toku (centralizací se dostane do toku více fosforu), nebo odvedení části vod mimo zvýší koncentraci některých prvků, přitom se ve většině případů nabízí řešení, kdy se vyčištěné vody mohou dočistit při vypouštění do terénu nebo při jejich použití na závlahu. Z hodnocení dalších parametrů pak vyplývají i další zákonitosti. Z hodnocení je pak patrné, že rizika využití decentralu jsou menší, než je oficiálně vodoprávními úředníky obvykle šířený názor [3]. Zejména z pohledu sociálních dopadů je zřejmé, že obce jsou v řadě případů tlačeny do řešení (5, 6 viz tabulka), která nejsou v celkovém pohledu z hlediska ekologického vůči životnímu prostředí šetrnější, ale při tom jsou z hlediska sociálního nejméně výhodná pro obyvatele vesnických oblastí. Naopak neřešení by dokonce mohlo být v některých případech (varianta 2) ekologičtější, než představují řešení 5 a 6 a pro obyvatelstvo nejekonomičtější. Mým favoritem je pak řešení č.4, které z hlediska zatížení toků je bezesporu nejekologičtější a z hlediska sociálního přijatelnější než varianty 5 a 6. Předpokladem jsou v tomto případě vhodné půdní a hydrogeologické podmínky, což je většinou prakticky prokázáno už tím, že se na lokalitě po dlouhé roky vypouští jen mírně předčištěná odpadní voda bezkonfliktně, bohužel ale „na černo“.

Literatura

- [1] Vrana B, (2019). SCIENCE PARTY Brno 2019 – přednáška na téma Nové znečišťující látky – zdroje, výskyt a charakterizace rizik.
- [2] Xiabogo X. a kol. (2016) *Srovnání spotřeby, potenciálu globálního oteplování a eutrofizace několika řešení venkovských oblastí (LCA analýza)*
- [3] Plotěný K., 2018 – *Udržitelnost jako hlavní kritérium při rozhodování o způsobu odkanalizování*, Sborník přednášek ze semináře VHOS, a.s. Moravská Třebová
- [4] Plotěný K., 2019 – fotoarchív autora

JAKOSTNÍ MODEL POVODÍ SVRATKY NAD VN BRNO

Stanislav Ryšavý, Karel Říha, Roman Hanák

AQUATIS a.s., Botanická 56, Brno 602 00, tel. +420 541 554 233, stanislav.rysavý@aquatis.cz

Abstrakt

Na konci roku 2017 byla vypracována aktualizace jakostního modelu z roku 2011. Účelem bylo zapracovat změny v odkanalizování a čištění odpadních vod, které se udály v povodí a určit prognózu budoucího vývoje jakosti vod a nutnosti opatření na VN Brno.

Hlavním cílem modelu bylo popsat transport fosforu, který je dominantní příčinou eutrofizace VN Brno, kvantifikovat množství fosforu, jež se dostává do toků, analyzovat jeho zdroje v povodí a navrhnout oblasti, kde je možno tyto zdroje efektivně snížit.

Klíčová slova: VN Brno; fosfor; model; sinice.

Abstract

At the end of 2017, an update of the quality model for 2011 was prepared. The purpose was to include changes in the sewerage and wastewater treatment that occurred in the catchment area and to determine the future development of water quality and the necessity of measures at the Brno dam.

The main aim of the model was to describe the transport of phosphorus, which is the dominant cause of eutrophication of the Brno dam, to quantify the amount of phosphorus entering the streams, to analyze its sources in the river basin and to design areas where these loads can be effectively reduced.

Keywords: Brno dam; phosphorus; model; cyanobacteria.

Úvod

VN Brno se dlouhodobě potýká s problémy s eutrofizací a masivním rozvojem sinic, který způsobuje zhoršení možností využívání této cenné rekreační lokality. Z tohoto důvodu bylo v roce 2010 přistoupeno k realizaci sady technických opatření na samotné vodní nádrži Brno. Z principu věci jsou tato opatření koncipována jako dočasná, dokud se stav v povodí nezlepší natolik, aby mohla být zrušena. Základním problémem způsobujícím masivní rozšíření sinic je nadbytek P_{celk} .

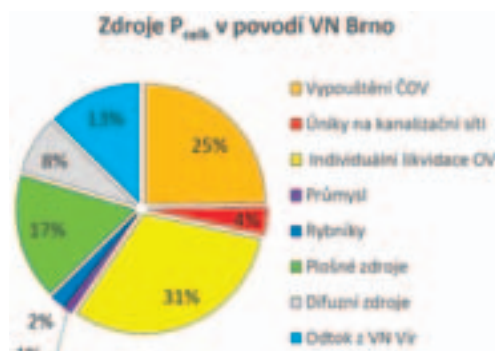
V roce 2011 byl zpracován jakostní model [1], který se zabýval původem fosforu v povodí VN Brno a návrhy opatření na jeho snížení. V roce 2018 byla dokončena aktualizace tohoto modelu [2]. Ta popisuje změny v povodí a na základě podrobného sběru dat vyhodnocuje současný stav. V jakostním modelu jsou také navrhovány sestavy opatření (scénáře), které simulují dopady opatření na stav povodí a VN Brno.

Současný stav povodí VN Brno

Povodí VN Brno je rozděleno na dvě nestejně části vodárenskou nádrží Vír. V této nádrži dochází k výrazné retenční funkci (60 %) a na odtoku z VN Vír se průměrné koncentrace P_{celk} pohybují pod limitem 0,05 mg/l, což je limit pro zamezení eutrofizace. Povodí nad VN Vír se tedy na stavu vod ve VN Brno podepisuje pouze minimálně.

V celém povodí VN Brno se ročně dostává do toků 41 tun P_{celk} , z toho necelých 30 tun pod VN Vír. Do VN Brno se pak každoročně dostává 29 tun P_{celk} s průměrnou koncentrací 0,110 mg/l.

Základním zdrojem P_{celk} jsou komunální zdroje, které se na zdrojích fosforu podílí 60 % (68 % ve vlastním povodí VN Brno). Plošné zdroje představují 17 % zdrojů. Koncentrace P_{celk} v plošných odtocích je nižší než 0,05 mg/l, a proto se nejedná o rizikový zdroj z pohledu eutrofizace. Významné jsou také nezjištěné (difúzní) zdroje. Jedná se o zdroje zjištěné látkovou bilancí z monitorovací sítě Povodí Moravy s.p., pro které nebyl určen konkrétní známý zdroj. V předmětném povodí se vyskytují tyto zdroje mezi městem Tišnov a VN Brno a představují 9 % celkových zdrojů. Zbývající zdroje (průmyslové zdroje, rybníky, hromadná rekreace) představují souhrnně necelé 4 % (zastoupení jednotlivých zdrojů P_{celk} je patrné z Grafu 1. a Tabulky 1).



Graf 1. Poměr jednotlivých kategorií zdrojů P_{celk} ve vlastním povodí VN Brno

Tabulka 1. Přehled zdrojů P_{celk} v povodí VN Brno

Kategorie zdrojů fosforu	kg P_{celk} za rok	% zdrojů P_{celk}
Komunální vypouštění	20 232	60%
– Vypouštění ČOV	8 369	25%
– Úniky na kanalizační síti	1 213	4%
– Individuální likvidace OV	10 481	31%
Průmysl	366	1,1%
Rybníky	726	2,1%
Plošné zdroje	5 730	17%
Difúzní zdroje	2 600	8%
Odtok z VN Vír	4 270	13%
Celkem	33 924	100%

Od roku 2011, ke kterému byl platný minulý jakostní model, proběhla na poli čištění odpadních vod v povodí celá řada významných akcí:

- přibýlo 16 nových ČOV
- na čistírny bylo nově napojeno 30 katastrálních území
- nově bylo na ČOV napojeno více než 14 tisíc obyvatel
- na 5 stávajících ČOV (k roku 2011) bylo instalováno zařízení na srážení fosforu
- plošné rozložení realizovaných akcí je z pohledu vlivu na VN Brno správné

Nově realizované akce měly za efekt snížení zdrojů P_{celk} v povodí o necelé 2 tuny – cca 6 % z celkových zdrojů.

V posledních letech jsme pozorovali výrazný úbytek látkového množství P_{celk} v ústí do VN Brno, který ale neodpovídal snížení zdrojů vlivem realizovaných akcí. V suchých letech 2015, 2016 a 2017 se ve velké míře projevuje retardační schopnost říční sítě. Fosfor se při nízkých průtocích ukládá v hyporeálu vodních toků a hrozí riziko, že při mimořádném průtoku dojde k jeho „propláchnutí“ a následnému odnosu až do VN Brno. Můžeme očekávat, že při hydrologicky „běžném“ roce se přísun do VN Brno výrazně zvýší (oproti suchým rokům).

Návrhy opatření

Jak bylo uvedeno, výše průměrného nátoků P_{celk} do VN Brno je ročně 29 tun. Pro zamezení eutrofizace je třeba toto množství snížit na 13,2 tuny. Snížit přísun fosforu do VN Brno o téměř 16 tun ročně je jistě nesnadný úkol. Proto jsme připravili sady návrhů opatření, které snižují zatížení říční sítě vypouštěným P_{celk} . V návrzích jsme se zaměřili na komunální zdroje a difúzní zdroje, kde je nejlepší potenciál dosáhnout změny.

- **Opatření na současných ČOV** – současné čistírny nepracují nejlepším možným způsobem a zvýšení jejich účinností skýtá velký prostor pro zlepšení stavu. Realizace scénářů, kdy by se maximalizovala účinnost odstraňování fosforu (až na úroveň 95 %), by snížila přísun P_{celk} do VN Brno o 7,3 tuny za rok, což reprezentuje zlepšení stavu o 26 %. Toto zvýšení účinnosti ale nemá oporu v současné legislativě [3] a proto záleží pouze na dobré vůli jednotlivých provozovatelů čistíren.
- **Investiční opatření** – investiční opatření reprezentují možnosti zlepšení při dalším napojování obyvatel na ČOV. Celkově lze snížit vypouštění P_{celk} výstavbou nových ČOV

o 5 tun ročně. Na všech nových čistírnách striktně navrhujeme také zařízení na srážení fosforu a počítáme s účinnostmi čištění P_{celk} na úrovni 70 – 80 %. Pokud by se čistírny ale provozovaly způsobem dnes běžným, efekt celkové výstavby by byl sotva poloviční (úbytek zdrojů pouze o 2,3 tuny ročně!).

- **Ostatní opatření** – byl simulován také dopad odstranění neznámého zdroje a maximalistický scénář, ve kterém byly veškeré komunální OV odváděny na ČOV a tam čistěny s účinností 95 %. Výsledkem by bylo snížení přísunu fosforu do VN Brno o 17 tun ročně, a koncentrace přitékajícího P_{celk} by poklesla na 0,046 mg/l, což je hodnota pod hranicí potřebnou k zastavení eutrofizace. Jedná se tedy o cílový stav, ke kterému je třeba postupně dojít.

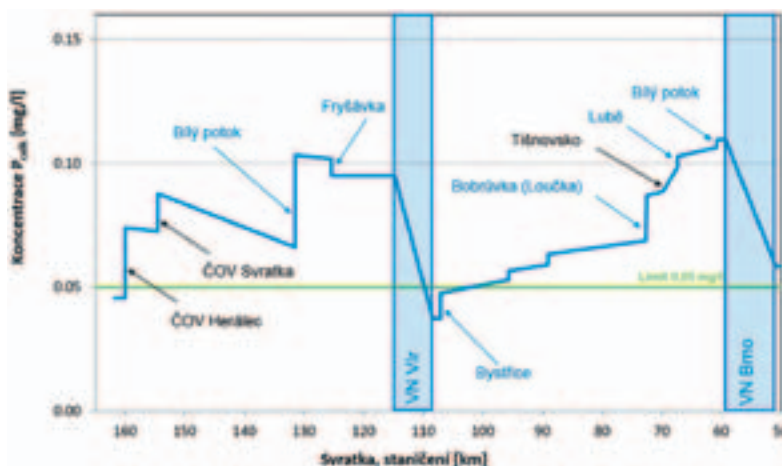
Závěr

Z výše uvedeného textu vyplývá, že je pro zlepšení stavu P_{celk} na nátok do VN Brno nezbytné významné zvýšení účinnosti odstraňování P_{celk} na komunálních čistírnách. Při stávajícím způsobu čištění se nedá očekávat zásadní posun v přísunu fosforu do nádrže. Zvýšení, které by bylo nutné pro zamezení eutrofizace vodních nádrží je dosažitelné současnými běžně užívanými technologiemi, ale není momentálně legislativně vymahatelné. Je proto třeba přijmout legislativní kroky zavazující provozovatele ČOV odstraňovat P_{celk} na čistírnách všech velikostí, případně formou zpoplatnění vypouštění P_{celk} je motivovat k maximální úrovni odstraňování fosforu.

Případná změna legislativy by pomohla jakosti vod nejen ve VN Brno, ale téměř na všech vodních nádržích ČR. Nadbytek P_{celk} v povrchových vodách je v současné době celostátní problém, který je jednou z nejčastějších příčin nedosažení dobrého stavu vodních útvarů.

Literatura

- [1] RYŠAVÝ a kol., *Jakostní model řeky Svatky nad VN Brno*, 2011 – Pöyry Environment a.s., Brno
- [2] HANÁK, RYŠAVÝ a kol., *Rozšíření a aktualizace jakostního modelu povodí VN Brno a opatření ke snížení živinové zátěže v povodí*, 2018 – AQUATIS a.s., Brno
- [3] NV č. 401/2015 Sb. „Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostí povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech“



Graf 2. Vývoj koncentrací P_{celk} v řece Svatce, současný stav

PESTICIDY VE ZDROJÍCH PITNÉ VODY A MOŽNOSTI JEJICH ODSTRANĚNÍ

Daniela Šíbllová, Renata Biela

*Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí,
Žižkova 17, 602 00 Brno, siblova.d@fce.vutbr.cz*

Abstrakt

Přítomnost pesticidů ve zdrojích pitné vody ovlivňuje nejen životní prostředí, ale také naše zdraví. Jedním z úpravářských procesů, který se používá pro odstranění pesticidů z vody, může být adsorpce. Pro laboratorní pokus, zabývající se odstraněním pesticidů ze surové vody byla použita sorpce na dvou vybraných sorbentech. Laboratorní experiment byl prováděn na Ústavu vodního hospodářství obcí na FAST VUT v Brně. Prvním sorbentem bylo aktivní uhlí Filtrasorb F100 a druhý sorbent Bayoxide E33 byl vybrán na základě příznivých výsledků při odstraňování kovů z vody. Cílem laboratorního experimentu bylo posoudit a porovnat zvolené sorpční materiály z hlediska jejich účinnosti odstraňování pesticidních látek u vybraného zdroje povrchové vody.

Klíčová slova: *pesticidy; úprava pitné vody; adsorpce; Filtrasorb F100; Bayoxide E33.*

Abstract

The presence of pesticides in drinking water sources affects not only the environment but also our health. One of the water treatment processes used to remove pesticides from water may be adsorption. For a laboratory experiment dealing with the removal of pesticides from raw water, sorption with two selected sorbents was used. Laboratory experiment was carried out at the Institute of Municipal Water Management at FCE VUT in Brno. The first sorbent was activated carbon Filtrasorb F100 and the second sorbent was selected on the basis of favorable results in removing metals from water. The aim of the laboratory experiment was to assess and compare selected sorption materials in terms of their effectiveness of removing pesticides in a selected surface water source.

Keywords: *pesticides; drinking water treatment; adsorption; Filtrasorb F100; Bayoxide E33.*

Úvod

Pesticidy jsou biocidní látky, které se používají na ochranu rostlin v zemědělství a lesnictví, proti houbám, plevelům a živočišným škůdcům. Vzhledem ke své nebezpečnosti je monitoring pesticidů žádoucí, i přestože je jejich stanovení ve vodách náročné. Povrchovým nebo podpovrchovým odtokem se dostávají do vodních toků, kde se vyskytují v koncentracích v rozmezí od koncentrací pod mezí stanovitelnosti až po koncentrace ve stovkách ng/l, nejčastěji však v jednotkách až desítkách ng/l. Některé pesticidy se ve vodách mohou vyskytovat jen sezónně. Ve vodách mohou

pesticidy podléhat chemickému, fotochemickému nebo biologickému rozkladu. [1] Pro laboratorní odstranění pesticidů z povrchové vody byla jako úpravářská technologie zvolena filtrace přes vybrané sorpční materiály.

Materiály a metody

Adsorpce a desorpce

Adsorpce je proces fázového přenosu, který je v praxi široce používán k odstranění látek z kapalných fází (plynů nebo kapalin). To lze také pozorovat jako přirozený proces v různých složkách životního prostředí. Vzhledem k tomu, že adsorpce je proces povrchový, je specifický povrch klíčovým parametrem kvality adsorbentů. Opakem adsorpce je desorpce. Důvodem vzniku desorpce může být vyčerpaná kapacita sorbentu, a také rozdílné vlastnosti sorbovaných polutantů. [3]

Vybrané adsorbenty

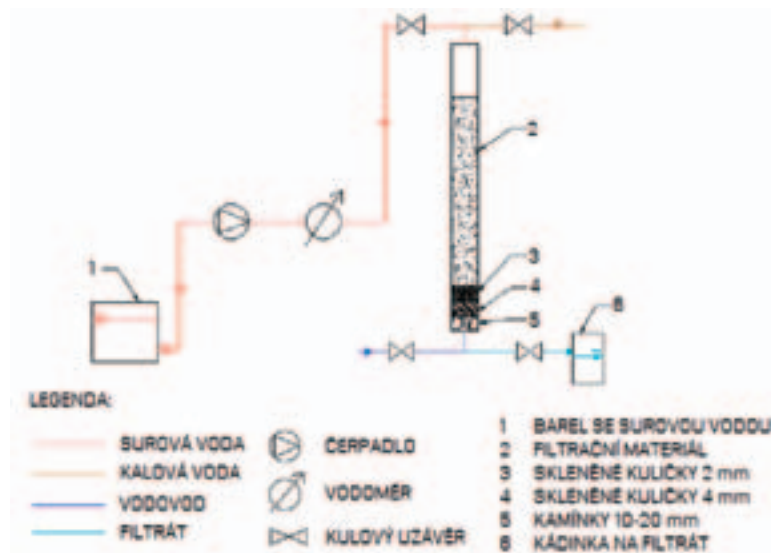
Granulované aktivní uhlí Filtrasorb F100 bylo vybráno dle svého rozsáhlého využití při úpravě pitné i užitkové vody. Vyrábí se z vybraných druhů černého uhlí aktivací vodní parou podle příslušných norem jakosti. Specifický povrch Filtrasorbu F100 je 900 m²/g. Aktivní uhlí je schopné odolat opotřebení, které je spojené s opakovaným proplachem, hydraulické přepravě a reaktivaci pro opětovné použití. [4]

Druhým adsorbentem bylo krystalické medium na bázi oxidů železa Bayoxide E33, který byl speciálně vyvinutý pro odstraňování arsenu z vody. Tento sorbent byl vybrán na základě kladných výsledků při odstraňování kovů z vody. Specifický povrch Bayoxidu E33 se pohybuje od 120 do 200 m²/g. Mezi výhody materiálu patří dlouhá životnost při nepřetržitém provozu, nízké investiční a provozní náklady a dlouhá životnost suchého média. [5]

Zdroj surové vody

Pro odběr surové vody byla vybrána řeka Svratka, která protéká Brnem a patří pod správu Povodí Moravy. Odběrné místo surové vody se nachází na toku pod Brněnskou přehradou. Brněnská přehrada, která byla vybudována v roce 1940, nesloužila pouze pro rekreaci, ale byla v minulosti také využívána jako zdroj pitné vody pro obyvatele města Brna. Zvýšený zájem o tuto rekreační oblast však způsobil i negativní dopady. Se stoupajícím znečištěním se ve vodě začal vyskytovat vodní květ, který svou schopností může uvolňovat toxiny nebezpečné pro lidské zdraví. [6]

Jedním ze zdrojů současného znečištění řeky Svratky mohou být i pesticidní látky. Pesticidy, aplikované na zemědělsky obdělávaných půdách v okolí řeky, se mohou při intenzivnějších srážkách dostat prostřednictvím půdního smyvu přímo do povrchové vody.



Obrázek 1. Schéma filtrační sestavy

Průběh odstraňování pesticidních látek z vody

Laboratorní experiment byl proveden v laboratoři na Ústavu vodního hospodářství obcí Fakulty stavební v Brně. Vzhledem k tomu, že koncentrace pesticidů nebylo možné v této laboratoři stanovit z důvodu složitosti analýzy, byly odebrané vzorky předány k vyhodnocení akreditované laboratoři. Z rozboru surové vody byly vybrány pesticidní látky, které se nacházely nad hranicí detekce. Filtrace probíhala ve dvou filtračních kolonách, ve kterých byla vytvořena drenážní vrstva z kamínků a skleněných kuliček zabráňující úniku sypkého sorpčního materiálu z obou kolon. Filtrační zařízení se skládalo z barelu, který byl naplněn surovou vodou, čerpadla, průtokoměru, potrubí s uzávěry a kádinek na filtrát. Před zahájením experimentu bylo provedeno zapracování adsorpčního materiálu v obou kolonách dle pokynu výrobce. Adsorpční náplň byla smáčena a následně vypraná opačným směrem než probíhala filtrace. Prací voda byla odváděna do kanalizace. V průběhu experimentu byly po filtraci přes jednotlivé sorpční materiály odebrány vzorky v různých časových intervalech. Během odebrání jednotlivých vzorků byly měřeny hodnoty pH, teploty a zákalu.

Výsledky a diskuse

Vyhodnocení naměřených koncentrací pesticidních látek po filtraci

Výsledné koncentrace byly porovnány s limitními hodnotami dle Vyhlášky č. 252/2004 Sb. v aktuálním znění a podle doporučení Ministerstva zdravotnictví ČR. Z naměřených hodnot vyplývá, že sorpční materiál Filtrasorb F100 snížil koncentrace většiny pesticidních látek na mez měřitelnosti, což je koncentrace, která se dá zvolenou analýzou ještě změřit. Koncentrace pesticidu metazachlor ESA se v průběhu filtrace postupně navýšila, což naznačuje proces desorpce.

Z naměřených hodnot po filtraci přes sorpční materiál Bayoxide E33 je vidět, že odstraňování nebylo zcela úspěšné. Pouze u dvou pesticidních látek (atrazin-2-hydroxy a terbuthylazin-desethyl-2-hydroxy) byla během filtrace koncentrace snížena na mez měřitelnosti. Při odstraňování ostatních pesticidních látek docházelo k desorpci, protože v některých případech byly výsledné koncentrace vyšší než v surové vodě.

Vyhodnocení naměřených hodnot pH, teploty a zákalu po filtraci

Měření pH a teploty bylo prováděno pomocí pH metru s teploměrem Adwa AD14. Hodnota pH při filtraci přes sorbent Filtrasorb F100 klesala, zatímco u sorbentu Bayoxide E33 po půl minutě klesla a potom se mírně zvyšovala. Teplota v surové vodě byla nižší než v odebraných vzorcích. Během filtrace se teplota mírně zvyšovala. Zákal byl měřen pomocí přenosného turbidimetru HACH 2100Q. Naměřené hodnoty v surové vodě byly vyšší než limit pro pitnou vodu, který udává Vyhláška 252/2004 Sb., a to 5 ZF. Oba sorpční materiály zákal snížily pod limitní hodnotu.

Závěr

Z experimentálního měření vyplývá, že sorbent Filtrasorb F100 byl při odstraňování pesticidů z povrchového zdroje vody účinnější než sorbent Bayoxide E33. Vzhledem k velkému specifickému povrchu aktivního uhlí byla filtrací přes tento materiál koncentrace téměř u všech pesticidních látek snížena na mez měřitelnosti. Přestože sorbent Bayoxide E33 spolehlivě odstraňuje kovy z vody, specifické polutanty, jako jsou pesticidy, z vody téměř neodstraní. Naopak u většiny pesticidních látek docházelo k desorpci. Dle provedeného experimentu hodnotíme aktivní uhlí Filtrasorb F100 jako vhodný sorbent pro odstraňování pesticidů z vody oproti sorbentu Bayoxide E33.

Výskyt pesticidů ve zdrojích pitné vody je stále aktuálním tématem, proto testování a vyvíjení nových úpravných technologií je na místě. Pesticidy a jiné mikroznečištění bychom měli řešit nejen ze zdravotního hlediska, ale i z hlediska ochrany životního prostředí.

Poděkování

Príspevek byl zpracován v rámci řešení grantového projektu specifického výzkumu VUT v Brně s názvem „Odstraňování mikropolutantů ze zdrojů pitné vody adsorpcí“ (FAST-S-18-5115).

Tabulka 1. Rozbory vody po filtraci přes adsorbent Filtrasorb F100

Název pesticidní látky	Limit	t [min]				
		0	0,5	1	2	4
	c [µg/l]	c [µg/l]				
alachlor ESA	1,0	0,035	0,020	0,020	0,020	0,020
atrazin-2-hydroxy	2,0	0,012	0,010	0,010	0,010	0,010
chloridazon-desfenyl	6,0	0,064	0,030	0,030	0,030	0,030
metazachlor ESA	5,0	0,133	0,020	0,041	0,048	0,056
metolachlor ESA	6,0	0,038	0,020	0,020	0,020	0,020
suma chloridazon-desfenylu a chlordazon-methyl desfenylu (M4)	6,0	0,064	0,050	0,050	0,050	0,050
terbuthylazin	0,1	0,056	0,010	0,010	0,010	0,010
terbuthylazin-desethyl	0,1	0,033	0,010	0,010	0,010	0,010
terbuthylazin-desethyl-2-hydroxy	0,1	0,011	0,010	0,010	0,010	0,010
terbuthylazin-hydroxy	0,1	0,052	0,010	0,010	0,010	0,010

Tabulka 2. Rozbory vody po filtraci přes adsorbent Bayoxide E33

Název pesticidní látky	Limit	t [min]				
		0	0,5	1	2	4
	c [µg/l]	c [µg/l]				
alachlor ESA	1,0	0,035	0,042	0,041	0,037	0,035
atrazin-2-hydroxy	2,0	0,012	0,010	0,010	0,010	0,010
chloridazon-desfenyl	6,0	0,064	0,071	0,066	0,074	0,065
metazachlor ESA	5,0	0,133	0,046	0,086	0,113	0,134
metolachlor ESA	6,0	0,038	0,024	0,031	0,035	0,039
suma chloridazon-desfenylu a chlordazon-methyl desfenylu (M4)	6,0	0,064	0,071	0,066	0,074	0,065
terbuthylazin	0,1	0,056	0,020	0,036	0,046	0,056
terbuthylazin-desethyl	0,1	0,033	0,013	0,023	0,028	0,031
terbuthylazin-desethyl-2-hydroxy	0,1	0,011	0,010	0,010	0,010	0,010
terbuthylazin-hydroxy	0,1	0,052	0,014	0,026	0,035	0,043

Tabulka 3. Výsledky naměřených hodnot pH, teploty a zákalu

Čas	Filtrasorb F100			Bayoxide E33		
	pH	Teplota	Zákal	pH	Teplota	Zákal
[min]	[-]	[°C]	[ZF]	[-]	[°C]	[ZF]
0	7,32	20,70	7,38	7,32	20,70	7,38
0,5	7,13	21,40	6,36	7,23	21,80	6,40
1	7,12	22,00	4,65	7,28	22,10	4,66
2	7,09	22,10	4,01	7,29	22,50	4,65
4	7,10	22,20	3,88	7,29	22,70	3,52

Literatura

- [1] PITTER, P. *Hydrochemie*. 5. vydání. Vydavatelství VŠCHT Praha, 2015. ISBN 978-80-7080-928-0.
- [2] WORCH, E. *Adsorption technology in water treatment: fundamentals, processes and modeling*. Boston: De Gruyter, 2012. ISBN 978-3-11-024022-1.
- [3] *FILTRASORB[®] 100*: Granulated Activated Carbon. Calgon Carbon Corporation, DS-FILTRA10015-EIN-E1, 2015. Propagační materiál výrobce.
- [4] *BAYOXIDE[®] E33*: Arsenic removal media. Severn trent services. 565.0200EU.2. 2005. Propagační materiál výrobce.
- [5] *Brněnská přehrada*. [online] 2009–2019 [cit. 2019-07-11] www.brnenskaprehrada.cz

EKONOMICKÉ ASPEKTY ZNOVUVYUŽITÍ ŽIVIN Z RYBNÍČNÍCH SEDIMENTŮ V MIKROPOVODÍ – PŘÍKLADOVÁ STUDIE RYBNÍK HORUSICKÝ

Jana Šulcová¹, Zdeňka Benedová¹, Marek Baxa¹, Lenka Kröpfelová¹,
Jan Pokorný¹, Jan Potužák², Jindřich Duras³

¹ ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň, tel. +420 724 154 829, sulcova@enki.cz

² Povodí Vltavy, státní podnik, Emila Pittera 1, 370 01 České Budějovice

³ Povodí Vltavy, státní podnik, Denisovo nábreží 14, 304 20 Plzeň

Abstrakt

V současné době jsou rybníky rychle zazemňovány (1–3 cm ročně). Za hlavní příčinu je aktuálně považováno nevhodné obhospodařování velkých půdních bloků. Důsledkem jsou silné erozní procesy zejména v zemědělsky obhospodařované krajině.

Odbahnění rybníků je finančně náročná záležitost. Rybníční bahno je však bohatým zdrojem minerálních i organických látek, které je možné znovu využít a šetřit náklady například na kupované minerální hnojivo a kompenzovat tak náklady vzniklé při odbahnění. Neméně podstatným přínosem odbahnění je snížení živinové zátěže povrchových vod pocházející především z antropogenní činnosti v povodí.

Naše data naznačují, že až 90 % rybníčních sedimentů vyhoví platné legislativě a vytěžený materiál může být znovu využit.

Klíčová slova: rybníční sediment; živiny; ekonomické aspekty.

Abstract

At present, ponds are quickly land-filled (1–3 cm per year). Inadequate management of large soil blocks is considered to be the main cause. This results in strong erosion processes, especially in the agricultural landscape.

Mud removal from ponds is a costly matter; however the mud is a rich source of mineral and organic matter, which can be re-used and thus save costs, for example, on purchased mineral fertilizer and compensate for the mud dredging. No less significant benefit of mud removal is the reduction of the nutrient load of surface waters, which comes mainly from anthropogenic activity in the river basin.

Based on our analyzed data, it was found that up to 90% of pond sediments comply with applicable legislation, therefore the extracted material can be reused.

Keywords: pond sediment; nutrients; economic aspects.

Úvod

Odbahnění rybníků je finančně náročná záležitost. Náklady na odtěžení 1 m³ se pohybují řádově kolem 200 Kč. Přesnější údaje nelze vyčíslit, neboť náklady se odvíjí od celkové situace na lokalitě, stavu rybníka a hospodaření na něm, výsledků analýz, druhu použité technologie odbahnění, nákladů vzniklých při uskladnění na deponii, dalších nákladů při manipulaci se sedimentem a nákladů na aplikaci nebo likvidaci odtěženého materiálu. Odbahnění tzv. mechanickým odtěžením za sucha může být levnější oproti využití technologie odtěžení sacím bagrem s integrovanou stanicí pro dávkování flokulantu a geotextilními vaky, ovšem výhodou je vysoká kapacita vaků a minimální nároky na prostor [1]. Manipulace s takto upraveným sedimentem je méně časově a prostorově náročná.

Přínosem odbahnění rybníka je ochrana vod jako složky životního prostředí před znečištěním nerozpuštěnými látkami a na ně vázaných živin, zejména pak fosforu, převážně při výloveh rybníků (snížení znečištění z nebudových zdrojů). Použití výše uvedené technologie zvyšuje celkovou účinnost využití primárních zdrojů tj. využití těch minerálních a organických látek, používaných v zemědělství, které se i přes jejich efektivní používání dostanou do povrchových vod a způsobují živinovou zátěž, eutrofizaci se všemi důsledky.

Důležitým ekonomickým aspektem využití sedimentů na ZPF je ušetření nákladů na zakoupení minerálních hnojiv zemědělskými podniky, které mohou snížit celkový objem aplikovaných minerálních hnojiv a optimalizovat jejich využití. Aplikací sedimentu nelze zcela nahradit hnojení plodin minerálními hnojivy. Kulturní plodiny vyžadují velké množství okamžitě dostupných živin v různých fenologických fázích během vegetace. Rybníční sediment obsahuje velké množství vázaných živin a pouze malé procento živin je pro rostliny přímo dostupné. Živiny se uvolňují do půdního roztoku mineralizací postupně během několika let. Přínosem rybníčního sedimentu je především úprava půdních vlastností, zvýšení podílu organické hmoty a množství zásobních živin v půdním horizontu [2].

Materiál a metody

Pro realizaci komplexního pokusu zaměřeného na recyklaci živin z rybníčních sedimentů byl zvolen rybník Horusický (415 ha) ležící u Veselí nad Lužnicí. Na rybníce Horusický je před výlovem, tedy každým druhým rokem, prováděno odbahnění loviště s použitím sacího bagru. Zhruba 2–4 tis. m³ sedimentu je vždy

Tabulka 1. Obsah celkových a využitelných živin v upraveném sedimentu z geotextilních vaků odebraných těsně před aplikací na zemědělskou půdu a vnos látek přítomných v sedimentu na 1 ha zemědělské půdy (vak A+B – sediment s přidavkem dolomitického vápence 0,1%, vak C – sediment bez přidavku dolomitického vápence)

Parametr	Sediment		Celkový obsah ve vaku		Vnos na ha zemědělské půdy	
	Vak A + B	Vak C	Vak A + B	Vak C	Vak A + B	Vak C
	[kg]		[kg]		[kg ha ⁻¹]	
TP	1 900	2 000	28	15	467	485
P využitelný	7,4	5,9	0,1	<0,1	1,8	1,4
TN	10 000	10 000	147	73	2456	2 427
N-NH ₄	44	50	0,6	0,4	11	12
Ca	17 000	12 000	251	87	4175	2 912
Ca využitelný	12 000	10 000	177	73	2947	2 427
Mg	3 600	3 300	53	24	884	801
Mg využitelný	820	540	12	4	201	131
K	5 500	5 100	81	37	1351	1 238
K využitelný	360	320	5	2	88	78

Tabulka 2. Tabulka hodnot/ceny prvků aplikovaných ve formě sedimentu na pole v roce 2015

Prvek	Obsah prvku	Celková cena prvku (900m ²)	Celková cena prvku (1ha)
	(%) sušiny	(Kč)	(Kč)
N	1,00	4 045	44 944
P	0,19	1 806	20 067
Ca	1,7	1 998	22 200
Mg	0,36	705	7 833
K	0,55	2 056	22 844
celkem		10 610	111 889

přečerpáno do rozsáhlých lagun v katastru rybníka, kde je sediment skladován a odvozněn. V rámci řešení projektu TAČR byl sediment z loviště čerpán přes flokulační stanici do geotextilních vaků, kde byl měsíc uložen z důvodu jeho řádného odvoznění. Do vaků A, B byl dávkován sediment s přidavkem dolomitického vápence o koncentraci 0,1 %, do vaku C byl dávkován sediment bez přidavku vápence. Pro stanovení sušiny a množství celkových a rozpuštěných živin v sedimentu byly z geotextilních vaků odebrány směsné vzorky pomocí komorového vzorkovače s křídlem (Ejkelkamp).

V rámci agrotechnického pokusu byly na poli vytyčeny dvě pokusné plochy (300 a 600 m²), na které byl vytěžený sediment aplikován a zapraven do půdy. Výška vrstvy aplikovaného sedimentu byla vypočtena na 6 cm.

Výsledky a diskuze

Pro hodnocení ekonomického přínosu aplikovaného sedimentu bylo použito srovnání tržních cen chemických prvků v nejčastěji používaných minerálních hnojivech a jejich množství v aplikační dávce sedimentu. Celkem bylo aplikováno 54m³ sedimentu z jednotlivých vaků. Před aplikací byly provedeny analýzy sedimentu ve vacích a vypočítán vnos živin na pole. V tabulce 1 je uveden přepočet vnosu těchto živin na 1 ha zem. půdy.

Výpočet tržní ceny u jednotlivých prvků uvádíme na příkladu fosforu. Při kalkulaci jsme vycházeli z ceny za 1kg superfosfátu

Ca(H₂PO₄)₂ CaSO₄, jako běžně používaného hnojiva. Relativní molekulová hmotnost sloučeniny činí 370 z toho P je 62, což odpovídá přibližně 17% obsahu fosforu ve sloučenině. Cena superfosfátu v roce 2016 činila 7,51 Kč bez DPH za 1 kg. Z toho vyplývá přepočet:

$$\frac{7,51 \times 100}{17} \approx 44 \text{ Kč za 1 kg P}$$

Takto se provedl výpočet u všech ostatních prvků s cenami hnojiv za kalendářní roky 2015 až 2017.

Hodnota/cena živin aplikovaných na pole ve formě rybníčního sedimentu: z ceny hlavních hnojiv (bez DPH) jsme vypočítali cenu 1kg hlavního prvku (živiny). Například, cena 1kg močoviny byla v letech 2015, 2016, 2017: 9,48Kč, 7,92 Kč, 7,10 Kč a tomu odpovídala cena 1kg N: 19,64 Kč, 16,41 Kč, 14,71 Kč.

Hodnota/cena jednotlivých prvků, které byly aplikovány na pole ve formě sedimentu, se vypočítává z celkového obsahu prvku v sedimentu (% v sušině), jak byl stanoven chemickým rozbořem, ceny prvku v daném roce a z množství aplikovaného sedimentu (sušina). K výpočtu slouží kontingenční tabulka.

Příklad výpočtu: V roce 2015 byla cena N v močovíně 19,64 Kč za 1kg. Na pole se aplikovalo celkem 54 m³ sedimentu. Objemová hmotnost byla přepočtena pomocí hustoty 1,315g.cm⁻³ a sušina sedimentu činila přibližně 29 %. Celkem tedy bylo aplikováno 20,59 tun sušiny, přičemž obsah TN činil 1%. Ziskáváme přibližně 0,206 t TN x 19,64 Kč = 4045 Kč. Tolik by stál dusík v případě použití průmyslového hnojiva (v tomto případě močovina).

V tabulce 2 jsou vyčísleny ceny jednotlivých živin dodaných na pole v sedimentu při aplikaci na podzim 2015. Na obě pokusná políčka 300 a 600 m² byly dodány živiny v celkové ceně 10 610 Kč. Přepočteno na 1 ha je to přibližně 111 900 Kč.

V rámci agrotechnického pokusu byly sledovány výnosy plo-
din (triticale, pšenice) během dvou vegetačních sezón. Následně
byl proveden výpočet ceny jednotlivých prvků dle výnosu na po-
kusných plochách pomocí normativů odběru živin podle [3]
a promítnuto do ceny hnojiv. V roce 2016 byly z pole odvezeny
v hlavním (zrno) a vedlejším produktu (sláma) živiny v hodnotě
5,5 tisíce Kč/ha a v roce následujícím necelých 4,5 tisíce Kč/ha.

Závěr

Obecně se ukázalo, že s aplikovaným sedimentem dodáme
do půdy relativně hodně celkového fosforu, který však není z vel-
ké části bezprostředně využitelný pro růst rostlin. Fosfor se bude
uvolňovat postupně, což je z hlediska přímého vymývání do vod
(eutrofizace) dobré zjištění. V průběhu vegetační sezóny může
docházet vlivem bakteriální aktivity a dalších mineralizačních
procesů ke změně ve formách fosforu, a tím ke zvýšení jeho
dostupnosti pro rostliny.

Při aplikaci jsme dodali na pozemek 54 m³ sedimentu (dle plat-
né legislativy) a v něm základní živiny (N, P, Ca, Mg, K) v hodnotě
10 610 Kč. Budeme-li počítat náklady na odtěžení 1 m³ sedimentu
200,- Kč vyjde nám pro aplikované množství cena 10 800 Kč.

Domníváme se, že v porovnání s průmyslově vyráběnými
hnojivy je hnojení rybníčními sedimenty investicí do budouc-
na – výsledný pozitivní efekt na úrodnost a následnou produkci
se projeví až v následujících několika letech po aplikaci. V ze-
mědělské krajině na úrovni definovaného povodí jde o bezpeč-
nou recyklaci živin pocházejících většinou z polí a zemědělské
výroby. Intenzivnější využití sedimentů ztěžuje administrativní
náročnost, nemalé náklady na analýzy nebo striktně daný deseti-
letý interval mezi aplikacemi. Otazníkem je, kdo by měl aplikaci
na ZPF platit. Zda rybáři zemědělcům nebo naopak. Tato otázka
ukazuje na nedořešenost praktické zodpovědnosti hospodařících
subjektů v krajině.

Využití sedimentů by mohlo být dobrým příkladem cirkulární
ekonomiky.

Poděkování

Výsledky uvedené v tomto příspěvku byly financovány projek-
tem TAČR (TA04020123): Technologický postup recyklace živin
z rybníčních sedimentů s využitím sacího bagru, integrované sta-
nice pro dávkování flokulantu a geotextilních vaků pro lokální
aplikaci v mikropovodí.

Literatura/References

- [1] BAXA Marek, Iva BAXOVÁ CHMELOVÁ, Zdeňka BENEDOVÁ,
Jindra DURAS, Radek HRUBEC, Lenka KRÖPFELOVÁ, Ondra
NOVOTNÝ, Jan POKORNÝ, Jan POTUŽÁK, Tomáš SVOBODA
a Jana ŠULCOVÁ. (2017) Technologický postup recyklace živin
z rybníčních sedimentů s využitím sacího bagru, integrované sta-
nice pro dávkování flokulantu a geotextilních vaků pro lokální aplika-
ci v mikropovodí, ENKI, o.p.s., Třeboň.
- [2] GERGEL, Jiří, Ladislav KOLÁŘ, Vilém ŠEDIVÝ, Jan HŮDA, 2002.
Rybníční sedimenty, geneze, posuzování, odstraňování a další na-
kládání s nimi. Příloha k výzkumné zprávě projektu VaV6304/02,
MSM:J06/98:1222200002, 44 s
- [3] KLÍR, Jan, Eva KUNZOVÁ a Pavel ČERMÁK. 2008. Rámcová meto-
dika výživy rostlin a hnojení. Vyd. 2. Praha: Výzkumný ústav rost-
linné výroby. ISBN 978-80-87011-61-4.



VÁŠ PARTNER PRO PROJEKTY VE VODNÍM HOSPODÁŘSTVÍ



MVE na rieke Váh, Podtureň – Liptovský Ján



VD Šance - stav po rekonstrukci



NABÍZÍME VÁM, SVÝM KLIENTŮM KOMPLEXNÍ PORADENSTVÍ A PROJEKČNÍ ŘEŠENÍ V OBORU VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OD STUDIÍ A GENERELŮ AŽ PO REALIZAČNÍ DOKUMENTACI STAVEB. SAMOZŘEJMOSTÍ JE PRO NÁS CITLIVÝ EKOLOGICKÝ PŘÍSTUP A DŮRAZ NA TRVALOU VYUŽITELNOST VODNÍCH ZDROJŮ. MYSLÍME NA ZÁSOBOVÁNÍ VODOU PRO BUDOUCÍ GENERACE.

ÚSTŘEDÍ:

Brno Botanická 834/56, 602 00 Brno
tel.: +420 541 554 111
fax: +420 541 211 205
e-mail: info@aquatis.cz

www.aquatis.cz

POBOČKY:

Praha: Třebohostická 14, 100 31 Praha 10

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

AQUATIS Balkans d.o.o. : Vladimira Gačinovića 2
11 040 Beograd, Srbija
tel.: (+381) 114 230 720

GEOtest



Foto: Geotechnický průzkum pro ověření možnosti vybudování štětové stěny v řece Svatce pro stavbu I/42 Brno, VMO Žabovřeská, I-II. etapa



 hawido

 ÖZKAN

 hawle

 SINCE 1932
Nova Siria®

 KRAMMER

HAWLE. **MADE FOR GENERATIONS.**





Umění spolupráce

Kvalita, přesnost a důslednost v každém detailu.

Společná koordinovaná práce lidí desítek oborů a profesí.

Schopnost řešit náročná zadání a odvaha hledat nová řešení.

Je tohle umění? Možná ne. Jen to dobře umíme.

www.metrostav.cz

metr©stav

VD Koryčany – rekonstrukce vodního díla

Popis díla: Rekonstrukce bezpečnostního přelivu včetně skluzu a vývaru
rekonstrukce odpadního koryta s přemostěním
těsnění hráze injekční clonou
oprava koruny hráze

Finanční objem: 96,4 mil. Kč bez DPH

Investor: Povodí Moravy, s.p.

Dodavatel: TALPA-RPF, s.r.o.
a Rovina, a.s.



talpa-rpf[®]


ROVINA
stavební

REKONSTRUKCE VODNÍHO DÍLA OPATOVICE

Rekonstrukce vodárenské vodní nádrže Opatovice (březen 2017 – květen 2019) umožní bezpečné převedení transformované desetitisícileté povodně a bezpečné užívání tohoto vodního zdroje pro zásobování obyvatelstva v následujícím období.



Rekonstrukce měla za účel zajistit bezpečnost VD na bezpečné převedení nejen návrhové, ale i kontrolní povodňové vlny (NPV $Q_{1\ 000}$, KPV $Q_{10\ 000}$), a spočívala zejména v:

- přetěsnění koruny hráze (navýšení těsnícího prvku) dosypáním těsnícího jádra a jeho těsným napojením na nový vlnolam s masivním základem,
- zkapacitnění objektů na převedení povodní: bezpečnostního přelivu vč. spadiště, průtočného profilu pod přemostěním skluzu, skluzu a vývaru,
- dosypání přítěžovací lavice na vzdušném líci a patě (zvýšení stability hráze).

Po rekonstrukci se sníží kulminační průtok přehradním profilem:

- $Q_{1\ 000}$ z 65,9 na 56,4 m³/s (za kulminační hladiny 334,21 m n.m.)
- $Q_{10\ 000}$ z 133,2 na 103,5 m³/s (za kulminační hladiny 335,00 m n.m.)



Rozsáhlá rekonstrukce byla mimo jiné náročná také tím, že původní dochovaná dokumentace k vodnímu dílu neodpovídala skutečnosti, a to především v provedení původního založení na skalní podloží jednotlivých objektů.

Rekonstrukce si vyžádala náklady ve výši 103 mil. Kč, z toho výše poskytnuté dotace MZe činila 74 mil. Kč. Vodárenská nádrž Opatovice byla postavena v 70. letech na řece Malá Haná a je významným zdrojem vody, který po úpravě zásobuje přibližně 42 000 obyvatel Vyškovska pitnou vodou.

REKONSTRUKCE VODNÍHO DÍLA VRANOV



Rekonstrukci hráze vodního díla Vranov (říjen 2016 – březen 2019) si vyžádal nevyhovující technický stav koruny hráze a především přemostění přelivů, kde vlivem nefunkční izolace pod vozovkou docházelo k dlouhodobému zatékání do mostní

konstrukce, odmrzáni betonů na spodní straně, odhalování a korozi ocelové výztuže. Toto vedlo k postupnému snižování nosnosti mostní konstrukce. Tento nevyhovující stav vyžadoval celkovou rekonstrukci koruny vodního díla.

Stavební úpravy byly rozděleny celkem do šesti objektů a zahrnovaly zejména kompletní rekonstrukci koruny hráze včetně přemostění přelivů, mostních opěr, mostních závěrů i dosavadního zábradlí na obou stranách hráze. Opravou prošly betonové plochy pod jeřábovou dráhou i osvětlení na koruně. V průběhu prací došlo také k odstranění a zpětnému položení vozovky včetně izolace. Koruna hráze získala nové osvětlovací stožáry a nové prefabrikované zábradlí.

Realizací stavby je zajištěno bezpečné převedení povodně $Q_{10\,000}$.

Vodní nádrž Vranov patří k hlavním vodním dílům ve správě Povodí Moravy, s. p. Jeho hlavním účelem je zajišťování pitné vody pro část Vysočiny a Znojemska. Vedle toho slouží také pro rekreační účely. Z tohoto důvodu naplánovalo Povodí Moravy, s. p. rekonstrukci tak, aby zasáhla pouze dvě letní rekreační sezóny (sezónu 2017 a 2018). Po celou dobu rekonstrukce byla hráz zcela uzavřena a náhradní dopravu pro pěší a turisty zajišťoval přívoz.

Rekonstrukce si vyžádala náklady ve výši 63 mil. Kč, z toho výše poskytnuté dotace MZe činila 44 mil. Kč.



BAŤŮV KANÁL

ZAJIŠŤUJEME SPRÁVU VODNÍCH CEST NA MORAVĚ



„Vodní tok Moravy od ústí vodního toku Bečvy po soutok s vodním tokem Dyje, včetně průplavu Otrokovice – Rohatec (Baťův kanál)“ představuje multifunkční koridor, který byl zbudován jako závlahový a plavební, dnes je ceněný pro svůj turistický přínos. Využití Baťova kanálu zaznamenává rok od roku vzrůstající tendenci.

Povodí Moravy, s.p. zajišťuje veškerou správu a provoz Baťova kanálu, který

- má délku 53,8 km,
- má výškový rozdíl počátku a konce plavební cesty 18,2 m,
- má 13 plavebních komor,
- vede z poloviny korytem řeky Moravy
- a z poloviny umělým plavebním kanálem.



Povodí Moravy, s. p.
Dřevařská 11, 602 00 Brno
www.pmo.cz

