



VODOHOSPODÁŘSKÁ KONFERENCE
VODNÍ NÁDRŽE 2022
26.-27. ŘÍJNA 2022

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 životního prostředí

jihomoravský kraj



Partneři



Odborní partneři



Ostatní státní podniky Povodí



Vydavatel

Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno
1. vydání, 174 stran

Editor

Ing. Jana Kučerová a kolektiv

Citace

KUČEROVÁ, Jana et al., eds. *Vodní nádrže 2022*.
Brno: Povodí Moravy, s.p., 2022. ISBN 978-80-907141-6-8.

Grafická úprava

Tiskárna Jinačovice

Za jazykovou úpravu a obsah příspěvků zodpovídají autoři.

ISBN 978-80-907141-6-8



POVODÍ MORAVY, S.P.

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:

- 10 820 km vodních toků (z toho 3 754 km významných vodních toků)
- 1 082 km ochranných hrází
- 29 významných vodních nádrží
- 133 malých vodních nádrží
- 174 jezů a 96 stupňů
- 13 plavebních komor
- 15 malých vodních elektráren

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.



Realizuje protipovodňová opatření
Upravené koryto řeky Moravy v Olomouci



Spravuje vodní cesty
Bařův kanál



Spolupracuje na mezinárodních projektech
Přírodě blízká protipovodňová opatření v soutokové oblasti Moravy a Dýle

**Pečujeme o vodní zdroje –
– chráníme naši budoucnost**



Provádí speciální geodetickou činnost



Vybavuje jazy bezpečnostními
prvky a varovnými cedulemi



Provozuje komerční rybolov
rybarstvi.pmo.cz



Pořádá konference s mezinárodní účastí
Konference Vodní nádrže



Disponuje akreditovanou vodohospodářskou
laboratoří

Povodí Moravy, s.p.

Vodohospodářské laboratoře



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:
<http://www.pmo.cz/cz/cinnost/vodohospodarske-laboratore>*

OBSAH

Vodní dílo Vlachovice - komplexní přístup k přípravě záměru Prokop Galatík	Použití vícekritériálního hodnocení při výběru varianty vodního díla Skalička Miroslav Brouček, Josef Hejzlar, Jaromír Říha, Ladislav Satrapa1.....	7	65
Radosti a starosti na vodní nádrži Rozkoš Petr Ferbar, Jakub Medek, Luděk Rederer	Povodňová ochrana území pod vltavskou kaskádou při stavbě doplnkového bezpečnostního přelivu Karel Březina, Tomáš Kendík	12	70
Hydrogeologické extrémy počas doterajšej prevádzky VS Vodárenská nádrž Bukovec Dušan Mydla, Aleš Mazáč	Vodná stavba Ružiná, oprava objektov Pavol Gábor, Tomáš Ič.....	17	74
Posouzení zásobního objemu nádrže Vranov na aktualizovaná vstupní data Daniel Marton, David Jílek	Vodná stavba Králová, stabilizácia koryta pod stupňom Ján Kováč, Jozef Kemenský.....	22	81
Optimalizace odtokového režimu ve VN Římov z hlediska vodárenského odběru Josef Hejzlar, Jiří Jarošík, Ma. Cristina Paule-Mercado, Petr Porca	Poruchy malých vodních nádrží - příčiny, následky a návrh opatření Stanislav Žatecký	26	84
Dopady klimatické změny na zajištění odběrů vody z vodárenských nádrží Adam Vizina a Petr Vyskoč	VN Kuchyňa - návrh rekonštrukcie vodnej stavby Albert Kőszeghy, Iveta Simanová	32	88
Koncept vodohospodářského řešení vybraných nádrží z generelu LAPV v povodí Dyje pro hodnocení adaptačních opatření proti dopadům klimatických změn Stanislav Kotaška, Jaromír Říha, Evžen Zeman, Milan Fischer, Miroslav Trnka	Historický vývoj zanášení horní nádrže Vodního díla Nové Mlýny Zbyněk Zachoval	36	92
Ekonomický potenciál rekreačního využití vodohospodářské soustavy Vltavské kaskády v podmínkách klimatické změny Kateřina Mácová, Vojtěch Havlíček, Martin Heřmanovský, Pavel Fošumpaur, Karel Březina, Martin Hanel, Martin Horský, Tomáš Kašpar, Vojtěch Sýs	Vybrané legislativní ukazatele sedimentů (PAU) vs legislativou nastavené limity Jana Šulcová, Marek Baxa, Petr Hanzlík, Iva Baxová Chmelová, Jan Potužák	41	96
Hodnotenie možného vplyvu klimatickej zmeny na vodnej nádrži Domaša počas suchých rokov v období pozorovania Jana Poórová, Katarína Melová, Lubica Lovássová, Lotta Blaškovičová, Katarína Jeneiová, Marija Mihaela Labat	Posouzení podílu sedimentů na eutrofizaci nádrží a možnosti nápravných opatření – představení projektu Jakub Borovec, Jiří Jan, Josef Krása, Barbora Jáchymová	49	100
Simulace ovlivnění režimu odtoků z nádrží v povodí Dyje vlivem klimatických scénářů Pavel Tachecí, Milan Fischer, Jana Bernsteinová, Evžen Zeman, Petr Štěpánek, Marek Maťa, Zdeněk Hošek, Magdalena Komárek, Miroslav Trnka	Osud fosforu z komunálních zdrojů na příkladu povodí VN Švihov Daniel Fiala	56	104
Opatření ke zlepšení podmínek předmětu ochrany Přírodní rezervace Věstonická nádrž a Ptáci oblasti Střední nádrží VD Nové Mlýny a vodohospodářské funkce soustavy David Fína, Antonín Tůma, Marek Viskot	VD Brno – vyhodnocení opatření k obnově rovnováhy kvality vody Antonín Tůma	59	109
	Úloha rybníků při snižování dotace fosforu do vodního díla Orlík Filip Čejka, Stanislav Ryšavý		113
	Živinové parametry rybníčních sedimentů Radovan Kopp, Barbora Musilová, Marija Radojičić, Lenka Vaňková, Jan Grmela		118
	Rybník Rožmberk – látková bilance a kvalita vody Jan Potužák, Aneta Mondeková, Jindřich Duras, Michal Marcel		123

Fosfor, eutrofizace vod – technické možnosti a současný přístup k řešení	
Jan Foller a kolektiv	128
Modelování erozních zdrojů znečištění fosforem v povodí Labe	
Barbora Jáchymová, Pavel Rosendorf, Josef Krása, Miroslav Bauer, Jülie Winterová, Tomáš Dostál	133
Obsah železa a kvalita organických látek jako faktor určující stabilizaci uhlíku a koloběh živin ve sladkovodních systémech	
Bana O.-A. Osafo, Jiří Jan, Petr Porcal, Jakub Borovec	136
Transport látek v povodí retenční nádrže Němčice	
Jana Konečná, Petr Karásek, Tatána Halešová, Eva Nováková, Michal Pochop	141
Možnosti využití sedimentů pro ochranu břehů a podporu rozvoje litorálu	
Jaroslav Vrzák, Jakub Borovec	145
Odlovy nežádoucích druhů ryb z přehradních nádrží – možnosti, efektivnost a ekonomické zhodnocení	
Tomáš Jůza, Petr Blabolil, Martin Čech, Vladislav Drašík, Michaela Holubová, Jan Hůda, Luboš Kočvara, Tomáš Kolařík, Milan Muška, Jiří Peterka, Marie Prchalová, Milan Říha, Zuzana Sajdlová, Michal Tušer, Mojmír Vašek, Lukáš Vejřík, Jan Kubečka	148
Bisfenoly v povodí VN švihov na Želivce	
Marek Liška, Magdaléna Balejová, Tereza Rutová a Jakub Dobiáš	154
VN Kamenička - vývoj oživení fytoplanktonem v závislosti na provozních manipulacích	
Emil Janeček	160

VD VLACHOVICE – KOMPLEXNÍ PŘÍSTUP K PŘÍPRAVĚ ZÁMĚRU

Prokop Galatík

Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno, tel. +420 541 637 111, galatik@pmo.cz

Abstrakt

Rozloha celého Zlínského kraje činí 3964 km². Vybudováním nového vodního zdroje, kterým se má stát vodní dílo Vlachovice, je z hlediska zásobování vodou možné hovořit o propojení nejvýznamnějších vodárenských soustav v celém Zlínském kraji, které pokrývají území zahrnující přes 2200 km².

Ačkoli připravovaná stavba vodárenské nádrže Vlachovice má být umístěna na ploše přibližně 3,50 km² (kdy plocha zátopy při maximální hladině tvoří pouze 2,04 km²) při přípravě záměru je nutné zaměřit se na širší zájmové území. V bezprostředním okolí toto zahrnuje především plochu celého povodí nádrže, které spolu s povodími nad převody vody má rozlohu více než 60 km². Cílem, je navrhnout vhodné umístění nového vodního díla do území a zajistit jeho dlouhodobé fungování v souladu se stávajícím využitím území včetně jeho ochrany. Komplexní přístup k přípravě VDV spočívá v přípravě území a opatření pro zlepšení a stabilizaci kvality vody na přítocích do nádrže. Jde zejména o realizaci systému sběru a čištění odpadních vod z obcí v povodí, ale také přírodě blízká a další opatření.

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

Abstract

The area of the entire Zlín region is 3964 km². Is possible to talk about the connection of the most important waterworks systems in the entire Zlín region, which are spread over an area of over 2200 km², by creating new water source – Vlachovice reservoir.

Although the planned construction site of the Vlachovice water reservoir should be located on an area of approximately 3,50 km² (while the area at the maximum level of water is only 2,04 km²), it is necessary to focus on a wider area of interest, considering the project emplacement. In the immediate vicinity, this mainly includes the area of the entire basin of the reservoir, which, together with basins above water transfers, represents an area of over 60 km². The goal is to design a suitable location of the new water reservoir in the environment and ensure its long-term compliance with the existing usage of the area, including its protection. A complex approach to the preparation of the VDV consists in the preparation of the territory and actions to improve and stabilize the water quality at the inflows to the reservoir. It is mainly about the implementation of a system for the collection and treatment of wastewater from municipalities in the basin and other actions.

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

Úvod

Povodí Moravy připravuje vodní dílo Vlachovice jako víceúčelovou nádrž. Vedle hlavní funkce, tedy dodávky vody, bude vodní dílo zajišťovat ochranu před povodněmi a přispívat ke zlepšení ekologického stavu v řece Vlárě nadlepšováním průtoků v období sucha.

Vodní dílo Vlachovice bude mít celkový objem přes 29 mil. m³. Dodávky vody a nadlepšování průtoků ve Vlárě v období sucha vodní dílo zabezpečí díky zásobnímu prostoru o objemu 23 mil. m³. Retenčním prostorem o objemu téměř 4 mil. m³ ochrání vodní dílo za povodní životy a zdraví obyvatel níže po toku. Zbývajících 2 mil. m³ bude tvořit objem stálého nadržení.

Aktivita v území v souvislosti s výstavbou VD Vlachovice jako víceúčelové nádrže s hlavním účelem vodárenským jsou pojímány jako komplexní soubor staveb a opatření, které společně zajistí předpokládané funkce vodního díla v koexistenci s existujícími sídly a s územím a zajistí rovněž vhodné začlenění záměru do krajiny a přírodního prostředí.

Nejedná se 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.

Vedle souboru staveb a opatření bezprostředně souvisejících s vodním dílem existuje i řada dalších obecně prospěšných a rozvojových aktivit, jejichž příprava byla s přípravou VD Vlachovice urychlena a jsou sledovány a podporovány současně s vodním dílem.

Záměr je členěn na 11 celků, jejichž sestava je navržena s uvažováním jejich funkcí, očekávaných postupů jejich přípravy a možného financování.

Dokončení předprojektové přípravy

Předprojektová příprava a její postup byl zásadně ovlivněn průběhem průzkumných prací, které představovaly klíčový podklad zejména pro koncepční řešení hráze. Inženýrsko-geologický průzkum (GEOtest, a.s., 2020), který byl podkladem pro zpracování podrobné technické studie, byl zhotovitelem průzkumu vyhodnocen a předán v dubnu 2020.

Dílní části částí technické studie byly průběžně dokončovány a předávány. Soubor technických studií – předprojektová příprava (AQUATIS a.s., 2020) byl zhotovitelem kompletně předán na konci října 2020.

Dokončení předprojektové přípravy bylo významným milníkem v přípravě výstavby vodárenské nádrže Vlachovice. V přípravném období byla zajištěna řada nových vstupních podkladů jako hydrologická data, biologické průzkumy, geodetické zaměření a úvodní etapa inženýrsko-geologického průzkumu. Byl zpracován soubor technických studií zahrnující prověření koncepce technického řešení, výpočtové a modelové práce, analýzy a posudky, které jsou zásadní pro návrh funkčního a bezpečného vodního díla, jeho hráze a funkčních objektů, ale i souvisejících a doprovodných opatření, včetně vyvolaných staveb a investic. Pro investora, kterým je na základě vládního usnesení Povodí Moravy, s.p., představovalo dokončení předprojektové přípra-

vy celou řadu nových a rozšířených informací pro rozhodování o dalším postupu v projektové přípravě s ohledem na požadavky na bezpečnost a technickou proveditelnost výstavby. Tato hlubší znalost je předpokladem pro dosažení hlavního účelu vodního díla, kterým je zajištění spolehlivého zdroje povrchové vody pro zásobování obyvatel pitnou vodou.

Studie kvality vody v povodí nad VN Vlachovice

Úkolem řešeným v předmětné studii (AQUATIS, a.s., 2020) byla komplexní analýza území připravované vodárenské nádrže Vlachovice s posouzením jakosti vody v kontextu její využitelnosti pro vodárenské účely. Za tímto účelem byl proveden detailní rozbor zdrojového povodí s identifikací případných rizik pro budoucí nádrž.

Připravované VD Vlachovice bude napájeno třemi hlavními přítoky, a to Vlárrou, Benčicí a Tichovským potokem. Pro zvýšení objemu přítoků do nádrže se počítá také s převody vody ze sousedních povodí (z vodních toků Sviborka a Smolinka). Při průzkumu a rozboru povodí byl stejný důraz kladen na hlavní povodí i na povodí převodů. Součástí průzkumných prací byl podrobný monitoring, dotazníkové šetření a místní terénní šetření.

V průběhu celého roku 2018 byla provedena monitorovací kampaň, kdy byly vytipované profily rozděleny do 3 úrovní významnosti a podle toho na nich byla prováděna analýza v různé frekvenci a rozsahu rozborů. Dále byl proveden podrobný průzkum bodových zdrojů znečištění, kdy pro tyto komunální zdroje, průmyslové zdroje a staré ekologické zátěže byla provedena dotazníková šetření, podrobné terénní pochůzky a další zjišťování potřebných informací pro vyčíslení velikosti jednotlivých zdrojů znečištění. Pro plošné zdroje znečištění bylo nutné zajistit průzkum plošných zdrojů znečištění, ve kterém byl podrobně rozebrán způsob zemědělského hospodaření v zájmovém území.

Na základě rozsáhlého monitoringu a průzkumů území bylo konstatováno, že při zachování současných podmínek by budoucí vodní nádrž trpěla projevy výrazné eutrofizace. Příčinou tohoto stavu je nadměrné množství fosforu a jeho reakčních složek v přítocích do budoucí nádrže. Zvýšené zatížení vodních toků fosforem je způsobeno emisemi odpadních vod z bodových zdrojů znečištění, předně pak komunálními zdroji. Byl stanoven akceptovatelný přísun celkového fosforu do nádrže.

Získané informace pak byly využity při sestavování matematického modelu jakosti, pomocí něhož byl posuzován současný stav povodí a prokazována účinnost navrhovaných opatření.

Na základě získaných informací byla provedena prognóza vývoje jakosti vody v budoucí nádrži a určena rizika, která mohou hrozit při provozu vodního díla Vlachovce. Následně byla navržena optimální opatření, která případná rizika eliminují.

Studie tedy obsahuje soubor opatření potřebných k docílení požadované jakosti vod, a to v několika variantních řešeních, umožňující výběr nejvhodnější varianty. Součástí popisu jednotlivých opatření byla také ekonomická analýza porovnávající investiční a provozní náklady jednotlivých scénářů.

Byly navrženy tři základní varianty návrhů opatření, přičemž varianty 1 a 2 mají další tři podvarianty:

1. Varianta - návrh převedení vyčištěných vod mimo povodí
 - a) vypouštění OV v obci Vlachovice
 - b) vypouštění OV nad obcí Mirošov – pod převodem do VN Vlachovice
 - c) vypouštění OV v obci Újezd – v jižní části

2. Varianta - návrh převedení znečištěných odpadních vod mimo povodí
 - a) odvedení OV na ČOV Vrbětice (Vlachovice)
 - b) odvedení OV na ČOV Valašské Klobouky
 - c) odvedení OV na ČOV Újezd – JIH
3. Varianta - návrh účinného čištění odpadních vod v místních ČOV

Tyto návrhy byly projednávány se zástupci místních samospráv, provozovateli stávajících systému odkanalizování v lokalitě a zástupci Zlínského kraje.

Autoři studie uvádí, že pro dosažení požadovaného stavu jakosti vody na přítocích do VD Vlachovice je třeba razantně snížit vstupy fosforu do vodního prostředí. Požadované snížení vypouštěného fosforu nelze docílit běžnými technologiemi používanými v současných ČOV velikostí 500–2000 EO, proto byla navržena variantní řešení odvodu odpadních vod mimo zdrojové povodí vodárenské nádrže. Zároveň je třeba, aby odkanalizování jednotlivých sídelních útvarů bylo řešeno oddílnými kanalizačními systémy. Odlehčené odpadní vody by pro vodárenskou nádrž představovaly vysoké riziko.

Důležitou informací ze závěru studie je zjištění, že v povodí VD Vlachovice je velmi nízká míra plošného znečištění. Lze tedy očekávat, že při odvedení odpadních vod z bodových zdrojů mimo povodí VD Vlachovice bude pro budoucí vodní nádrž zajištěna kvalitní voda, jejíž stav bude dlouhodobě udržitelný a může tak sloužit jako cenný zdroj pitné vody v daném regionu. Předpokladem je, že toto opatření může být realizováno nezávisle na výstavbě Vodního díla Vlachovice, optimálně v předstihu. Součástí předmětné studie byl i návrh ochranných pásem vodního zdroje.

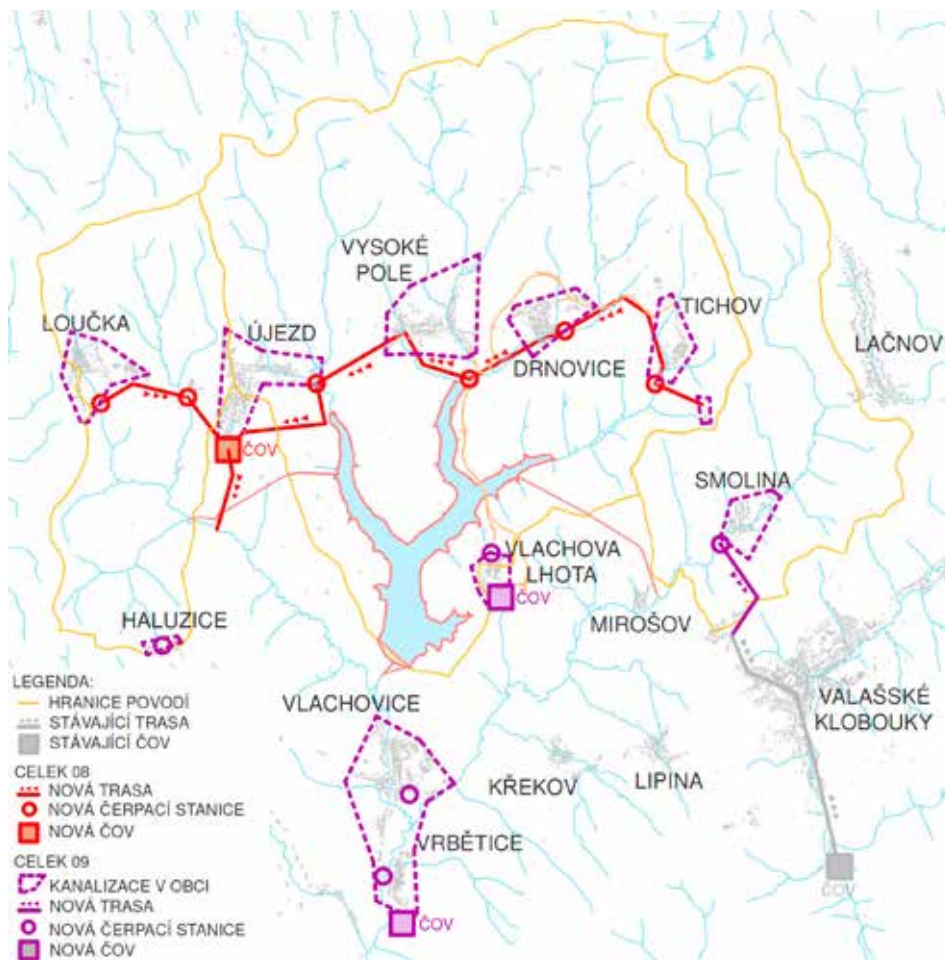
Řešení s nakládáním s odpadní vodou v povodí VD Vlachovice

Aby byly splněny přísné požadavky na kvalitu vody ve vodárenské nádrži a její využívání v dlouhodobém horizontu, je třeba taková opatření, aby obce v povodí nádrže měly vyřešené nakládání s odpadní vodou a bylo zajištěno její čištění. Ve smyslu doporučení a návrhu ze studie kvality vody (AQUATIS a.s., 2020) se jedná o ucelené řešení sběru odpadních vod a jejich čištění na nově zřízených čistírnách odpadních vod. V jednotlivých obcích v povodí nádrže dojde dle místních podmínek také k vybudování oddílné kanalizace.

Celkový přehled rozsahu kanalizace je uveden na následujícím obrázku č. 1, kde jsou schematicky červeně vyznačeny objekty a kanalizace zařazené do Celku 08 - Odvedení a čištění splaškových odpadních vod a fialově objekty, kanalizace a řešené plochy odkanalizování řešené v rámci Celku 09 - Kanalizační síť v obcích.

Celk 08 řeší odvedení splaškových odpadních vod z obcí Tichov, Drnovice, Vysoké Pole a Loučka do nové centrální ČOV Újezd – Jih, kde bude napojena také obec Újezd. Kapacita nové centrální ČOV Újezd – Jih bude cca 3630 EO.

Vyčištěné OV budou z ČOV vedeny odtokovým potrubím a zaústěny do Sviborky pod odběrným místem převodu vody do Vodního díla Vlachovice. Toto řešení bylo zvoleno s ohledem na charakter toku v blízkosti ČOV. Potok pramení nedaleko nad ČOV a objem vypouštěné vyčištěné odpadní vody by po většinu roku převažoval nad běžným průtokem v toku.



Obrázek 1. Schéma řešení nakládání s OV Celk 08 a Celk 09

Na Celk 08 navazuje splašková kanalizace v jednotlivých výše popsaných obcích, která je řešena v rámci Celku 09. Celk 09 řeší kanalizace v obcích Tichov, Drnovice, Vysoké Pole, Loučka, Újezd vždy specificky podle potřeb dané obce zjištěných na základě pasportizace kanalizace, kterou nechalo zpracovat Povodí Moravy, s.p. za finanční podpory Zlínského kraje (AQUATIS a.s., 2019).

Součástí Celku 09 je také řešení splaškové a dešťové kanalizace v obci Vlachovice včetně místní části Vrbětice, kde bude pro tuto lokalitu vybudována nová ČOV pro 1500 EQ. Obdobně bude řešena obec Vlachova Lhota s novou ČOV pro 250 EQ. Oddělení splaškových vod od dešťových a jejich odvedení bude řešeno rovněž ve Smolině a v části obci Haluzice, které patří do povodí VD Vlachovice. V obou případech budou splaškové vody odváděny mimo lokalitu, kdy ve Smolině budou přečerpávány do ČOV Valašské Klobouky.

PRVK ZK

V loňském roce byla ze strany Povodí Moravy, s.p. ve spolupráci s dotčenými obcemi a Zlínským krajem zajištěna, projednána a schválena aktualizace Plánu rozvoje vodovodů a kanalizací pro část vodovody a část kanalizace. Díky tomu je navržena koncepce zásobování vodou a likvidace odpadních vod v souladu s platným PRVK.

Aktualizace č. 3

Zásad územního rozvoje Zlínského kraje

Z hlediska možného dotčení širšího zájmového území je nutné záměr VD Vlachovice posoudit z pohledu koncepce v procesu SEA. Ve spolupráci se Zlínským krajem byl připraven návrh aktualizace č. 3 Zásad územního rozvoje Zlínského kraje (A3ZÚR ZK). Jedná se o plnění úkolu daného vládním usnesením. A3ZÚR ZK spočívá v doplnění vodního díla Vlachovice včetně dalších nezbytných ploch a koridorů pro stavby a doprovodná technická a přírodní blízká opatření k omezení nedostatku vody, zásobování obyvatel pitnou vodou, ke snížení povodňových rizik a optimalizaci vodního režimu území v povodí řeky Vlárky včetně ploch a koridorů pro umístění související veřejné infrastruktury do Zásad územního rozvoje Zlínského kraje. Povodí Moravy, s.p. zadalo zpracování Vyhodnocení vlivů Aktualizace č. 3 Zásad územního rozvoje Zlínského kraje na udržitelný rozvoj území, součástí kterého je vyhodnocení vlivu záměru na udržitelný rozvoj území, a také posouzení vlivu na soustavu Natura.

V rámci podrobné analýzy byla do navrhovaného textu stanoviska SEA formulována řada projektových opatření. Tato opatření se váží k přípravě VD Vlachovice a lze je považovat za doporučená pro následný proces EIA. V reakci na tato opatření směřující k minimalizaci vlivů VD Vlachovice na životní prostředí, která byla projednána s MŽP a AOPK ČR, Povodí Moravy, s.p. již do navazující projektové přípravy začlenilo požadavek na zpracování některých dílčích studií.

Jedná se například o studii hlukového zatížení, studii nakládání s ornici ve smyslu doporučení vyplývajících z výše popsaní studie kvality vody, sledování a vyhodnocování splaveninového režimu či studii migračního zprostupnění na tocích ovlivněných vodním dílem a další.

Přírodě blízká opatření

Příprava přírodě blízkých opatření vychází ze schválené studie (AQUATIS a.s., 2018). Jako první pro zahájení projektové přípravy byla vybrána opatření vodohospodářského charakteru (MVN, revitalizace toků, přehrážky apod.) v povodí nad VD Vlachovice. Na základě průzkumných prací byla navržena konkrétní opatření v jednotlivých lokalitách. Aktuálně probíhá jejich projednávání s vlastníky dotčených pozemků v rámci majetkoprávního vypořádání.



Obrázek 2. Pohled z podhrází na pravé zavázání hráze a koryto Vlary pod vodním dílem.

Projektová příprava

Aktuálně probíhá výběr zhotovitele na vypracování projektové dokumentace pro ucelené řešení sběru odpadních vod a jejich čištění na nově zřízených čistírnách odpadních vod v obcích okolo vodního díla dle koncepce popsané výše. Projekt zajišťuje Povodí Moravy, s.p., realizaci bude mít na starost nově založený svazek obcí.

Ve spolupráci s Ministerstvem zemědělství Povodí Moravy, s.p., připravilo podklady pro zadávací řízení na zhotovitele dokumentace pro povolení záměru vodárenské nádrže Vlachovice, které bylo zahájeno na koci roku 2021. V květnu byl na základě tohoto zadávacího řízení vybrán zhotovitel projektové dokumentace a po potvrzení ze strany MZe začal 30.7.2022 pracovat na zakázce. Součástí je také rozsáhlý inženýrsko-geologický průzkum, geodetické zaměření a celá řada studií.

Podle smlouvy by mělo být v příštím roce podáno oznámení záměru EIA a v prvním kvartále 2025 by měla být podána žádost o povolení záměru na stavební úřad.

Závěr

Povodí Moravy, s.p. přistupuje k přípravě VD Vlachovice komplexně, aby už před zahájením jeho výstavby bylo okolní prostředí a krajina připraveny k jeho realizaci. Jen tak mohou být jeho funkce a účel naplňovány co možná nejlépe a po co nejdelší dobu. Veškeré podněty pro zlepšení místních podmínek jsou zodpovědně zapracovávány do přípravných prací.

Na základě provedených analýz a doporučení formulovaných ve studii kvality vody je zřejmé, že pro zajištění účelu vodárenské nádrže je nutné provést odkanalizování obcí v povodí VD Vlachovice a dále je nutné provést skryvku a sanace zátopy nádrže. Od roku 2020 až do roku 2023 probíhá majetkoprávní vypořádání s vlastníky pozemků dotčených výstavbou VD Vlachovice. Pro sdělování aktuálních informací široké veřejnosti o přípravě VD Vlachovice využívá Povodí Moravy webové stránky <http://vdlachovice.pmo.cz/>. Je zde k zhlédnutí také videoprezentace „Vodní dílo Vlachovice – voda pro Zlínský kraj”.

Literatura

- [1] Povodí Moravy, s.p., VD VLACHOVICE home page, [on-line], <http://vdlachovice.pmo.cz/>, 2022. (Webové stránky).
- [2] Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území, 2011.
- [3] AQUATIS a.s., Vlára - VD Vlachovice, Studie proveditelnosti, 2015.
- [4] AQUATIS a.s., Vlára, Vodní dílo Vlachovice – předprojektová příprava, studie přírodně blízkých opatření v povodí Vlára, 2018.
- [5] AQUATIS a.s., Vlára, Vodní dílo Vlachovice a související opatření – stokové sítě v obcích – pořízení podkladové dokumentace (pasportizace), 2019.
- [6] GEOTest, a.s., Vlára, Vodní dílo Vlachovice - předprojektová příprava, IG průzkum, 2020.
- [7] AQUATIS a.s., Vlára, VD Vlachovice – předprojektová příprava, technické řešení, 2020.
- [8] AQUATIS a.s., Vlára, Vodní dílo Vlachovice a související opatření - Hodnocení dle § 67 zákona č. 114/1992 Sb., 2020.
- [9] AQUATIS a.s., Vlára, Vodní dílo Vlachovice, předprojektová příprava – vyhledávací studie tras přeložek inženýrských sítí, 2021.
- [10] ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů, Vlára, Vodní dílo Vlachovice – Logistická studie přepravy materiálu, 2021.
- [11] VRV a.s., Vlára, Vodní dílo Vlachovice, související veřejná infrastruktura, aktualizace Plánu rozvoje vodovodů a kanalizací Zlínského kraje, část kanalizace, 2021.
- [12] Ekopontis, s.r.o., Vlára, Vodní dílo Vlachovice, Vyhodnocení vlivů Aktualizace č. 3 Zásad územního rozvoje Zlínského kraje na udržitelný rozvoj území, 2021.

RADOSTI A STAROSTI NA VODNÍ NÁDRŽI ROZKOŠ

Petr Ferbar, Jakub Medek, Luděk Rederer

*Povodí Labe, státní podnik, Víta Nejedlého 951/8, 500 03 Hradec Králové,
tel. +420 495 088 667, redererl@pla.cz*

Abstrakt

Vodní nádrž Rozkoš je největší nádrž ve východních Čechách. I když je postavena na toku Rozkoš, tak hlavním zdrojem vody je řeka Úpa, se kterou ji spojuje 2,3 km dlouhý přivaděč. Jedná se o víceúčelovou vodní nádrž. Mezi její hlavní funkce náleží ochrana před povodněmi a kompenzace průtokových poměrů na Labi v Opatovickém uzlu. Má ještě další funkce jako například rekreaci, vodní sporty a zejména sportovní rybářství. V průběhu času se zde vytvořilo také významné hnízdiště vodních ptáků. Multifunkční charakter nádrže přináší i různorodé požadavky na provoz nádrže. Ty jsou však často vzájemně nekompatibilní a někdy i ve střetu. Na druhou stranu představuje vodní nádrž Rozkoš nejen výrazný fenomén podhůří Krkonoš, ale je to především disponibilní zásobárna vody, se stále ještě nevyužitým rozvojovým potenciálem.

Klíčová slova: VN Rozkoš; boční intervenční nádrž; multifunkční charakter; jakost vody.

Abstract

The Rozkoš water reservoir is the largest reservoir in Eastern Bohemia. Although it is built on the Rozkoš stream, the main source of water is the Úpa river. The reservoir is connected with river by a 2.3 km long water canal. The Rozkoš is a multi-purpose water reservoir. Its main functions include flood protection and compensation of flow conditions on the Elbe in the Opatovice junction. It has other functions such as recreation, water sports and especially sport fishing. Over time, an important nesting ground for waterfowl has also developed here. The multifunctional character of the reservoir also creates different requirements for the management of it. However, they are often mutually incompatible and sometimes they are even in conflict. On the other hand, the Rozkoš water reservoir is not only a distinctive phenomenon of the Krkonoše foothills, but it is primarily a disposable water reservoir with still untapped development potential.

Keywords: WR Rozkoš; side intervention tank; multifunctional character; water quality.

VD Rozkoš – základní údaje

Hydrologické číslo povodí (Úpa – jez Zlích)	1 – 01 – 02 – 051
Plocha povodí (Úpa – jez Zlích)	415,37 km ²
Dlouhodobý roční průtok (Qa)	6,38 m ³ /s

Celkový objem obou částí ode dna po kótu 282,60 m n. m. – 76,33 mil. m³.

Úvod

V malebném kraji pod Krkonošemi a Orlickými horami nelze u České Skalice přehlédnout zrcadlo hladiny vodní nádrže Rozkoš. První myšlenky o výstavbě velkého vodního díla v tomto kraji se rodily právě před sto lety. A k úplnému naplnění těchto úvah nakonec došlo jeho výstavbou v letech 1965–1972. Po uvedení do provozu v roce 1976 již slouží více jak čtyřicet pět let.

Je to dílo technicky obdivuhodné s řadou nejmodernějších prvků doby, ve které vznikalo a do vinku získalo celou řadu funkcí, které by mělo plnit. Slouží jako ochrana před povodněmi i jako velká zásobárna vody, plní funkci rekreační, je oblíbeným cílem vodních sportovců všech směrů, jedná se o vyhlášený ráj rybářů, slouží také produkčnímu rybářství a v neposlední řadě se jedná o regionálně významné hnízdiště racka chechtavého a důležité shromaždiště řady vodních ptáků při jejich pravidelných migračních letech. Má také energetický význam.

A nelze vyloučit, že s naplněním některých budoucích suchých scénářů, se při zvýšení provozní hladiny stane nejdůležitějším stabilizačním prvkem vodních poměrů na horním Labi a zcela nelze pominout ani možné vodárenské využití. Dokonce jsou k dispozici úvahy o veřejné lodní dopravě.

Multifunkční charakter nádrže však má také svá úskalí, která správci vodního díla přináší i značné starosti. V tomto směru by bylo možné se například zmínit o bouřlivě se vyvíjející rekreaci s jen obtížně udržitelnou koncepcí. Nebo o stálém boji s břehovou abrazí, kterou je ohroženo cca 7 až 8 km pobřeží. Také tzv. Rovenská hráz rozděluje vodní nádrž do dvou sektorů je stálým zdrojem technických problémů. Ono totiž zajistit stabilitu tělesa s pojízdnou korunou, sevřeného z obou stran a v zimě zamrzající vodní masou, není opravdu jednoduché. Podrobněji by se však následující text měl především věnovat dalšímu, možná donedávna trochu opomíjenému aspektu, kterým je jakost vody v nádrži.

Přítok

Již samo plnění nádrže je poněkud nekonvenční, neboť přirozené přítoky Rozkošského a Rovenského potoka jsou bilančně velmi slabé a k naplnění požadovaného prostoru by zcela jistě nestačily. Proto je nádrž plněna zejména přivaděčem z řeky Úpy, která pramení v Krkonoších. Tím se stalo vodní dílo Rozkoš do jisté míry boční nádrží závislou na manipulaci s přítokem. Jestli u rybníků býval obtok využíván k přepouštění vody s nežádoucí kvalitou mimo objem nádrže, tak zde je tomu vzhledem k funkcím nádrže přesně naopak. Protože je nutné pod odběrným místem v profilu Úpa – jez Zlích zachovávat nezbytný průtok, lze nádrž Rozkoš plnit v létě (květen–srpen) průtoky nad 4 m³/s a v zimě (září–duben) nad 2,3 m³/s. To je nepochybně správné a zřejmě jediné řešení, ale v důsledku takové manipulace je nádrž velmi často plněna vodou se zhoršenou či případně špatnou jakostí.

V průběhu let 2012–2013 správa nádrže instalovala ve strojovně na jezu Zlích automatický vzorkovač, kterým se pokusila kvantitativně vyhodnotit vzestup látkové bilance během víceméně standardních epizod plnění nádrže zvýšenými průtoky. Mimo jiné uvádíme výsledky dvou epizod. Během té letní v červenci s maximálním přítokem necelých 16 m³/s se přítok celkového fosforu z průměr-

ných 30 kg/0,5 dne zvýšil přibližně patnáctkrát na 452 kg/0,5 dne. Během zimní epizody s maximálním přítokem necelých 18 m³/s se oproti průměru přísun celkového fosforu zvednul 4,7 krát na 140 kg/0,5 dne. V ukazateli nerozpuštěné látky jsou bilanční vzestupy ještě vyšší. Oproti průměru 2,2 tuny/0,5 dne se tato bilance v létě zvýšila 520 krát (1143 tun/0,5 dne) a v zimě téměř čtyřicetinásobně (85 tun/0,5 dne).

Jak výše uvedeno je vodní dílo Rozkoš rozděleno Rovenskou hrází s bezpečnostním přelivem na dvě části. Menší je ta severní část, do které ústí také Úpský přivaděč. Pouze pro představu uvádíme, že objem celého retenčního prostoru nádrže je 19,8 mil. m³ (v zimě 26,8 mil. m³). Z toho zásobní prostor severní nádrže představuje pouze 29 % a v zimě 18,2 % celého retenčního prostoru. Také hloubky jsou na severu více než dvojnásobně menší než tomu je na jihu. Důsledkem takové konfigurace je situace, že na severu se vytvořil zádržový systém, který chrání jižní část před důsledky epizodního napouštění vodou zhoršené kvality. Na severní části se však takové postavení v systému projevuje jednak výrazným usazováním sedimentu, a jednak je zde zadržován transport nutrientů (především fosforu), který společně s malými hloubkami vody vytváří příznivé podmínky pro rozvoj zelených řas a sinic. V původním záměru byl prostor severní nádrže určen především k rekreaci, neboť se počítalo s velkými poklesy hladiny v jižní

části a severní část díky Rovenské hrázi měla mít stabilní hladinu. Bohužel se naplnily obavy krajského hygienika, který v roce 1967 vydal nesouhlasné stanovisko s rekreačním využitím tehdy budoucí nádrže Rozkoš. Praktickým naplněním poznání skutečné funkce tohoto prostoru pro jakost vody, byl podnět správce nádrže a následné rozhodnutí hlavního hygienika v roce 2018, kterým bylo zrušeno tzv. evropské koupací místo na severní nádrži a náhradou bylo ustaveno nové koupací místo na jižním pobřeží. To již mnohem lépe odpovídá požadavkům na jakost vody pro koupání osob, a to i přesto, že v suchých letech zde opravdu k poklesům hladiny dochází.

Ještě větší obtíže však přináší postupné zaplňování severního prostoru vodního díla Rozkoše desítkami tisíc kubických metrů sedimentu. I když, je zpracován projekt k obnově tohoto prostoru, stále se hledá efektivní způsob jak naložit s tak velkým množstvím materiálu.

Na druhou stranu bez látkové retence na severu by asi dlouhodobě nebyla na jihu udržitelná velmi příznivá průhlednost 200–300 cm s maximy až do pěti metrů. Kvalitativní rozdíly mezi oběma nádržními prostory jsou zřetelné snad na všech leteckých fotografiích (Obrázek 1).

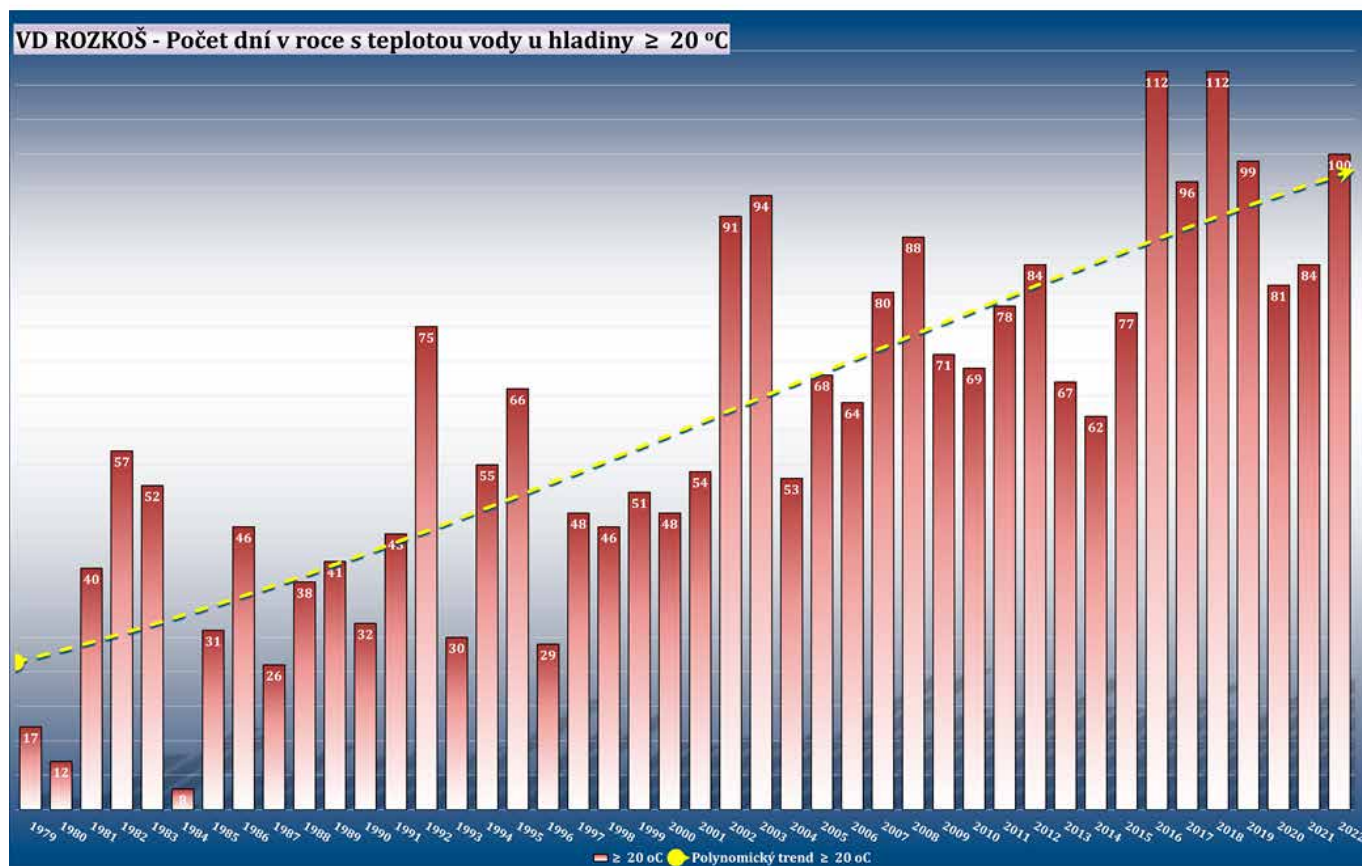


Obrázek 1. Letecký snímek VD Rozkoš; jedno vodní dílo - dvě nádrže

Nádrž

Na samotné nádrži se provádí průběžný monitoring jakosti vody již dvacet sedm roků na devíti vertikálách zvolených v prostoru nádrže. Tři jsou na severní části a zbytek na jižní. I když se tento monitoring omezil pouze na období jaro – podzim (zimní monitoring z ledu byl prováděn pouze příležitostně), je možné konstatovat, že takto dosažené výsledky představují dobrý podklad k popisu chování za standardních hydrologických situací. K utváření jakosti vody velkou měrou přispívá již zmíněný faktor

Rovenské hráze a potažmo jakost vody v Úpě. To není však jediný fenomén. Určitý vliv má stále vypouštění odpadních, byť čistěných, vod z velké obce Provodov – Šonov (cca 1000 EO) do Rozkošského potoka. I když existují projekty řešící napojení nejdůležitějších obcí severovýchodního pobřeží na čistírnu v Novém Městě nad Metují, realizace se stále nedaří. Lze předpokládat, že také velký tlak rekreace i sportovního rybářství znamená značný přísun živin. A v neposlední řadě k lepší kvalitě nepřispívá ani vzestup letních teplot v posledních letech (Obrázek 2).

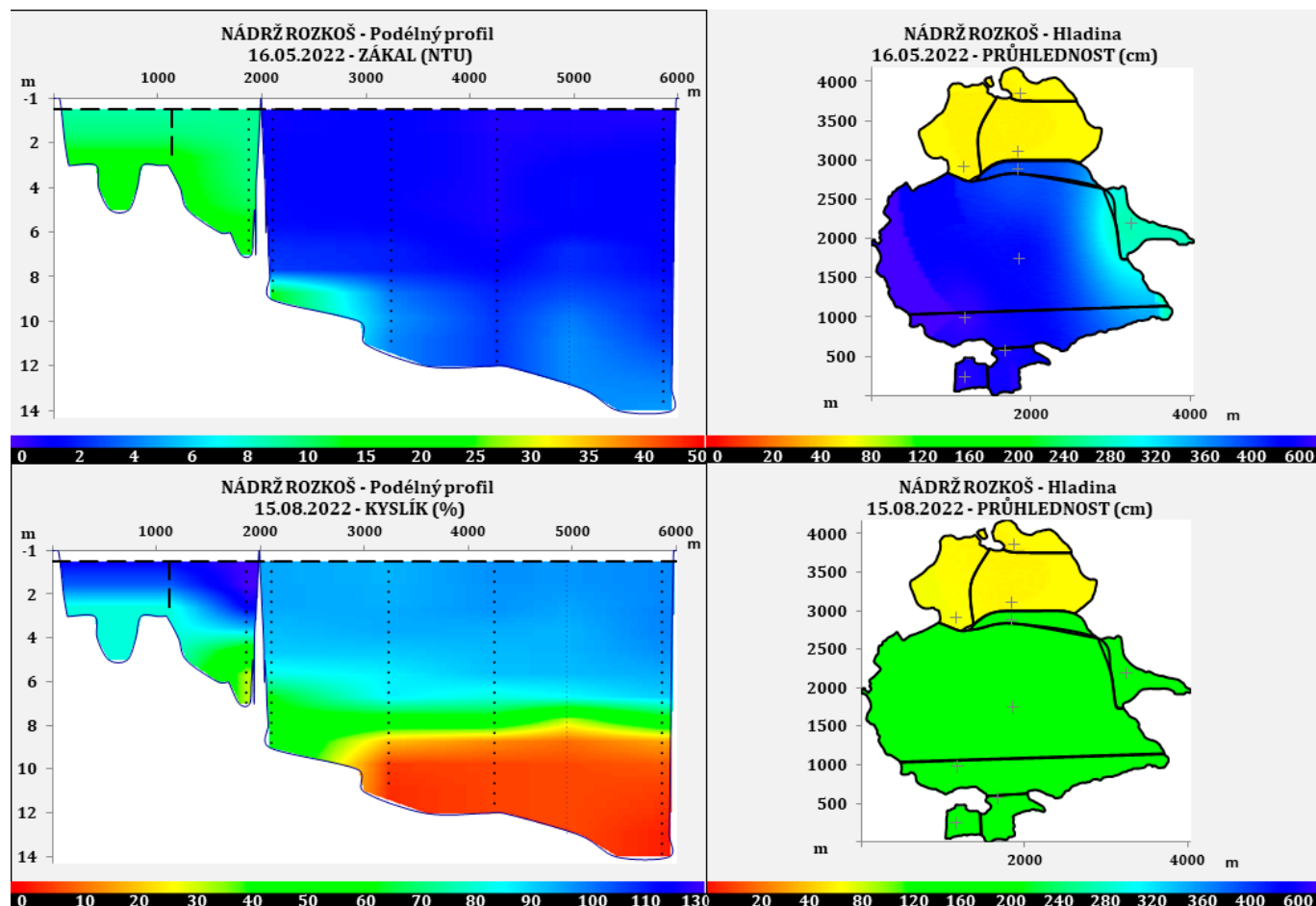


Obrázek 2. Stoupající počet dnů s teplotami vodní hladiny nad 20 °C v průběhu čtyřiceti čtyř roků

Koupající se veřejností je nejvíce sledován parametr průhlednost. Ten v zásadě rozhoduje o atraktivitě lokality. Na severu to v létě příliš vábné skutečně není. K průhlednosti do 100 cm (častěji spíš do 50 cm) se přidávají i senzorické závady. Na jižní části je situace příznivější. Průhlednost kolem dvou metrů se obvykle drží až do konce srpna.

Podobně tomu je i s rozvojem autotrofních organizmů. Na severu s dostatkem dobře dostupných živin se koncentrace chlorofylu-a často pohybují v relacích 40–60 mikrogramů/l a koncentrace s hodnotou 100 µg/l je velmi častá. Dle OECD se tedy již jedná o pomezí eutrofie a hypertrofie. V jižní části jsou obvyklé hodnoty do 20 µg/l a v maximech se zjišťují hodnoty kolem 30 µg/l. Zde také záleží na tom, do jaké míry spolu oba sektory nádrže komunikují a do jaké míry proniká inokulum zelených řas a sinic ze severu na jih. To je důležité zejména koncem vegetační sezóny.

K nejdůležitějším funkcím vodního díla náleží kompenzační nadlepšování Opatovického uzlu na Labi. To v praxi znamená, že je velká snaha manipulaci na vodním díle nasměrovat k udržení co největšího objemu pro případné období (obvykle v létě) s nízkými průtoky. Současně je však nutné dodržet stanovené průtoky v Úpě, a to obvykle právě v letním období významně omezuje možnosti k napouštění nádrže Úpským přivaděčem. Důsledkem bývá stabilizace vodních poměrů v nádrži bez výraznější hydrologické dynamiky. Taková situace je obvykle příznivá i pro rekreaci. Ovšem v této době, a to zejména na jižní části, se rozvíjí plná teplotní stratifikace. V jejím důsledku nejsou hlubší vrstvy (tzv. hypolimnium) dostatečně zásobovány kyslíkem. Mikrobiální činnosti však zde pokračuje rozklad organického materiálu a rozpuštěný kyslík je postupně spotřebován až k nulovým koncentracím (Obrázek 3)



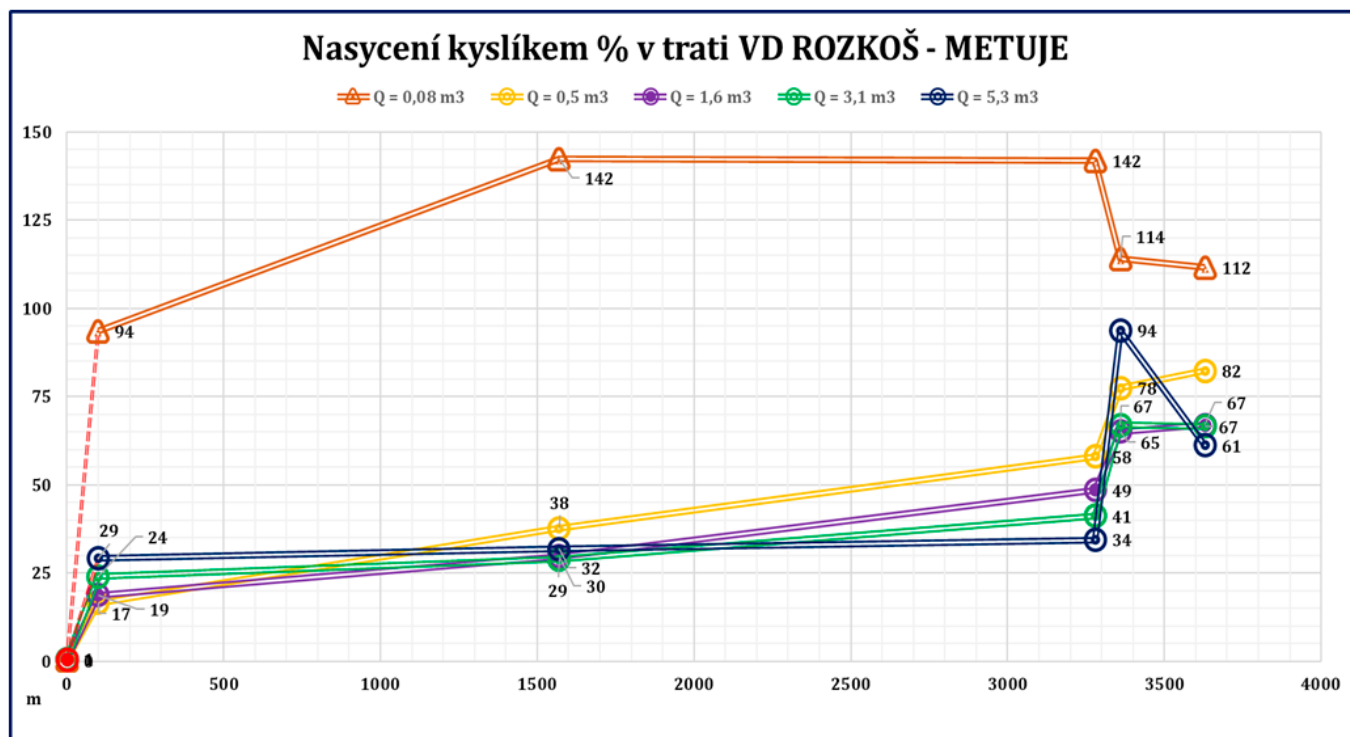
Obrázek 3. Prostorová diferenciace některých parametrů v nádrži Rozkoš ve vegetační sezóně 2022

Aerobní rozklad pozvolna přechází v anaerobní a ve spodních vrstvách se objevují produkty tohoto rozkladu – amoniak, metan či sirovodík. Na severní nádrži je tento proces sice intenzivnější, ale v důsledku malých hloubek dochází vlnovitím k rychlému odvětrávání. V jižní části se vytváří ještě větší vlny, ty však do zdejších velkých hloubek nezasahují a důsledky anaerobního rozkladu jsou zakonzervovány nade dnem (v hypolimniu). Lze předpokládat, že ryby z tohoto toxického prostředí snadno unikají a žijí v rozsáhlých pobřežních partiích s menšími hloubkami, které jsou okysličovány větrem. Negativní důsledky tohoto jevu se však následně ukazují při vypouštění nádrže, neboť se vypouští spodem, z míst nejvíce postižených anoxií. Při uvažovaném navýšení hladiny zásobního prostoru k posílení hydrologické dotace nižších poloh povodí mohou být tyto negativní jevy ještě posíleny.

Odtok

Odtok z nádržového systému může probíhat dvojím způsobem. Nepříliš často je využíván zpětný odtok ze severní nádrže zpět do Úpy. Mnohem častější je odtok spodními výpustmi do Rozkošského potoka, který přibližně po 3,4 km ústí ve Veselici do řeky Metuje. Jedná se tedy o převod mezi povodím dvou toků. Na Rozkošském potoce pod nádrží je stanoven minimální zůstatkový průtok ve výši 80 l/s. V zimním a jarním období je vypouštění z nádrže bez výrazného dopadu na okolní prostředí (snad s výjimkou oteplení toku pod nádrží). Změna však nastává během hypolimnetické anoxie při dlouhé stabilizaci nádrže v letním období. Zajištění MZP v této době již přináší senzorické i kvalitativní závady na rybářských sádkách pod hrází, které jsou na odtoku z nádrže závislé. V jejich případě by pravděpodobně pomohla alespoň po určité období změna odběrového horizontu. V menších hloubkách pod hladinou bývá kyslíku dost.

Horší situace však nastává v okamžiku, kdy je nutná zvýšená hydrologická dotace Labe v Opatovickém uzlu. Odtok se zvyšuje na 4 až 5 m³/s. A tím se výrazně zhoršují kvalitativní poměry v celém profilu Rozkošského potoka a ovlivněna bývá i řeka Metuje. Správa povodí zorganizovala několik experimentálních měření v tocích pod nádrží k posouzení dosahu možných rizik. Na obrázku 4 je zřejmé, že kyslíkové deficity se při minimálním zůstatkovém průtoku poměrně rychle vyrovnají.



Obrázek 4. Záznam změn kyslíkových poměrů v závislosti na odtoku z nádrže Rozkoš. Poslední dva údaje jsou v profilu na Metuji.

Naopak při větších průtocích je ovlivněna i řeka Metuje. Zde hraje roli synergie různých faktorů. Pozitivní vliv má vyšší průtok v Metuji, odtok z nádrže mimo turbínu a jistou roli hraje také správná funkce ČOV v Novém Městě nad Metují nad ústím ve Veselici. Souhra negativních okolností však může mít i neblahé následky. Z tohoto důvodu má správce povodí eminentní zájem tento jev důkladně popsat a včasnou identifikaci jeho vzniku a vhodnou manipulací případným negativním jevům předejít.

Závěr

Vodní dílo Rozkoš je již dlouhou dobu neodmyslitelnou součástí vodního hospodářství východních Čech. Svou kapacitou, multifunkčním záběrem i okolní krajinou scénérií představuje stále ještě ne zcela využitý potenciál k naplnění plného očekávání odborníků i ostatní veřejnosti. Již dnes je však vodní dílo zdrojem mnoha pozitivních efektů, které i když doprovázené starostmi, je zcela nenahraditelné.

Literatura

- [1] TREJTAR, Karel a kol., Přehrady Povodí Labe, SZN Praha 1975, s. 165–176
- [2] MAGNA Olivier et. al., Dams and Environment, Bulletin 96 CIGB – ICOLD, Paris 1994, s.19–75
- [3] HOLEČEK Miroslav; Studie proveditelnosti posílení vodních zdrojů VD Rozkoš; VRV Praha 2019
- [4] FOŠUMPAUR Pavel a kol.; Adaptace VD Rozkoš na klimatickou změnu; fakulta stavební ČVUT Praha 2021

HYDROLOGICKÉ EXTRÉMY POČAS DOTERAJŠEJ PREVÁDZKY VS VODÁRENSKÁ NÁDRŽ BUKOVEC

Dušan Mydla, Aleš Mazáč

SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny podnik, Martinská 49, 821 05 Bratislava – mestská časť Ružinov,
Povodie Hornádu, odštepny závod,
Ďumbierska 14, 041 59 Košice – mestská časť Sever; tel.: +421 55 6008 113; +421 905 445 551; email: dusan.mydla@svp.sk

SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny podnik, Martinská 49, 821 05 Bratislava – mestská časť Ružinov,
Povodie Hornádu, odštepny závod, Správa povodia Hornádu a Bodvy,
Medzi mostami 2, 040 01 Košice; tel.: +421 55 6853 191; +421 910 135 797; email: ales.mazac1@svp.sk

Abstrakt

Vodárenská nádrž Bukovec bola uvedená do prevádzky v roku 1976. V doterajšej prevádzke bolo zaznamenaných niekoľko hydrologických extrémov. Ich dôsledky mali zásadný dopad na úpravu manipulačných poriadkov vodnej stavby. Zmena „spoločenskej objednávky na vodu“, v nadväznosti na zapracovanie európskych smerníc do národnej legislatívy, v poslednej dekáde prevádzky vodnej stavby zmenili filozofiu hospodárenia s vodou na predmetnej nádrži.

Príspevok je zameraný na zhodnotenie hydrologického obdobia rokov 1980–1990 a obdobia 2005–2015.

Kľúčová slova česky: hydrologická bilancia, hydrologické extrémy, vodní zdroje, odběry vody.

Abstract

Abstract Water reservoir Bukovec was launched in 1976. There were recorded several hydrologic extremes to that time. Its consequences had fundamental impact on the modification of handling orders of water building. The „societal demands on water“, followed by incorporating European standards into national legislation, in the last decade, has caused the change of the managing philosophy of the water building. The report is focused on the evaluation of the periods of 1980–1990 and 2005–2015.

Keywords: hydrological balance, hydrological extreme, water resources, water sampling.

Popis problematiky

Po viac ako 40 ročnej existencii Vodárenskej nádrže Bukovec boli zaznamenané rôzne hydrologické extrémy vodnej nádrže, ktoré mali celkový vplyv na prehodnotenie účelovosti VN.

Pri pomerne malom povodí vodnej nádrže t.j. len 55 km² boli v histórii nádrže zaznamenané rôzne hydrologické extrémy. Od zaznamenatej najnižšej hladiny v období rokov 1980–1990 až po najvyššie doteraz zaznamenané hladiny v obdobiach 2005–2015.

Charakteristika nádrže a odtokových pomerov v povodí Idy

Z hľadiska charakteristiky odtokových pomerov v povodí Idy možno konštatovať, že podľa klimatickej klasifikácie je územie nádrže zaradené do oblasti miernej teplej, okrsku mierne vlhkého. Postupne s pribúdajúcou nadmorskou výškou pribúda zrážok a územie do nadmorskej výšky 800 m patrí už do okrsku vlhkého. Priemerný ročný úhrn zrážok v stanici Zlatá Idka má hodnotu 874 mm. Pričom najviac zrážok vykazuje v dlhodobom priemere mesiace júl a najmenej január.

Podľa režimu odtoku patrí vodný tok Ida k stredohorskej oblasti s maximom prietoku v apríli, kedy sa realizuje odtok zo snehových zásob, často spojený s intenzívnymi zrážkami. Obdobie malej vodnatosti nastupuje začiatkom jesene a výrazne sa prejavuje v septembri a októbri, keď odtečie okolo 3 % priemerného ročného odtoku.

Vodárenská nádrž Bukovec bola vystavaná v rokoch 1968 až 1976. Je situovaná od Košíc na toku Ida v riečnom kilometri 37,600.

Vodná nádrž Bukovec II bola projektovaná na nasledovné účely:

- Zabezpečiť pitnú vodu pre mesto Košice vyrovnaním kolísavých výdatností zdrojov Košického skupinového vodovodu / priemerný vodárenský odber je 473 l/s
- Znížiť povodňové prietoky

Hlavné parametre vodnej stavby a charakteristické hladiny:

Plocha povodia	55,36 km ²
Celkový objem nádrže	23,4 mil. m ³
Z toho retenčný	1,1 mil. m ³
Zásobný	21,4 mil. m ³
Stály	0,9 mil. m ³
Max. retenčná hladina	417,75 m n.m. / B.p.v./
Max. prevádzková hladina	416,75 m n.m. / B.p.v./
Min. prevádzková hladina	380,00 m n.m. / B.p.v./

Povodie nádrže je tvorené povodím Ida k priehradnému profilu, ale i povodím Myslavského potoka, ktorého časť prietokov sa prevádza do nádrže. Plocha povodia Idy k profilu hrádze je 47,20 km², plocha povodia Myslavského potoka v mieste prevodu 8,16 km². Vodnatosť územia vyjadrená špecifickým odtokom má na Ide hodnotu 10,9 l.s⁻¹.km⁻², na Myslavskom potoku 9,5 l.s⁻¹.km⁻².

Priemerný ročný prietok pre profil Ida pri obci Hýľov je 0,450 m³.s⁻¹, pre Myslavský potok je 0,070 m³.s⁻¹. Teda celkový priemerný ročný prietok je 0,520 m³.s⁻¹ za celú nádrž.

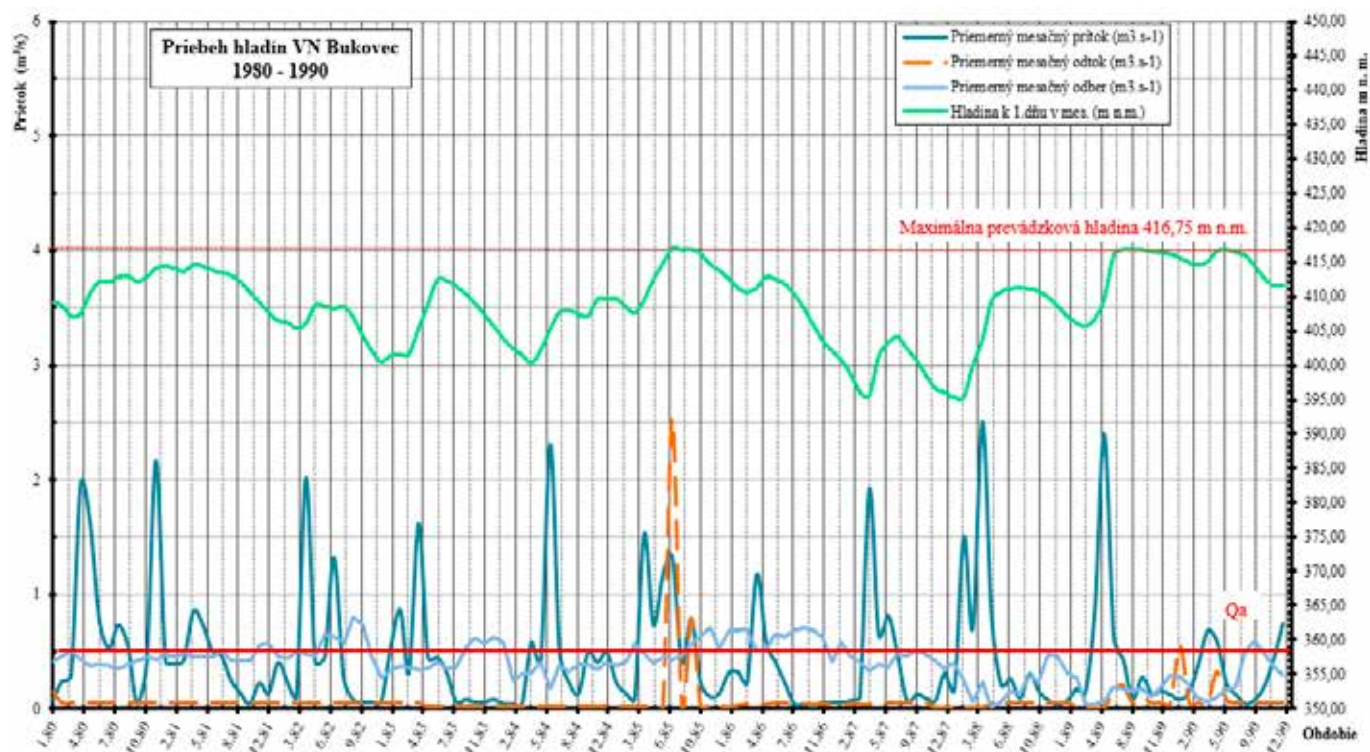
Hlavnými objektami vodárenskej nádrže Bukovec sú hrádza, združený funkčný objekt a vlastná akumulčná nádrž.

Pre nadlepšenie vodnej bilancie vo vodárenskej nádrži Buko-

vec bol vybudovaný prevod Myslavského potoka. Bol postavený z dôvodu, že prirodzené prietoky potoka Ida nestačili naplniť nádrž na dostatočnú kapacitu. Pozostáva zo vzdúvacieho a výpusťného objektu, záchytnej nádrže a štôlne. Zo záchytnej betónovej nádrže sú vody privádzané 1,407 km dlhou štôľňou priamo do nádrže. Maximálna prietoková kapacita je $12,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Hodnotené obdobie 1980–1990

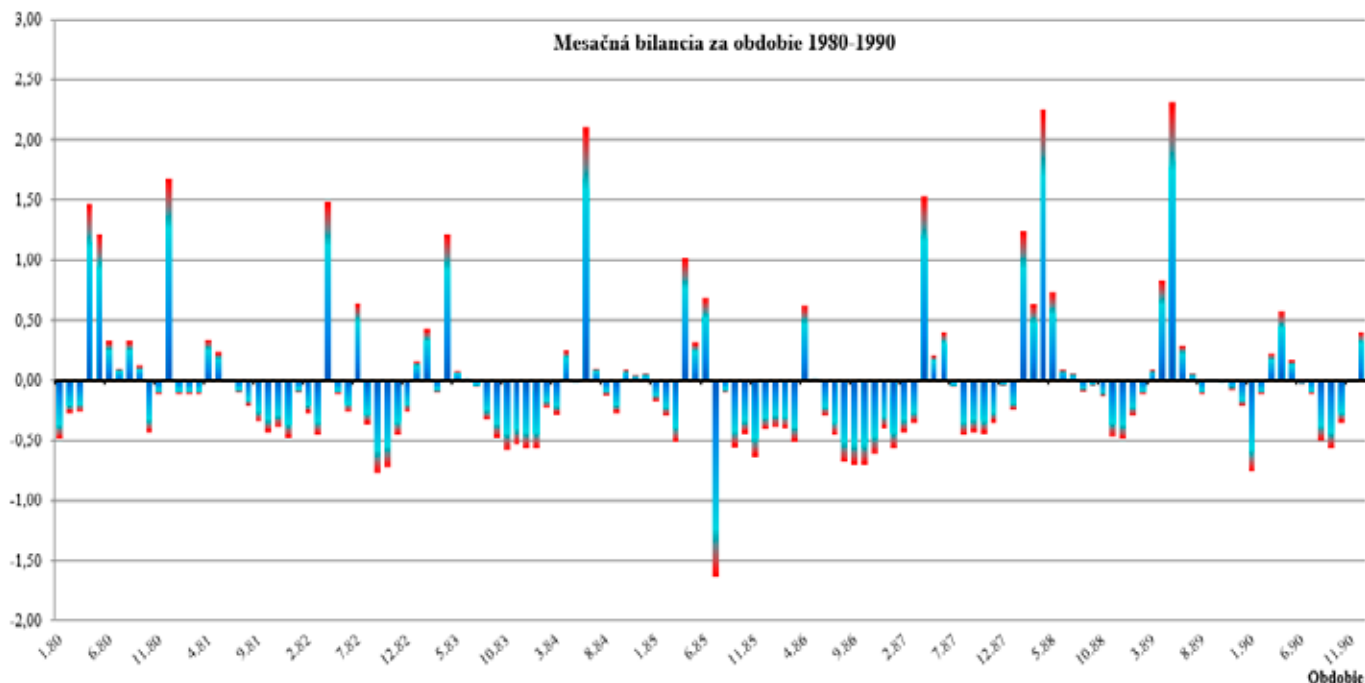
Po uvedení vodnej stavby do trvalej prevádzky bolo zaznamenané v období dekády, ktoré preverilo funkcionálnosť nádrže a jej schopnosť plniť spoločenskú potrebu na pitnú vodu. Predmetné obdobie zachytáva graf 1.



Graf 1. Pribeh hladín VN Bukovec 1980-1990

Z celkového hodnotenia je zrejmé, že v období od januára 1980 až do júna 1987 celkové odbery prekračovali úroveň priemerného ročného prítoku. Ten sa pohyboval v úrovni od $0,177 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (jún 1984) do $0,709 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (november 1985) a jeho veľkosť bola priamo previazaná s aktuálnou situáciou na doplnkových vodárenských zdrojoch, predovšetkým povrchového odberu Zábava – Hájny potok a Čermelskej vodárenskej sústavy. Uvedená situácia viedla k regulácii dodávky pitnej vody v rámci aglomerácie Košice. No aj napriek tejto skutočnosti k 1.1.1988 bola zaznamenaná historicky najnižšia úroveň hladiny vody v nádrži na úrovni 395,24 m n.m., teda 11,5 m pod kótou max. prevádzkovej úrovne. Zaujímavosťou je skutočnosť, že len 29 mesiacov pred touto udalosťou povodie rieky Ida bolo postihnuté povodňou, čo viedlo v dovtedajšej prevádzke po prvýkrát k prekročeniu max. prevádzkovej hladiny. Stalo sa tak dňa 2.7.1985 pri dosiahnutej úrovni hladiny 416,92 m n.m. Kulminálny odtok predstavoval úroveň $4,644 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pri odbere na vodárenské účely $0,392 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Na grafe 2. je štatistické vyhodnotenie predmetného obdobia deklarujúce hydrologickú kondíciu povodia, z ktorého jasne vyplýva, že počet mesiacov, kedy bola podkročená úroveň Q_a prevyšuje nad vodnými obdobiami. Hydrologická situácia na vodárenskej nádrži Bukovec sa začala zlepšovať po uvedení do prevádzky vodárenskej nádrže Starina v roku 1989. Zrovnávanie vo vzťahu ku Q_a sme realizovali porovnaním odtoku z nádrže navýšeného o úroveň vodárenských odberov.

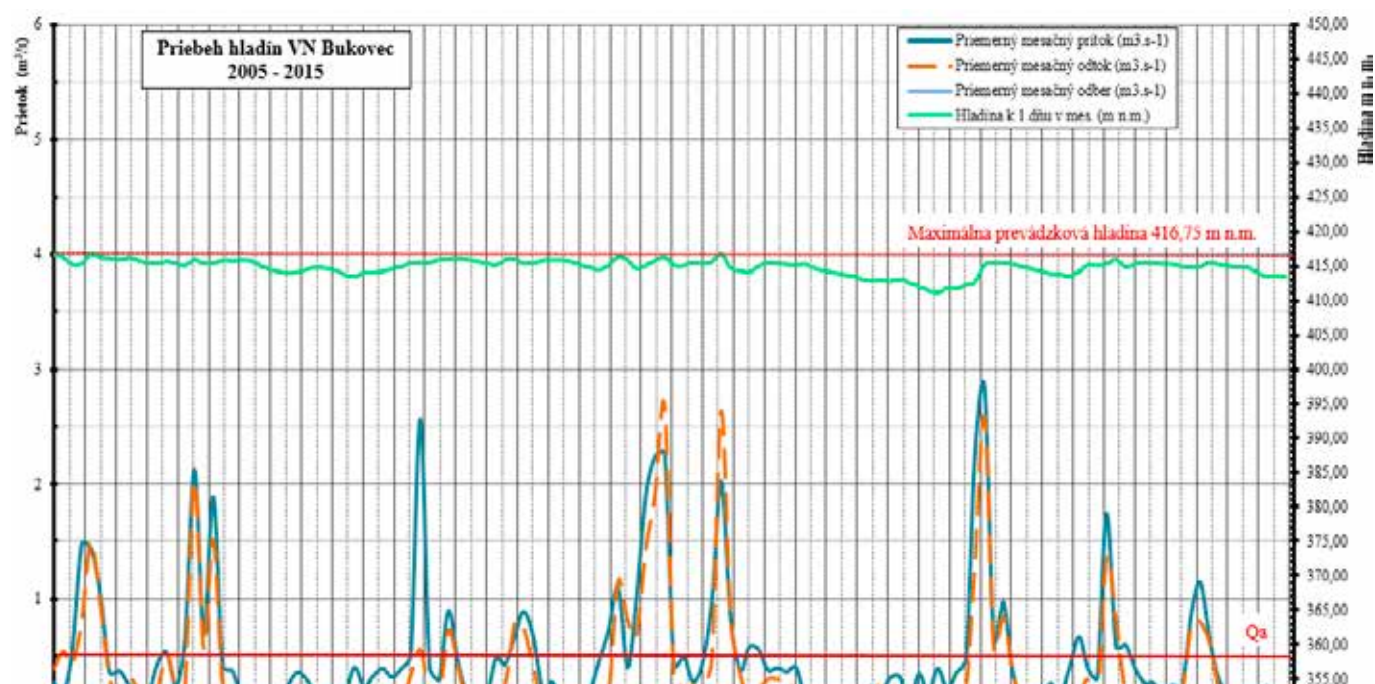


Graf 2. Mesačná bilancia za obdobie 1980–1990

Hodnotené obdobie 2005–2015

Zmena v hydrologickej bilancii sa najvýraznejšie prejavila práve v tomto období. Celkovú situáciu zachytáva bilančný graf 3. Zároveň za zmienku stojí aj skutočnosť, že v tomto období bola aj upravená hodnota min. zostatkového prietoku na $0,074 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ oproti predchádzajúcemu obdobiu, kedy sa min. zostatkový prietok pohyboval na úrovni $0,010 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Minimálna výška odberov na vodárenské účely sa pohybovala v úrovni od $0,110 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (január 2005) po hodnotu $0,176 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (marec 2006). Prakticky od augusta 2008 sa výška odberu ustálila,

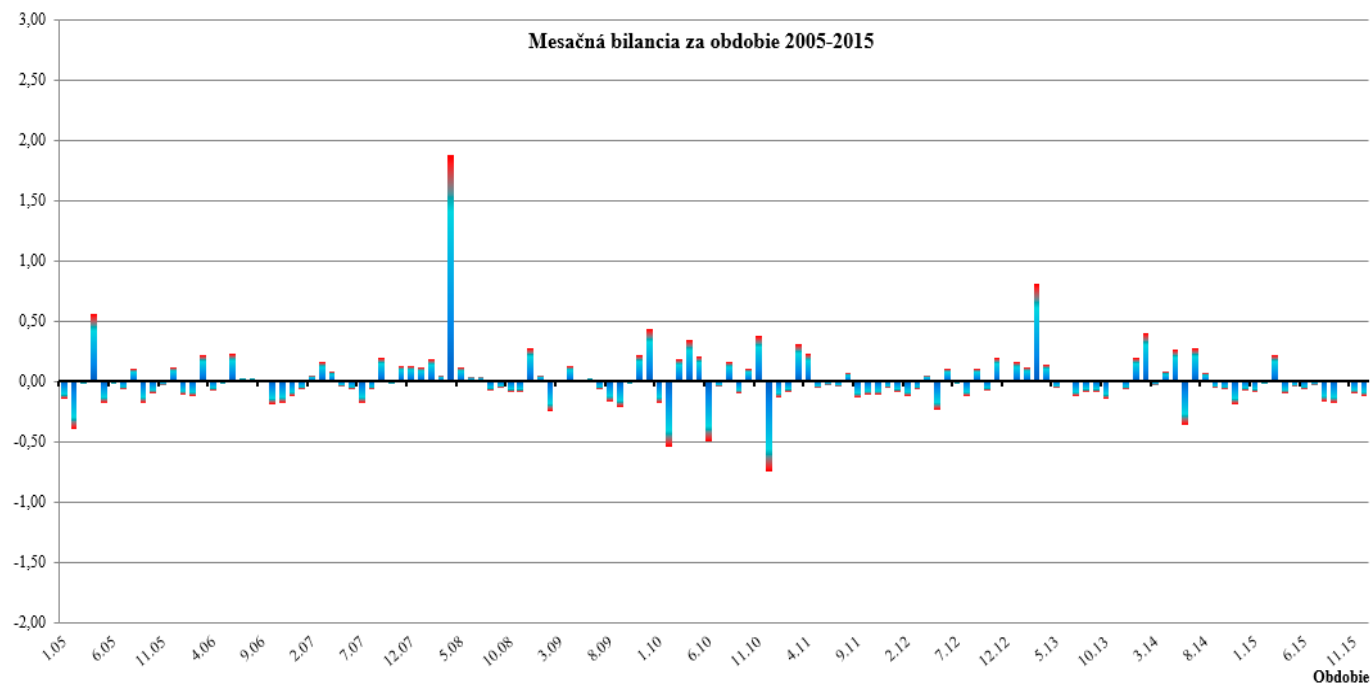
až na krátkodobé malé odchýlky na úrovni $0,125 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Uvedená zmena bola vyvolaná transpozíciou európskej legislatívy v oblasti kvality surovej povrchovej vody do národnej legislatívy Slovenskej republiky. Jednalo sa predovšetkým o navýšenie limitov pre ťažké kovy, ktorých odbúravanie v rámci vodárenských zariadení je ešte aj v súčasnosti pomerne problematické. V prípade povodia rieky Ida je potrebné zdôrazniť, že predmetné územie bolo historicky do výraznej miery zaťažované banskou činnosťou s následným odtokom banských vôd do povrchových vodných zdrojov pre vodárenstvo.



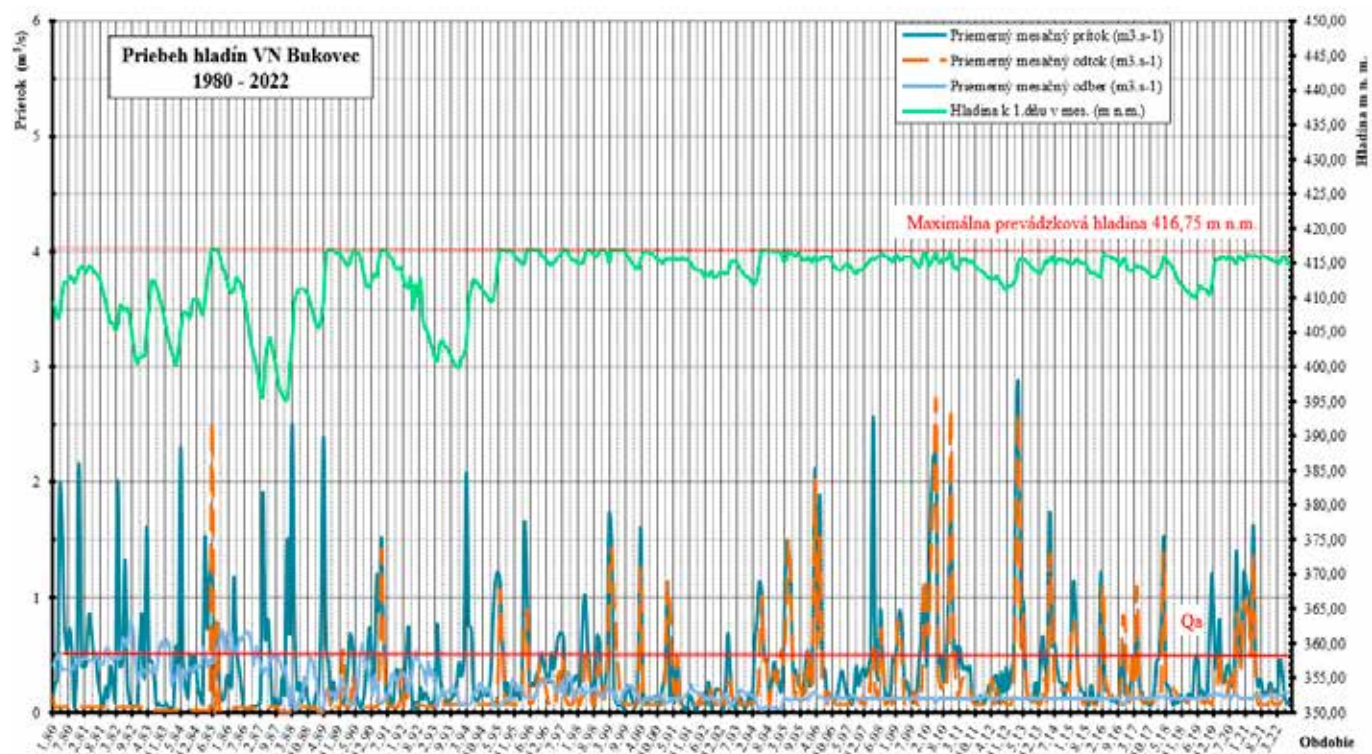
Graf 3. Pribeh hladín VN Bukovec 2005–2015

Zníženie nárokov na vodárenské odbery v celkovom ponímaní malo zásadný vplyv na hydrologickú kondíciu vodnej stavby graf 4.

Graf 5. zachytáva celkovú bilanciu hydrológie vodárenskej nádrže Bukovec od roku 1980 po súčasnosť. Uvedené hodnotenie sme zaradili do príspevku z dôvodu zmeny potrieb na vodu, ku ktorej došlo v priebehu roku 2022, kedy nastalo postupné zvyšovanie množstva odoberanej surovej vody až na súčasnú hodnotu $0,194 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.



Graf 4. Mesačná bilancia za obdobie 2005–2015



Graf 5. Priebeh hladín VN Bukovec 1980-2022

Záver

Povolený odber vody pre vodárenské účely bol minulosti stanovený na $0,500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, s možnosťou jeho navýšenia krátkodobého charakteru až na úroveň $0,700 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Na základe aktuálneho povolenia bola max. hodnota v roku 2019 znížená na úroveň $0,350 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Podľa hodnotenia hydrologického stavu prevádzky vodárenská nádrž by uvedený účel mala aj budúcnosti vedieť naplniť. Avšak, pre zabezpečenie celkovej bezpečnosti prevádzky je nutné sa v najbližšom období zamerať na jednak diverzifikáciu jednotlivých vodárenských zdrojov a jednak na zlepšenie s tým súvisiace v oblasti využívania pramenných oblastí či podzemných vodných zdrojov.

POSOUZENÍ ZÁSOBNÍHO OBJEMU NÁDRŽE VRANOV NA AKTUALIZOVANÁ VSTUPNÍ DATA

Daniel Marton¹, David Jílek¹

¹ Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny
Žižkova 17, Brno 602 00, tel. +420 54114 7776, marton.d@fce.vutbr.cz

Abstrakt

Údolní nádrže sloužící k vodárenským účelům jsou důležitým povrchovým zdrojem vody. Pro uvedené účely se využívá zásobní objem nádrží. Cílem příspěvku je analýza zásobního objemu nádrže Vranov, zpracovaná na základě aktualizovaných morfologických a hydrologických vstupních dat. Morfologická data jsou zastoupena aktualizovaným zaměřením dna nádrže Vranov z roku 2021 a následného vypracování nových batygrafických křivek nádrže. Zaměření dna nádrže a nové batygrafické křivky jsou dílčím výsledkem projektu INTERREG ATCZ28 - SEDECO a spolupráce mezi podnikem Povodí Moravy, s.p., a VUT FAST v Brně. Hydrologická data, která poskytl Český hydrometeorologický ústav, jsou aktualizována o měření do roku 2020 a zahrnují i extrémní suchou epizodu z let 2015 až 2018. Na podkladě aktualizovaných dat je pomocí simulace provozu nádrže vyhotovena analýza zásobního objemu nádrže s uvažováním ztrát vody výparem inovovanou iterativní metodou. Výsledky analýzy jsou vedle deterministického řešení provedeny i statisticky pro výpočet zásobního objemu s uvažováním nejistoty měření vstupních podkladů.

Klíčová slova: Batygrafické křivky; zásobní objem; zabezpečení; Vranov; nejistoty.

Abstract

Open water reservoirs used for water supply are an of the major fresh water resources. For these purposes the conservation storage volume is used. The aim of the paper is reservoir yield analysis of the Vranov reservoir based on newest morphological and hydrological data. Morphological data are in the form of actual reservoir bathymetry measurement from 2021 and derivation of area-volume curves. Bathymetric measurement and area-volume curves are one of the outcomes of the INTERREG ATCZ28 - SEDECO project and cooperation between Povodí Moravy, s.p. and BUT FCE. The hydrologic data provided Czech Hydrometeorological Institute. Data are till 2020 and consist of extreme drought event between 2015 and 2018. Based on newest data as well as reservoir storage simulation the yield analysis of reservoir storage volume considering novel water evaporation loops iteration method. Next to deterministic results the statistical uncertainty analysis of the reservoir yield storage are made based on inputs data uncertainty.

Keywords: Area-Volume Curves; Storage Volume; Reliability; Vranov; Uncertainty.

Úvod

Poslední roky ukazují, že klimatická změna je stále významnější problém ovlivňující životní prostředí a lidskou společnost. IPCC ve své 6. hodnotící zprávě uvádí, že „je prakticky jisté, že vlivem lidské činnosti dochází k oteplení atmosféry, oceánu i pevniny. Dochází k rozsáhlým a rychlým změnám v atmosféře, oceánu, kryosféře a biosféře“ [1]. Je jasné, že postupná změna klimatu má také přímý vliv na hydrologické podmínky v povodích a s ním související hospodaření s povrchovými a podzemními vodními zdroji. Také strategické dokumenty Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR [2] a Národní akční plán adaptace na změnu klimatu [3] schválené vládou ČR v roce 2015 a aktualizované v roce 2017 a 2021 řadí problematiku efektivního hospodaření s vodními zdroji k možným adaptačním opatřením. Přímou v [2] je problematika posouzení funkčních objemů stávajících nádrží vytyčena jako jedno z adaptačních opatření v hospodaření s povrchovými zdroji v boji proti změně klimatu. Proto přesná informace o dostupném objemu vody v nádrži společně s aktualizací meteorologických, morfologických, hydrologických dat a vývojem nových metod analýzy zásobního objemu jsou v kontextu zmíněného nanejvýše aktuální.

Cílem příspěvku je analýza zásobního objemu nádrže Vranov, zpracovaná na základě původních dat dle manipulačního řádu a aktualizovaných morfologických a hydrologických vstupních dat. Morfologická data jsou zastoupena nejnovějším zaměřením dna nádrže Vranov z roku 2021 a vypracováním nových batygrafických křivek nádrže. Hydrologická data jsou aktualizována o poslední volně dostupná měření do roku 2020 a zahrnují i extrémní suchou epizodu z let 2015 až 2018. Na podkladě aktualizovaných dat je pomocí simulace provozu nádrže provedena analýza zásobního objemu nádrže s uvažováním ztrát vody výparem inovovanou iterativní metodou. Výsledky analýzy jsou zpracovány vedle deterministického řešení také statisticky s uvažováním nejistoty měření vstupních podkladů.

Popis zájmové lokality a vstupní data

Vodní nádrž Vranov se nachází v Jihomoravském kraji mezi Podhradím nad Dyjí a Vranovem nad Dyjí na 175,41 km řeky Dyje. Hlavní účely provozu nádrže jsou zásobování vodou, hydroenergetický, rekreační, rybaření, plavba a protipovodňová ochrana. Provozovatelem nádrže je státní podnik Povodí Moravy. Nádrž má celkový objem 132,6 mil. m³ vody. Z toho prostor stálého nadržení V_s je 31,840 mil. m³, zásobní objem V_z je 79,668 mil. m³, retenční objem ovladatelný V_{ro} je 11,157 mil. m³ a neovladatelný V_{rn} je 10,031 mil. m³. Těleso hráze je betonové gravitační a výška hráze je 59,9 m s délkou v koruně 290,5 m. Nádrž byla uvedena do provozu v roce 1934. Povodí nad nádrží má rozlohu 2 211,80 km² a hlavní přítoky vody do nádrže jsou řeka Dyje a Želetavka. Průměrný dlouhodobý průtok Q_a je 9,740 m³ s⁻¹. Roční hodnota výparu z vodní hladiny E_a při zatopené ploše 55 880 ha k nadmořské výšce 348,45 m n.m. činí 650 mm/rok [4]. Použitá morfologická data ve formě batygrafických křivek byla převzata jednak z manipulačního řádu k vodnímu dílu [4], ale

také byla využita data z nového zaměření dna nádrže provedeného podnikem Povodí Moravy, s.p. v roce 2021. Celkově zaměření dna nádrže bylo složeno ze tří datových balíků. První obsahoval soubory dat měření dna pomocí Echo lodě v surové podobě ve formě textových souborů ze tří měřících kampaní. Data obsahovala souřadnice XY v souřadnicovém systému GPS a UTM WGS84 32N a k jednotlivým zaměřeným bodům odpovídající hloubku vody. Z-tová souřadnice zaměřeného bodu dna byla získána odečtením hloubky vody ze zaměření bodu od polohy hladiny pro konkrétní měření. Druhý balík dat tvořil podkladová data výškopisu digitálního modelu reliéfu páté generace ZABAGED – DMR 5G přilehlého okolí nádrže. Třetí balík obsahoval doplňková data z ručního zaměření nezaměřených břehových linií nádrže pomocí GPS měřící stanice. Hydrologická data obsahují informace průměrných měsíčních průtoků Q_m profilů Dyje/Travní Dvůr a Želetavka/Vysočany se záznamem měření od roku 1935 až do roku 2020. Zahrnují tedy i extrémní suchou epizodu z let 2015 až 2018.

Metodika

Odvození batygrafických křivek bylo provedeno pomocí softwaru ArcGIS ArcMap, který je schopen vytvořit digitální model terénu DMT formou georeferencovaného rastru. Postup odvození byl následující: nejprve nastavení výchozího souřadnicového systému JTSK Krovak EastNorth, potom načtení bodů do databázového souboru dBase pomocí ArcToolbox Conversion tools/To dBase, a následně sloučení do jednoho souboru pomocí Data Management Tools/General/Merge. Následuje vytvoření vrstvy rastru terénu a dna nádrže z naměřených bodů pomocí funkce Conversion Tools/To Raster/Point to Raster a sestavení digitálního výškového modelu (DEM) a modelu vrstevnic pomocí funkce Spatial Analyst Tools/Interpolation/Topo to Raster a funkce Surface/Contour. V poslední řadě se pak dopočítají objemy vody pro příslušné hodnoty vrstevnic.

Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže bylo provedeno pomocí programu UNCERESERVOIR [5]. Software řeší základní dvě úlohy simulace provozu nádrže a to výpočet zásobního objemu V_z při zabezpečení dle trvání $P_t = 100\%$ (úloha 1) a stanovení nalepšeného odtoku vody z nádrže O_p pro daný V_z a $P_t < 100\%$ (úloha 2). Obě úlohy je software schopen počítat jak v deterministickém tak statistickém, resp. stochastickém řešení, tedy s uvažováním nejistot vstupních veličin. Základem programu je simulační model chování nádrže, který popsal Starý v [6]. Algoritmus softwaru vychází z upravené základní rovnice nádrže v součtovém tvaru, která je omezena podmínkou typu nerovnosti. Výpočet zabezpečení je proveden podle klasického vztahu dle Čegodajeva viz [6] a norma ČSN 75 2405 [7], kdy je stanovena zabezpečení podle trvání P_t a množství nedodané vody P_d . Simulační model nádrže do výpočtů zahrnuje i ztráty vody z nádrže. Ztráty jsou uvedeny ve formě ztráty vody výparem z vodní hladiny a průsakem tělesa hráze. Ztráty jsou řešeny iterací metodou. Nejistoty vstupních veličin jsou do výpočtů zavedeny pomocí metody Monte Carlo detailně popsané v [8] a [9].

Praktická aplikace

Analýza vodohospodářského řešení zásobního objemu nádrže byla řešena pro dvě základní úlohy 1 a 2. Nalepšený odtok vody z nádrže O_p byl konstantní pro všechny měsíce v roce. Variační rozpětí zásobního objemu v úloze 2 tvořily hodnoty plného zásobního objemu V_z , max 79 668 000 m³ a objemu po vyprázdnění. Do výpočtu byly nejprve vloženy původní batygrafické křivky z manipulačního řádu a řada průměrných měsíčních průtoků za období let 1935 až 2000 a za období 1935–2020. Výsledky jsou pojmenovány jako: i) Ú1 BKMŘ, V_z 1935–2000, ii) Ú1 BKMŘ, V_z 1935–2020, iii) Ú2 BKMŘ, P_t 1935–2000, iv) Ú2 BKMŘ, P_t 1935–2020. Dále byly řešeny stejné úlohy, ale za použití nových batygrafických křivek odvozených z měření 2020 a pojmenovány jako: i) Ú1 NBK, V_z 1935–2000, ii) Ú1 NBK, V_z 1935–2020, iii) Ú2 NBK, P_t 1935–2000, iv) Ú2 NBK, P_t 1935–2020. Vše řešeno deterministicky s uvažováním ztrát vody výparem o hodnotě $E_a = 650$ mm/rok.

Následně byl proveden stejný výpočet úlohy 1 a 2 s uvažováním nejistot vstupních dat, kdy nejistota byla do výpočtu zavedena pro vstupní parametry přítoku vody do nádrže, batygrafické křivky a výparu jednotně jako standardní nejistota 5 %, resp. rozšířená 15 %. Počet opakování generace náhodných vstupních parametrů metodou Monte Carlo byl $PO = 300$. Výsledky jsou prezentovány ve formě statistických charakteristik střední hodnoty $\mu(V_z)$, $\mu(P_t)$ a dvojnásobku směrodatné odchylky $\pm 2\sigma(V_z)$, $\pm 2\sigma(P_t)$ pokrývající 95% pravděpodobnosti výskytu náhodné veličiny.

Shrnutí výsledků a závěr

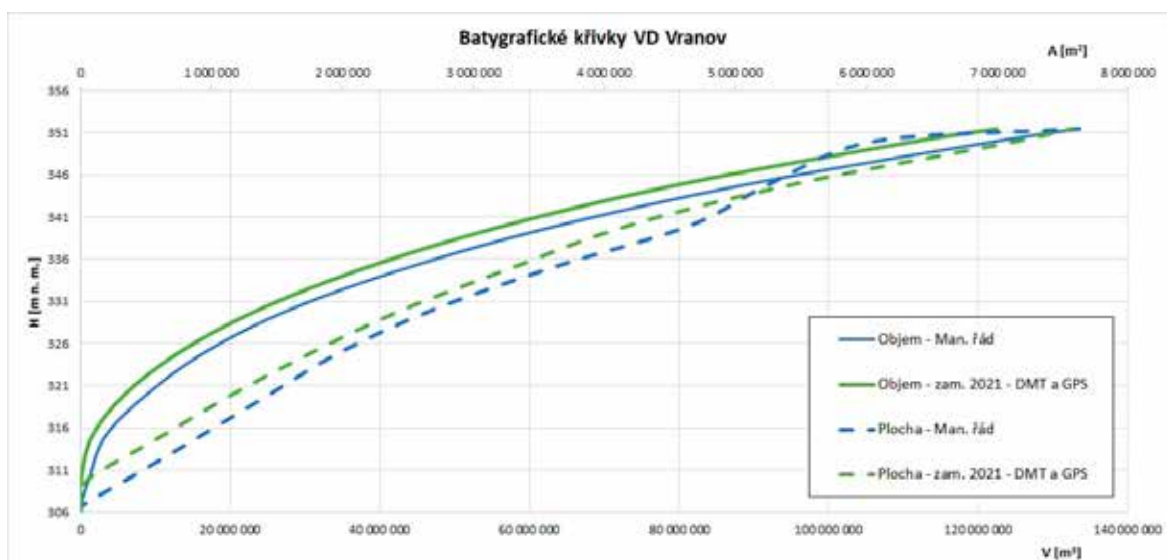
Na obrázku 1 jsou zpracovány batygrafické křivky nádrže Vranov. Modrá a zelená plná čára znamenají čáru zatopených objemů pro manipulační řád a zaměření 2021. Modrá a zelená čárkovaná čára znamenají čáru zatopených ploch pro manipulační řád a zaměření 2021.

Na obrázku 2 jsou pak prezentovány výsledky analýzy vodohospodářského řešení zásobního objemu nádrže pro úlohu 1 ve formě grafu závislosti zásobního objemu V_z na nalepšeném odtoku vody z nádrže O_p . Pro deterministické řešení a varianty staré a nové batygrafické křivky platí pro období 1935 až 2000 modrá a červená čárkovaná čára a období 1935 až 2020 černá a žlutá čárkovaná čára. Pro uvažování kombinovaných nejistot přítoku vody do nádrže, batygrafických křivek a výparu vody z nádrže pro hodnotu standardní nejistoty 5 % jsou výsledky vykresleny plnou čarou.

Každá z pomyslných trojic čar znamená:

- i) prostřední plná modrá a černá čára jsou střední hodnoty zásobního objemu $\mu(V_z)$ a obalové modré a černé křivky nejistoty ve formě směrodatné odchylky $\pm 2\sigma(V_z)$ pro období 1935 až 2000,
- ii) prostřední plná žlutá a červená jsou $\mu(V_z)$ a obalové křivky nejistoty ve formě $\pm 2\sigma(V_z)$ pro období 1935 až 2020.

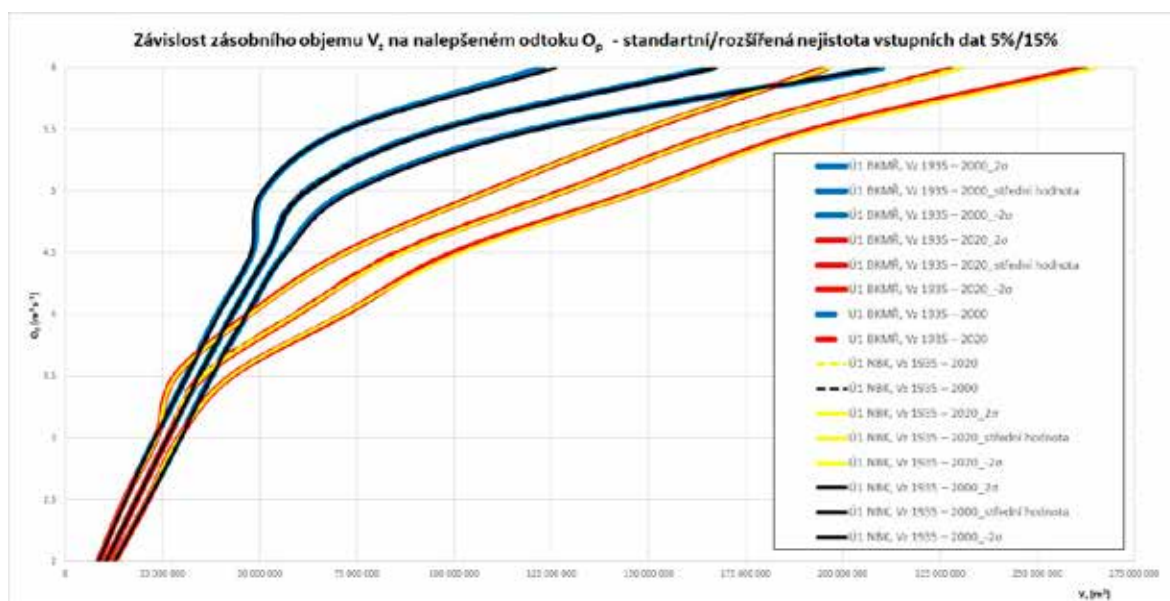
Na obrázku 3 jsou pak prezentovány výsledky úlohy 2 ve formě závislosti nalepšeného odtoku vody z nádrže O_p a zabezpečení dle trvání odtoku vody z nádrže P_t . Popis čar je totožný jako na obrázku 2.



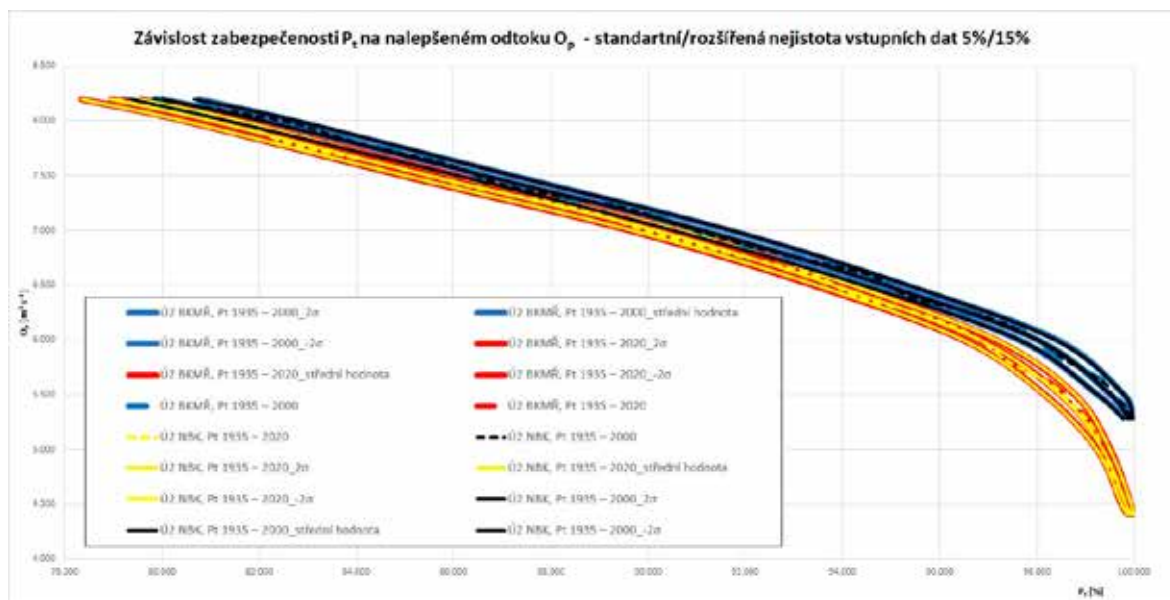
Obrázek 1. Batygrafické křivky nádrže Vranov

Prezentované výsledky na obrázcích 2 a 3 se dají formulovat do následujících závěrů:

- Změna celkového objemu na kótě hladiny 351,46 m n. m. činí 10,227 mil. m³, což je relativní změna celkového objemu 7,71 %. Změna objemu stálého nadržení na hladině 331,45 m n. m. je z 31,840 mil. m³ na 27,884 mil. m³, což jsou 4 mil. m³ resp. 12,42 % a velikost zásobního objemu na hladině 348,45 m n. m. z 9,668 mil. m³ se snížila o 5,46 mil. m³ což odpovídá 74,213 mil. m³ a relativní změně 6,85 %.
- Vliv nových batygrafických křivek na zásobní objem a odtok vody není tak významný jako vliv hydrologické řady. Vše lze demonstrovat v deterministickém řešení pro hodnotu $V_z = 79,668$ milionů m³, období 1935 až 2000 a staré batygrafické křivky, kdy $O_p = 5,290$ m³s⁻¹ a pro nové křivky a odečtený objem $V_z = 74,123$ mil. m³ je $O_p = 5,250$ m³s⁻¹. Pro období 1935 až 2020 a staré batygrafické křivky je hodnota odtoku $O_p = 4,410$ m³s⁻¹ a pro nové křivky a zásobní objem je $O_p = 4,310$ m³s⁻¹.
- Výsledky výpočtu úlohy 1 s uvažováním nejistot byly následující. Nejblíže výsledky $\mu(V_z)$ k hodnotě 79,668 mil. m³ pro délku řady 1935 až 2000 a staré batygrafické křivky byly $O_p = 5,290$ m³s⁻¹, $\mu(V_z) = 79,608$ mil. m³, hodnota $\pm 2\sigma(V_z) = 6,845$ mil. m³. Což odpovídá relativní nejistotě $\mu(V_z) \pm 8,6$ %. Pro nové křivky a objem je $O_p = 5,286$ m³s⁻¹, $\mu(V_z) = 73,999$ mil. m³, hodnota $\pm 2\sigma(V_z) = 7,598$ mil. m³. Což odpovídá relativní nejistotě $\pm 10,3$ %. S použitím řady 1935 až 2020 jsou výsledky pro staré batygrafické křivky $O_p = 4,400$ m³s⁻¹, $\mu(V_z) = 79,582$ mil. m³, hodnota $\pm 2\sigma(V_z) = 4,269$ mil. m³, což je relativní nejistota $\pm 5,364$ %. Pro nové křivky a objem je výsledek $O_p = 4,3$ m³s⁻¹, $\mu(V_z) = 74,190$ mil. m³, hodnota $\pm 2\sigma(V_z) = 3,794$ mil. m³, což je relativní nejistota $\pm 5,114$ %.
- Výsledky výpočtu úlohy 2 s uvažováním nejistot byly následující. Nejblíže výsledky $\mu(P_z)$ k hodnotě 99,5 % pro délku řady 1935 až 2000, $V_z = 79,668$ mil. m³ a staré



Obrázek 2. Závislost zásobního objemu V_z na nalepšeném odtoku vody z nádrže O_p



Obrázek 3. Závislost zabezpečení P_t na nalepšeném odtoku vody O_p pro $V_z = 79,668 \text{ mil. m}^3$

batygrafické křivky byly pro $O_p = 5,55 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, $\mu(P_t) = 99,507 \%$ a hodnota $\pm 2\sigma(P_t) = 0,275 \%$. Tedy P_t může nabývat intervalu 99,232 % až 99,782 %. Při použití řady 1935 až 2020, stejném V_z a starých batygrafických křivek je výsledek $O_p = 4,850 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, $\mu(P_t) = 99,518 \%$ hodnota $\pm 2\sigma(P_t) = 0,086 \%$, P_t může nabývat intervalu 99,432 % až 99,604 %. Při výpočtech s použitím období 1935 až 2000, nově odečteného V_z a nových křivek je $O_p = 5,415 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, $\mu(P_t) = 99,506 \%$ a hodnota $\pm 2\sigma(P_t) = 0,257 \%$. Při použití řady 1935 až 2020 je pak $O_p = 4,79 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ jsou výsledky $\mu(P_t) = 99,509 \%$ hodnota $\pm 2\sigma(P_t) = 0,096 \%$.

Provedení analýzy jasně ukazuje, že průběžné sledování vývoje vstupních parametrů výpočtu jakož i přepočty zásobního objemu nádrže jsou důležité a pro provoz nádrže nepostradatelné. Uvažování nejistot ve výpočtu, pak ukazuje i potenciál, jak analýzu modernizovat, detailněji interpretovat výsledky a jak zahrnout, případně redukovat nejistoty vstupující do vodohospodářského řešení zásobního objemu nádrže.

Poděkování

Článek vznikl za podpory projektu ATCZ28 SEDECO „Sedimenty a ekosystémové služby ve vzájemném působení s povodněmi a suchem v pohraniční oblasti AT-CZ“, který je financován Evropským fondem pro regionální rozvoj INTERREG V-A AT-CZ.

Literatura

- [1] IPCC, 2021: *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O.Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- [2] Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR - 1. aktualizace pro období 2021–2030. Ministerstvo životního prostředí [online]. 2021. Dostupné z: <http://www.mzp.cz/>.
- [3] Národní akční plán adaptace na změnu klimatu - 1. aktualizace pro období 2021–2025. Ministerstvo životního prostředí [online]. 2021. Dostupné z: <http://www.mzp.cz/>.
- [4] Manipulační řád pro VD Vranov na řece Dyji v km 175,405 na řece Svatce. Povodí Moravy s.p. 2011.
- [5] MARTON, D.; STARÝ, M.; MENŠÍK, P.: UNCERESERVOIR; UNCERESERVOIR – Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže. <http://uvhk.fce.vutbr.cz/software.php>. URL: <http://uvhk.fce.vutbr.cz/software>.
- [6] STARÝ, M. Nádrže a vodohospodářské soustavy (MODUL 01), VUT v Brně - Fakulta stavební, Brno, 2006.
- [7] Česká technická norma ČSN 75 2405 Vodohospodářské řešení vodních nádrží, ICS 93.160; 13.060.10, Český normalizační institut, Praha 2004.
- [8] MARTON, D., STARÝ, M., MENŠÍK, P., The Influence of Uncertainties in the Calculation of Mean Monthly Discharges On Reservoir Storage, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. Volume 59, Issue 4, Pages 228–237, ISSN (Print) 0042-790X, DOI: 10.2478/v10098-011-0019-3, November 2011.
- [9] MARTON, D., STARÝ, M., MENŠÍK, P. Analysis of the influence of input data uncertainties on determining the reliability of reservoir storage capacity. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 63(4), 2015. 287-294. ISSN: 0042-790X.

OPTIMALIZACE ODTOKOVÉHO REŽIMU VE VN ŘÍMOV Z HLEDISKA VODÁRENSKÉHO ODBĚRU

Josef Hejzlar, Jiří Jarošík, Ma. Cristina Paule-Mercado, Petr Porcal
Biologické centrum AV ČR, v.v.i., Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice,
tel. +420 387 775 876, hejzlar@hbu.cas.cz

Abstrakt

Vliv řízení VN Římov na kvalitu vody byl analyzován pomocí modelového systému povodí–nádrž s dvojrozměrným nádržovým modelem CE-QUAL-W2. Model byl po kalibraci použit pro simulaci scénářů (a) s různými hloubkami odtoku (horní, střední, spodní) a s různými objemy zásobního prostoru nádrže dané různou intenzitou doplňkového využití nádrže pro výrobu elektřiny a (b) vývoje lokálního klimatu do roku 2100 podle čtyř klimatických modelů. Studie ukázala, že kvalita vody je významně ovlivněna výběrem odtokové vrstvy a objemem nádrže. Spodní vypouštění zlepšovalo kyslíkový režim a snižovalo produktivitu nádrže, ale způsobovalo delší výskyt zvýšených koncentrací rozpuštěného organického uhlíku (DOC) a biomasy fytoplanktonu ve vodárenském odběru. Vypouštění z hladiny nebo metalimnia vedlo k vyšším hladinovým koncentracím fytoplanktonu a fosforu ve srovnání s odtokem ze spodních vrstev, nicméně DOC v odběru byl přitom nejmenší. Nejlepší kvalita vody byla při největším naplnění nádrže. Trendy vývoje lokálního klimatu na VN Římov se shodně s obecnými trendy projeví zvýšením teploty, poklesem průtoku, zvýšeným přísunem fosforu z povodí a dalším nárůstem DOC v odběru, který nebude možno zcela vykompenzovat optimalizací řízení nádrže.

Klíčová slova: VN Římov; řízení jakosti vody; selektivní vypouštění; modelový systém povodí–nádrž; změna klimatu.

Abstract

The influence of management of VN Římov on water quality was analyzed using the catchment–reservoir model system with two-dimensional reservoir model CE-QUAL-W2. After calibration, the model was used to simulate scenarios (a) with different discharge depths (upper, middle, lower) and with different volumes of reservoir storage space given by different intensity of additional use of the reservoir for hydropower production and (b) with evolution of local climate until 2100 according to four climate models. The study showed that the choice of outlet depth and reservoir volume significantly affect water quality. Bottom discharge improved the oxygen regime and reduced reservoir productivity, but increased concentrations of dissolved organic carbon (DOC) and phytoplankton biomass in the withdrawal. Discharge from the surface or metalimnion led to higher surface concentrations of phytoplankton and phosphorus compared to discharge from the bottom layers, however, DOC in the withdrawal was the lowest. The best water quality was when the reservoir was full. Trends in the development of the local climate at VN Římov will, in line with general trends, be manifested by an increase in temperature, a decrease in flow, an increased load of phosphorus from the basin and a further increase in DOC in the withdrawal, which will not be completely compensated for by optimizing the reservoir management.

Keywords: Římov reservoir; water quality control; selective discharge; modelling system catchment–reservoir; climate change.

Úvod

Ve stratifikované nádrži představuje řízené vypouštění vody možnost, jak ovlivnit kvalitu vody. Řízený odtok z nádrže byl úspěšně použit např. k zabránění akumulace solnosti [1], ke zlepšení kyslíkových podmínek v hypolimnionu a snížení koncentrací manganu a fosforu [2, 3] či ke zkratování přítoku zatíženého plaveninami, chemikáliemi nebo huminovými látkami do odtoku [4, 5]. V nádrži Římov byl režim vypouštění optimalizován poté, co se v roce 1995 ukázalo, že v období stratifikace může spodní vypouštění velmi zhoršit jakost vodárenského odběru [5]. V roce 1997 byl proto způsob vypouštění upraven tak, aby se během celého období letní stratifikace vypouštělo výpustí nastavenou na hloubku 5 m nebo hrazeným přelivem (tzn. odtok z vrstvy metalimnionu). Tím se využila možnost zkratovat horními vrstvami nádrže přítok, který je v teplém období roku za zvýšených a povodňových průtoků znečištěný huminovými látkami vyplavovanými z povodí, a neznehodnocovat kvalitu vody v hypolimnionu využívaném pro vodárenský odběr [6].

Cílem studie bylo ověřit, jak se způsob řízení římovské nádrže po roce 1997 osvědčil. V tomto období se v důsledku změny klimatu měnily hydrologické podmínky, rostla teplota a zvyšovaly se přítokové koncentrace rozpuštěného organického uhlíku (DOC). Pro analýzu byl sestaven systém matematických modelů popisujících nádrž a chemické složení přítoku vody z povodí v závislosti na teplotě, hydrologických podmínkách a zdrojích znečištění v povodí. S modelovým systémem byly provedeny simulace: (a) scénářů s horním, středním a spodním vypouštěním, různým naplněním nádrže a s různými hloubkami vodárenského odběru vody a jejich výsledky byly porovnány z hlediska kvality odběru a trofie nádrže a (b) scénářů budoucího vývoje klimatu pro tři varianty možného vývoje koncentrací skleníkových plynů v atmosféře.

Metodika

VN Římov na Malši slouží jako hlavní vodní zdroj ve vodárenské soustavě Jižní Čechy a jejími dalšími účely jsou nadlepšování průtoku a výroba elektřiny. Hráz byla dokončena a napuštěna v roce 1979. Při maximální kótě hladiny 471,48 m n.m. má nádrž objem $33,8 \times 10^6 \text{ m}^3$, zátopy $2,11 \text{ km}^2$, maximální hloubku 43 m a průměrnou hloubku 16 m. V období 1979–2021 byl průměrný přítok do nádrže $4,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ a teoretická doba zdržení vody v nádrži (TRT) byla 81 dní. Surovou vodu pro vodárnu lze odbírat z 5 odběrových oken v rozmezí kót 438,8–463,5 m n.m. Odběr je podle vodohospodářského řešení $1,48 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; reálně se však do roku 2013 odebíralo $0,9\text{--}1,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ a v letech 2014–2021 $0,5\text{--}0,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Do řeky je možné vodu vypouštět hrazeným korunným přelivem s prahem v kótě 466,1 m n.m., dvěma základo-

vými výpustěmi s osou na kótě 430,5 m n.m. a tzv. malou výpustí v odběrném věžovém objektu, která má na návodní straně hradi-
dlové tabule, takže jí lze vypouštět vodu z jakékoliv úrovně v roz-
mezí kót 440,5–473,35 m n.m. Na malé výpusti je osazena malá
vodní elektrárna (MVE).

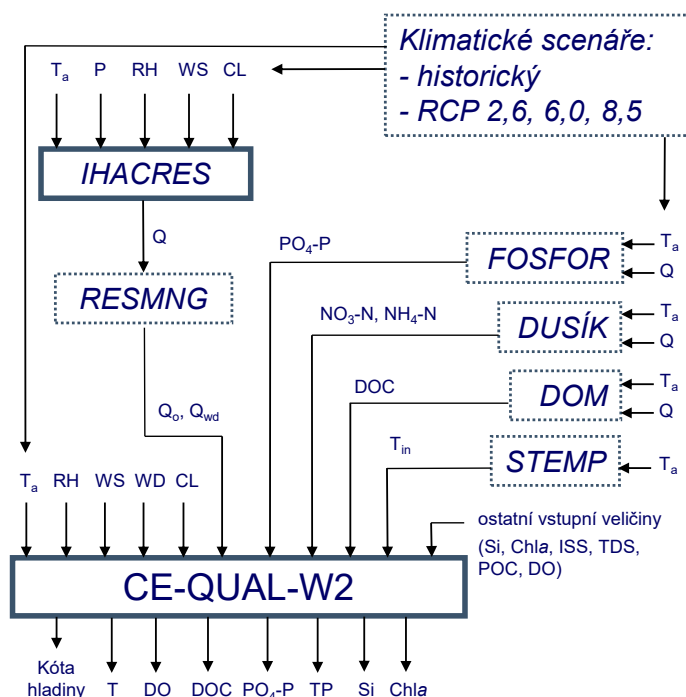
Modelový systém pro simulace řízení nádrže a pro predik-
ci dopadů změny klimatu na kvalitu vody v nádrži Římov (obr.
1) byl sestaven ze dvou hlavních modelů, tj. modelu IHACRES
[7] pro simulaci srážko-odtokového procesu v povodí a modelu
CE-QUAL-W2 [8] popisujícího hydrodynamiku a kvalitu vody v
nádrži. Systém dále obsahoval další pomocné modely poskytují-
cí data o přítokových koncentracích fosforu (FOSFOR), hlavních
forem anorganického dusíku (DUSÍK), rozpuštěného organic-
kého uhlíku (DOM), teplotě vody v přítoku (STEMP) a řízení
nádrže v závislosti na okamžitém naplnění nádrže a velikosti
přítoku (RESMNG). Vstupní veličiny určující okrajové podmínky
pro chod modelového systému zahrnovaly klimatické a hydrolo-
gické veličiny: teplota vzduchu (T_a), srážky (P), relativní vlhkost
(RH), rychlost větru (WS), směr větru (WD), oblačnost (CL), tep-
lota přítokové vody (T_{in}), přítok do nádrže (Q), odtok do řeky (Q_o),
vodárenský odběr (Q_w) a přítokové koncentrace křemíku (Si),
chlorofylu-a (Chla), minerální části nerozpuštěných látek (ISS),
rozpuštěných látek (TDS), částicového uhlíku (POC) a rozpuš-
tělého kyslíku (DO). Výstupní veličiny modelu CE-QUAL-W2
použité pro hodnocení byly: kóta hladiny, resp. objem nádrže,
teplota vody a koncentrace celkového fosforu (TP), rozpuštěného
fosforu ($PO_4\text{-P}$), Chla a DO ve vodním sloupci v nádrži u hráze.
Klimatické scénáře byly založeny na výstupech globálních klima-
tických modelů (GCMs) GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, IPSL-
CM5A-LR, MIROC5 v lokalitě nádrže Římov pro varianty: (a)
historickou a (b) se třemi reprezentativními směry vývoje kon-
centrací (RCP) skleníkových plynů ve 21. století podle Páté hod-
notící zprávy IPCC, tj. RCP2,6, RCP4,5 a RCP8,5 [9], které jsou
používané v Evropském projektu ISIMIP [10].

Modelový systém byl úspěšně zkalibrován na datech z období
2001–2021. Například shoda modelových a naměřených hodnot
v hladinové vrstvě v nádrži u hráze byla vysoká pro kótu hla-
diny a teplotu vody (koeficient determinace (R^2) >0,98 a koeficient
účinnosti modelu podle Nash-Sutcliffe [11] (NS) >0,96) a dobrá či
alespoň přijatelná pro ostatní veličiny: DOC (R^2 =0,70; NS=0,64),
DO (R^2 =0,31; NS=0,13), TP (R^2 =0,34; NS=0,14), Chla (R^2 =0,13;
NS=-0,6).

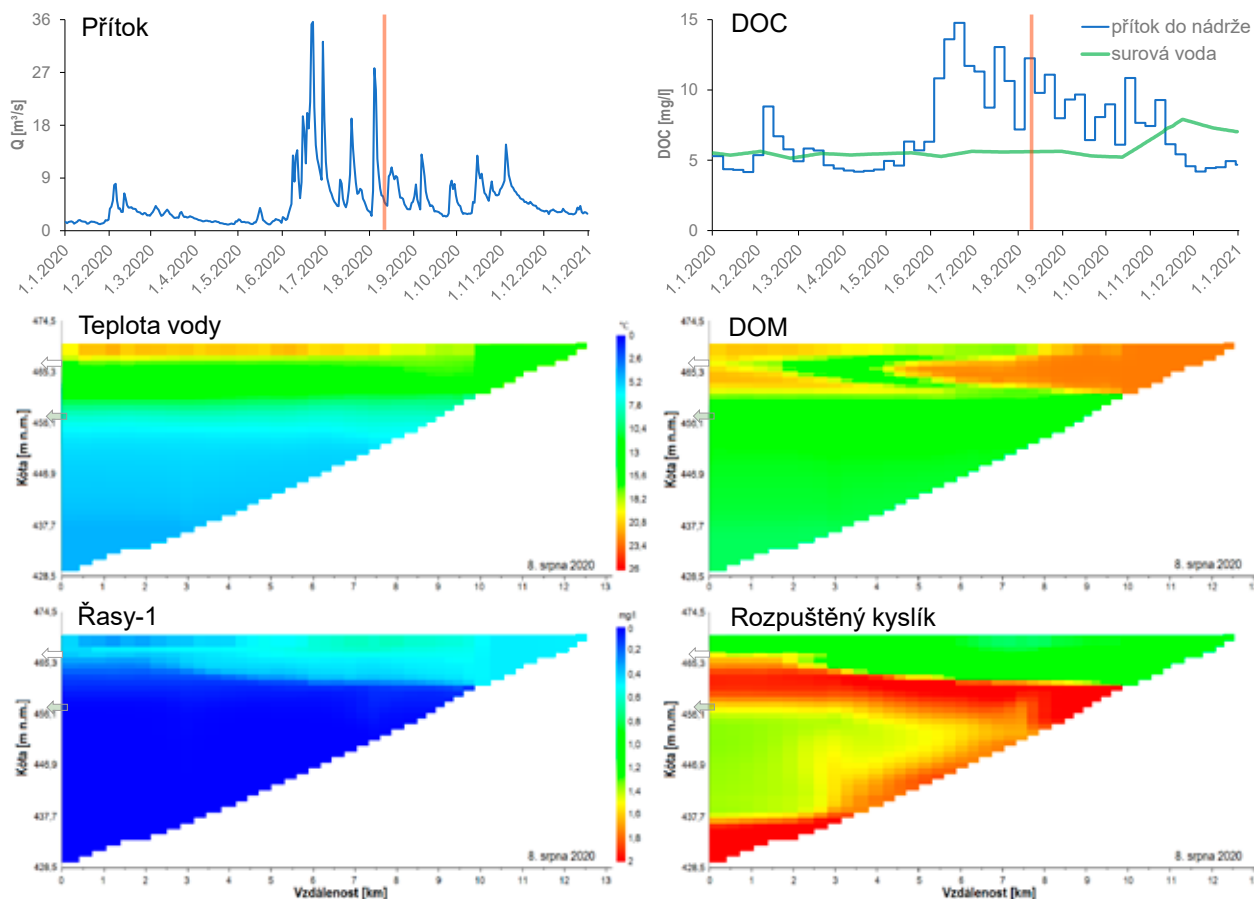
Modelové scénáře řízení nádrže byly kombinací (a) třech hloubek
odtoku vody, tj. z hladinové vrstvy, z metalimnionu (hloubka ~5 m)
a spodními výpustěmi (~2 m nade dnem), a (b) dvou způsobů
řízení naplnění nádrže, tj. jednak se současnou podporou pro-
vozu MVE ze zásobního prostoru nádrže (V_z) o velikosti ~15 %
průměrného přítoku, která vede v průměru k 87% naplnění V_z
a hladině o 2,0 m nižší než je maximální kóta V_z , a jednak bez
dotace provozu MVE ze zásobního prostoru nádrže, kdy V_z zůstá-
vá v průměru naplněn na 98 % a hladina je nižší o 0,3 m oproti
maximální kótě V_z . Další čtyři scénáře byly sestaveny pro zjištění
nejlepšího odběrového okna tak, že pro vybraný scénář s odtokem
z metalimnionu a s 98% naplněním V_z se pro vodárnu odebíralo
z oken na kótách 444,5, 450,5, 457 a 463,5 m n.m. Všechny tyto
scénářové simulace byly provedeny v období 1991–2021. Pro zjiš-
tění vlivu změny klimatu na kvalitu vody v nádrži Římov bylo
provedeno 16 simulačních běhů, tj. simulace pro každý ze 4 uve-
dených GCMs (a) s historickým klimatem v době existence nádr-
že v letech 1979–2005 a (b) s modelovaným budoucím klimatem
v období 2006–2100 při třech scénářích vývoje koncentrací skle-
níkových plynů v atmosféře, tj. RCP2,6, RCP6,0 a RCP8,5. Říze-
ní římovské nádrže v klimatických scénářích bylo nastaveno na
vypouštění z metalimnionu, průměrné 98% naplnění V_z a vodá-
renský odběr z kóty 450,5 m n.m. Výsledky modelových scénářů
byly posuzovány jednak podle koncentrací DOC, DO a Chla ve
vodárenském odběru, a jednak podle úživnosti nádrže reprezen-
tované hladinovými koncentracemi TP a Chla.

Výsledky a diskuse

Principy zranitelnosti kvality vody v nádrži Římov jsou ilu-
strovány na obr. 2 ukázkovými průběhy přítoku a koncentrací
DOC v přítoku a ve vodárenském odběru z nádrže v roce 2020
a na podélných profilech teploty, koncentrace řas, rozpuštěné
organické hmoty ($DOM = DOC/0,45$) a rozpuštěného kyslíku
za typické letní situace 8. srpna 2020. Hlavní problém, který je
specifický významný pro nádrž Římov, je stratifikované proudění
přítoku vznikající v období letního zvrstvení vždy, když se pří-
tok zvýší nad asi 2,5násobek průměrné hodnoty, tj. $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ [12].
Za těchto podmínek přítokový proud směřuje do metalimnionu
a dokáže se dostat k hrázi během jednotek dní, navzdory řádově
delší teoretické době zdržení vody v nádrži. Pokud by se znečiště-
ný zkratový proud přítoku dostal do odebírané vrstvy, mohlo by
to znamenat ohrožení pro vodárenský odběr. Na druhou stranu je
však zkratové proudění možné nastavením výpustí do povrchové
vrstvy výhodně použít pro zrychlené provádění znečištěné příto-
kové vody nádrží, aniž by kontaminovala hlubší vrstvy nádrže.
Dalším problémem nádrže Římov je eutrofizace a fytoplankton,
který sice narůstá pouze u hladiny, ale sedimentací a při promí-
chání vodního sloupce se dostává i do hlubších vrstev, odkud se
provádí vodárenský odběr. Třetí problém je spojen s anoxií hypo-
limnionu (tj. poklesem koncentrace DO pod 1 mg l^{-1}), za níž se ze
sedimentů na dně a z částic, které sedimentují z vodního sloup-
ce, uvolňuje v redukčním prostředí rozpuštěný mangan, jehož
přítomnost je ve vodárenském odběru ve vyšších koncentracích
nežádoucí. V oblastech metalimnetické anoxie zvýšené koncent-
race Mn nevznikají.



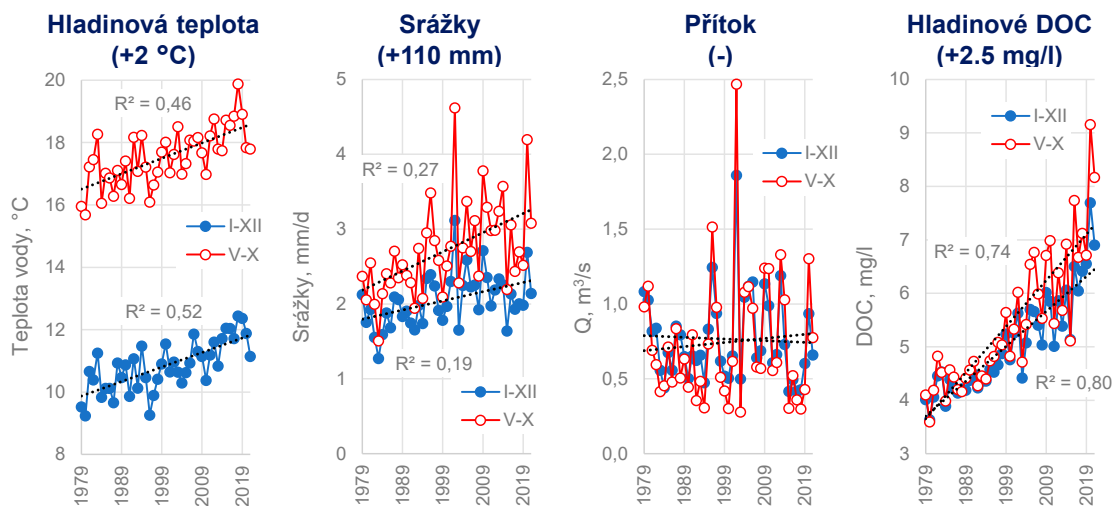
Obrázek 1. Schéma modelového systému



Obrázek 2. Dynamika změn kvality vody v nádrži Římov

Klimatická změna se během existence nádrže Římov projevila zvýšením průměrných ročních teplot vody o 2 °C, zvýšením srážek a nárůstem průměrné roční koncentrace DOC 1,7násobně (obr. 3). Velikost přítoku do nádrže se neměnila, ale v posledních 30 letech se zřetelně zvýšila jeho meziroční rozkolísanost, a to hlavně v teplém období roku. Oteplení vedlo k prodloužení období letní stratifikace, tj. produkční sezóny, naopak doba zimní stratifikace a zalednění se výrazně zkrátilo. V posledním desetiletí nádrž u hráze 4krát v zimě nezamrzla; nádrž se tedy začíná

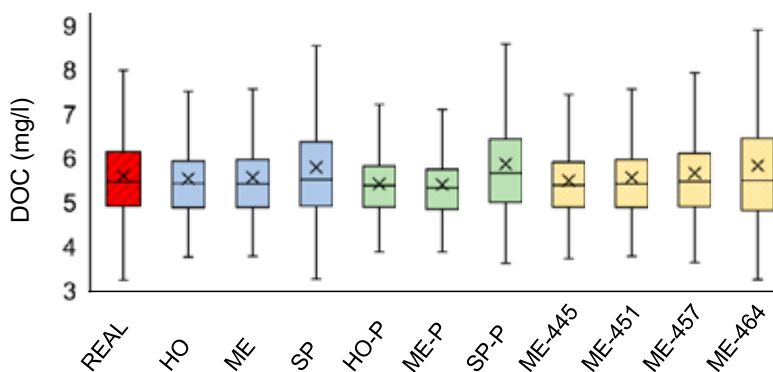
měnit na monomiktickou. Z hlediska vodárenského využití nádrže je důležité, že rostoucí trend koncentrace DOC existuje nejen v hladinové vrstvě, ale také ve vodárenském odběru, ve kterém se průměrné hodnoty DOC 3–4 mg l⁻¹ z 80. let minulého století v současnosti zvýšily na 4–6 mg l⁻¹. Anoxie v hypolimnionu nádrže nevykazovala oproti jiným ukazatelům žádné trendy snižování či zvyšování, očividně z důvodu velké variability v důsledku závislosti na průtoku a na hloubce vypouštění.



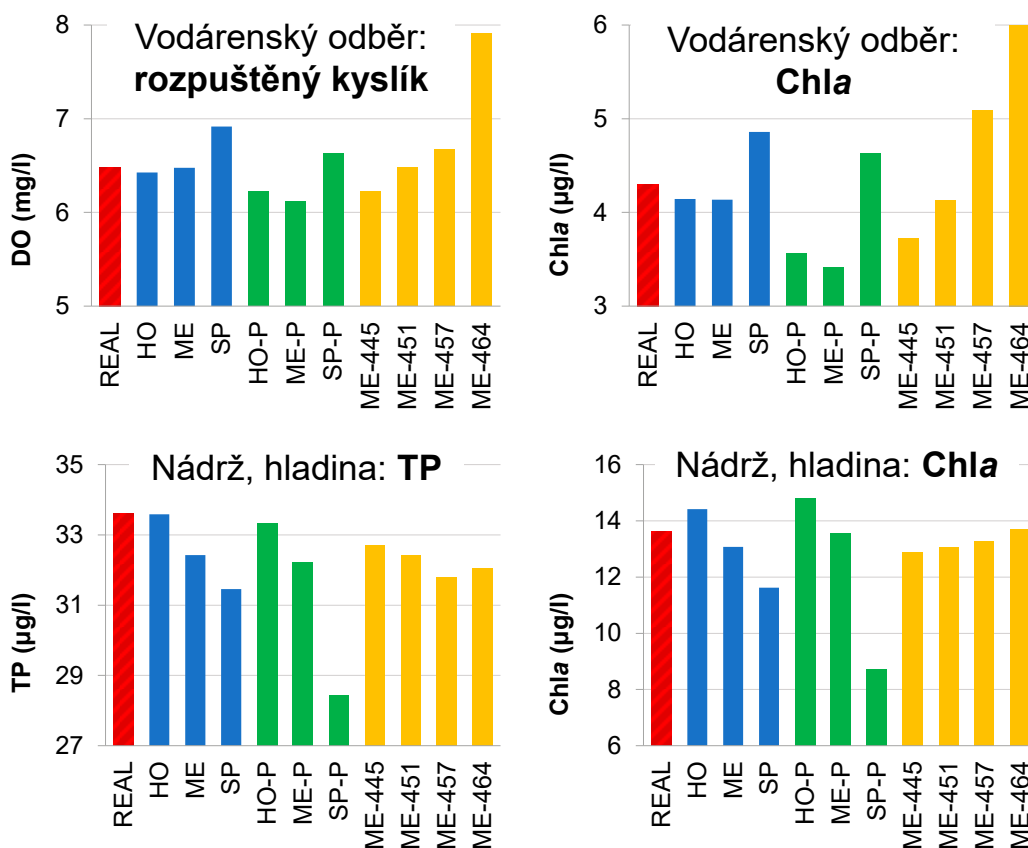
Obrázek 3. Vývoj během existence nádrže Římov 1979–2021

Výsledky modelových scénářů různých způsobů řízení nádrže jsou znázorněny na obr. 4 a 5. Kvantilová charakterizace rozdělení denních hodnot DOC ve vodárenském odběru na obr. 4 ukazuje, že modelové výsledky s reálným způsobem vypouštění a odběru (REAL) se od scénářů s hladinovým vypouštěním (HO) a vypouštěním z metalimnionu (ME) příliš nelišily, ale ve scénáři se spodním vypouštěním (SP) byly medián, průměr (na obr. 4 křížek) a horní kvartil DOC vyšší, což bylo zjevně kvůli hromadění znečištěné vody z letních přívalových přítoků stratifikované proudících do horních vrstev nádrže. Tytéž vypouštěcí varianty, ale při naplněné nádrži (tj. scénáře HO-P, ME-P a SP-P) ukázaly, že horní vypouštění hodnoty DOC ještě více snižuje, ale při spodním vypouštění DOC naopak narůstá. Čtveřice scénářů na obr. 4 vpravo testovala vliv použitého odběrového okna. Vodárenský odběr ze dvou spodních odběrových oken na kótách

444,5 a 450,5 m n.m. (tj. scénáře ME-445 a ME-451) měl rozdělení hodnot DOC velmi podobné, ale při odběru z vyšších odběrových oken se koncentrace DOC výrazně zvyšovaly. Vyhodnocení pro další ukazatele na obr. 5 ukázalo také, že kvalitu vody významně ovlivňuje hloubka odtoku, objem nádrže a výběr odběrového okna. Spodní vypouštění zlepšovalo kyslíkový režim a snižovalo produktivitu nádrže, ale způsobovalo delší výskyt zvýšených koncentrací rozpuštěného organického uhlíku (DOC) a biomasy fytoplanktonu ve vodárenském odběru. Vypouštění z hladiny nebo metalimnia vedlo k vyšším hladinovým koncentracím fytoplanktonu a fosforu ve srovnání s odtokem ze spodních vrstev, nicméně DOC v odběru byl přitom nejnižší. Nejlepší kvalita vody byla při největším naplnění nádrže a s použitím odběrových oken na kótách 444,5 a 450,5 m n.m.



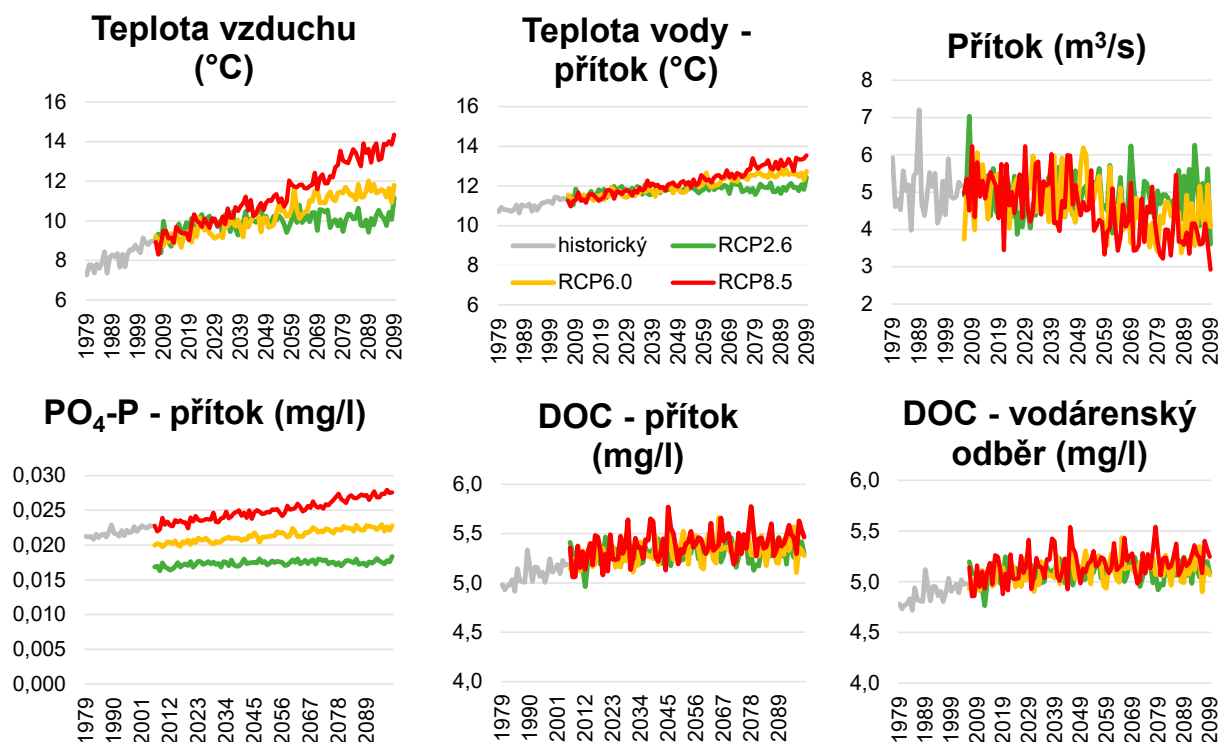
Obrázek 4. Krabicové grafy DOC ve vodárenském odběru ve scénářích řízení nádrže



Obrázek 5. Porovnání kvality vody ve scénářích řízení nádrže

Scénáře změny klimatu a vývoje kvality vody (obr. 6) ukazují, že se lokální římovské klima bude vyvíjet v rámci shodě s obecnými trendy pro reprezentativní směry vývoje koncentrací skleníkových plynů (RCP) podle IPCC [9]. Průměrná teplota vzduchu se v roce 2100 zvýší v nejhorším scénáři podle RCP8,5 až o 5 °C, kdežto v optimistickém scénáři podle RCP2,6 jen o zhruba 1 °C. Teplota vody do roku 2100 vzroste o 1 až 3 °C. Přítok do nádrže se do poloviny 21. století příliš měnit nebude, ale po roce 2050 začne klesat. S růstem teploty lze očekávat narůstání koncentrace fosforečnanového fosforu v odtoku z povodí, a to jak v nejhorším scénáři

podle RCP8,5, tak ve scénářích s šetrnějším vztahem lidské společnosti ke znečišťování toků a využití krajiny. DOC v přítoku do nádrže Římov podle scénářových výpočtů poroste až do poloviny století a pak se nárůst zastaví. Souběžně nárůstem přítokové koncentrace DOC poroste také DOC ve vodárenském odběru z nádrže. Tento nárůst nebude možné kompenzovat optimalizací řízení nádrže, protože tyto scénáře již jsou nastaveny na optimální způsob vypouštění (tj. vypouštění z metalimnionu a odběr z okna 450,5 m n.m.).



Obrázek 6. Scénáře dopadů vývoje klimatu na kvalitu vody

Závěry

- Nejlepší kompromisní strategie provozu a řízení nádrže pro optimalizaci kvality vodárenského odběru zahrnuje: (a) vypouštění vody z hloubky cca 5 m v období letní stratifikace, popř. během celého roku, (b) šetrné využití zásobního prostoru nádrže bez nadlepšování pro výrobu hydroelektriny a udržující vysoké naplnění nádrže, (c) snaha o co největší snížení vnějšího zatížení nádrže fosforem.
- Dopady změny klimatu na kvalitu vody v Římově jsou významné, protože zde přítokové koncentrace DOC a P rostou s teplotou a proměnlivostí průtoku.
- Systém provozu nádrže může částečně zmírnit dopady klimatických změn, ale kvalita vody pro vodárenský odběr zřejmě již nikdy nebude lepší než v prvním desetiletí po výstavbě nádrže, tedy v 80. letech 20. století.

Poděkování

Tato práce vznikla s podporou projektů „Pitná voda – připravenost na budoucnost“, reg. č. 2020TO01000202, financovaného TAČR v programu KAPPA s podporou Norských fondů, a „Biomaniplulace jako nástroj zlepšení kvality vody nádrží“, reg. č. CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_025/00 07417, financovaného z EFRR/ESF. Klimatická data byla poskytnuta projektem ISIMIP. Autoři děkují státnímu podniku Povodí Vltavy za umožnění a podporu výzkumu na nádrži Římov.

Literatura

- [1] IMBERGER, J. a J. PATTERSON. A dynamic reservoir simulation model: DYRESM 5. In: FISCHER, H. *Transport models for inland and coastal waters*. Academic Press, New York, 1981, s. 310–361.
- [2] ANDERSON M. A, A. KOMOR a K. IKEHATA. Flow routing with bottom withdrawal to improve water quality in Walnut Canyon Reservoir, California. *Lake and Reservoir Management*, 2014, roč. 30, s. 131–142.
- [3] ZOUABI-ALOU, B., S. M. ADELANA a M. GUEDDARI. Effects of selective withdrawal on hydrodynamic and water quality of a thermally stratified reservoir in the southern side of the Mediterranean Sea: a simulation approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2015, roč. 187, článek č. 292.
- [4] WANG, S, X. QIAN, H. BO-PING a kol. Effects of different operational modes on the flood-induced turbidity current of a canyon-shaped reservoir: case study on Liuxihe Reservoir, South China. *Hydrological Processes*, 2013, roč. 27, s. 4004–4016.
- [5] HEJZLAR J., J. BOROVEC, V. ROHLÍK, Z. HAIDER a J. OPELKA. Vliv režimu vypouštění na jakost vody ve vodárenské nádrži Římov. *Vodní hospodářství*, 1996, roč. 46, s. 303–306.
- [6] ROHLÍK, V., J. HEJZLAR a J. VESELÝ. Řízení jakosti vody ve vodárenské nádrži Římov. In: GELLER, W. a kol. (Eds.). *MKOL, 9. Magdeburský seminář o ochraně vod*. Berlín: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Povodí Labe, a. s., 2000, s. 92–93.
- [7] CROKE, B.F.W., W.S. MERRITT a A.J. JAKEMAN. A dynamic model for predicting hydrologic response to land cover changes in gauged and ungauged catchments. *Journal of Hydrology*, 2004, roč. 291, č. 1, s. 115–131.
- [8] WELLS S.A. *CE-QUAL-W2: A two-dimensional, laterally averaged, hydrodynamic and water quality model, Version 4.2, User manual*. Department of Civil and Environmental Engineering, Portland State University, Portland, OR, 2019, 142 s.
- [9] IPCC: Summary for Policymakers, In: MASSON-DELMOTTE, V. a kol. (eds) *Global warming of 1.5 C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2018, 32 s.
- [10] GOLUB M., W. THIERY, R. MARCÉ a kol. A framework for ensemble modelling of climate change impacts on lakes worldwide: the ISIMIP Lake Sector. *Geoscientific Model Development*, 2022, roč. 15, s. 4597–4623.
- [11] NASH, J. E. a J.V. SUTCLIFFE. River flow forecasting through conceptual models, part I – A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 1970, roč. 10, s. 282–290.
- [12] HEJZLAR, J. Možnosti zlepšování kvality vody ve vodárenské nádrži Římov optimalizací režimu vypouštění. *Vodní hospodářství*, 1989, roč. A39, s. 236–245.

DOPADY KLIMATICKÉ ZMĚNY NA ZAJIŠTĚNÍ ODBĚRŮ VODY Z VODÁRENSKÝCH NÁDRŽÍ

Adam Vizina a Petr Vyskoč

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce,
Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6, tel. +420 220 197 425, petr.vyskoc@vuv.cz

Abstrakt

S využitím modelu hydrologické bilance Bilan a simulačního modelu zásobní funkce vodohospodářských soustav byl vyhodnocen možný dopad klimatické změny na zajištění vodárenských odběrů z vodních nádrží ČR. Identifikováno bylo riziko nedostatečného zajištění současných skutečných i povolených odběrů vody.

Klíčová slova: klimatická změna; vodní zdroje; nedostatek vody; zásobování pitnou vodou; vodní bilance.

Abstract

Using the hydrological balance model Bilan and a simulation model of the storage function of water management systems, the potential impact of climate change on the provision of water withdrawals for drinking water supply from reservoirs in the Czech Republic was assessed. The risk of insufficient provision of current actual and permitted water withdrawals was identified.

Keywords: climate change; water sources; water shortage; drinking water supply; water balance.

Úvod

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., se v rámci projektu VI20192022159 „Vodohospodářské a vodárenské a soustavy a preventivní opatření ke snížení rizik při zásobování pitnou vodou“ programu BV III/1-VS Ministerstva vnitra ČR, řešeného v letech 2019 – 2022, zabývá mj. problematikou zajištění odběrů povrchových i podzemních vod využívaných pro zásobování pitnou vodou v podmínkách klimatické změny. Významnou část řešení projektu představuje posouzení zabezpečení vodárenských odběrů z vodních nádrží. Možné dopady klimatické změny na zajištění těchto odběrů byly vyhodnoceny variantně pro scénář HadGEM2 k referenčnímu roku 2050 a scénář oteplení současného klimatu o 2 °C. Posouzena byla zabezpečení jak současných skutečných, tak povolených hodnot odebíraného množství. Dílčí výsledky byly podrobně publikovány v [1]. Tento příspěvek shrnuje postup řešení a doplňuje některé další výsledky.

Metodika

Řešení vychází z metodických požadavků specifikovaných v [2]. Postup lze rozdělit do dvou navazujících částí. První část se zabývala vyhodnocením dopadů klimatické změny na režim průtoků pomocí hydrologického modelování, navazující část se zabývala vyhodnocením bilance zdrojů a potřeb vody pomocí nástrojů vodohospodářské bilance a simulačního modelování.

Současné a výhledové klimatické podmínky a modelování hydrologické bilance

Pro samotné hodnocení současných podmínek byla využita data za období 1941–2017, a to časové řady teplot vzduchu, srážkových úhrnů a odtoků. Pro tvorbu scénářů změny klimatu v kontextu odhadu změn hydrologické bilance se v České republice standardně využívá tzv. přírůstková metoda, zejména pro studie v měsíčním kroku. Tato metoda spočívá v transformaci pozorovaných dat tak, aby změny transformovaných veličin odpovídaly změnám odvozeným ze simulací klimatických modelů. V měsíčním kroku se běžně uvažují změny průměrných měsíčních úhrnů srážek a průměrné měsíční teploty. V denním kroku je nutné uvažovat i změny variability veličin. Pro tvorbu scénářů změny klimatu byla proto využita pokročilá přírůstková (ADC - Advanced Delta Change) metoda ADC [3]. Zvolenou metodou byly transformovány vybrané [4] Globální cirkulační modely (GCM) pro dílčí povodí, jedná se o: NorESM1-M +, MPI-ESM-LR + HadGEM2-ES +, GISS-E2-H + MRI-ESM1 +, CanESM2 + GFDL-CM3. Pro samotné hodnocení byl vybrán model HadGEM2-ES, který byl tak doporučen ve studiích [5] doporučující střední scénář dopadů klimatické změny ve vodním hospodářství. Pro hodnocení vodohospodářské bilance byly vybrány varianty resp. scénáře: „0“ – označující současné podmínky; „2“ – označující současné klima + 2 °C a „HadGEM2“ – označující klima založené na výstupech GCM HadGEM2-ES RCP4.5. K modelování hydrologické bilance byl použit model Bilan [6, 7, 8], je vyvíjen více jak 20 let na oddělení hydrologie Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v. v. i. Podrobný popis modelu je uveden na bilan.vuv.cz.

Postup modelování dopadu změny klimatu na hydrologický režim lze stručně shrnout následovně:

1. Zvolený hydrologický model je pro vybrané povodí nakalibrován pomocí pozorovaných dat. Hydrologický model by měl být fyzikálně založen, aby bylo zaručeno, že i pro nepozorované podmínky bude poskytovat fyzikálně přijatelné výsledky.
2. Vstupní veličiny z globálního, popřípadě vnořeného regionálního klimatického modelu jsou převedeny na scénářové řady pro jednotlivá povodí.
3. Pomocí nakalibrovaného hydrologického modelu a scénářových řad je provedena simulace hydrologické bilance pro scénářové období.
4. Modelované průtoky pro současnost a výhledová období jsem korigována v jednotlivých měsících pomocí kvantilové metody [9].

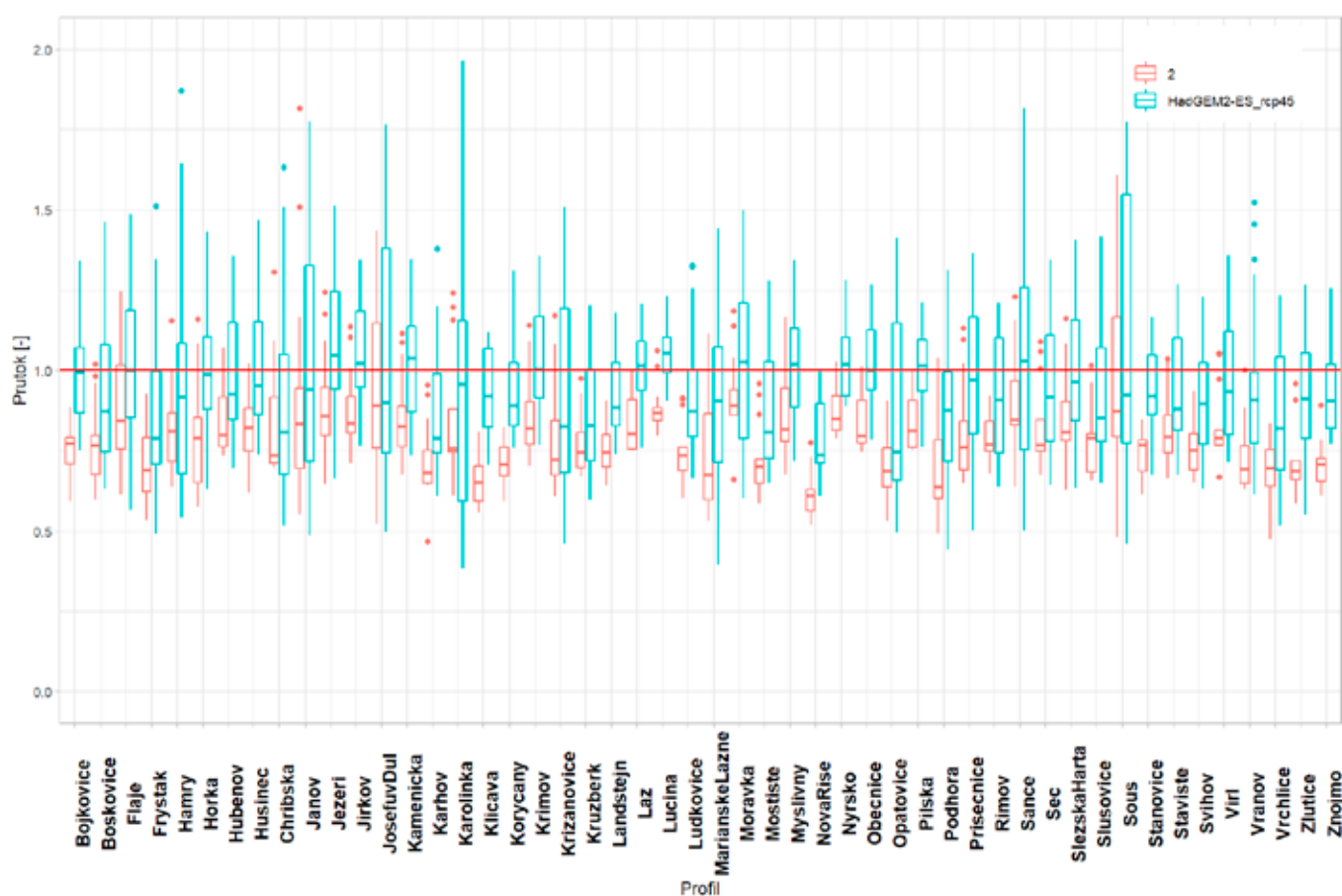
Vyhodnocení zabezpečení odběrů vody

Bilance požadavků na odběry a dostupných zdrojů byla zpracována pomocí programového vybavení simulačního modelu zásobní funkce vodohospodářských soustav [10]. Dopad klimatické změny na zdroje vody v modelu reprezentují výše popsané modelované časové řady přirozených průměrných měsíčních průtoků a výparu vody v profilech vodních nádrží v celkové délce 60 let. Vstupní data modelu týkající se skutečných a povolených odběrů vody, objemu zásobního prostoru vodních nádrží, kapacity převodu vody a požadavků na minimální průtoky pod vodními nádržemi byly převzaty z evidence vedené podle [11]. Do řešení byly zahrnuty i požadavky na vodárenské odběry zajišťované nadlepšováním průtoků do profilů pod vodními nádržemi (Nýrsko, Lučina), požadavky na případné další odběry zajišťované těmito nádržemi (průmysl, zemědělství) a požadavky na minimální průtok pod nádržemi. Pro zajištění odběrů a minimálních průtoků bylo při simulaci uvažováno využití celého zásobního prostoru nádrží (nebylo tedy uvažováno hospodaření podle dispečerských grafů vymezujících např. prostor volné manipu-

lace). Zajištění vodárenských odběrů bylo v každém časovém kroku simulace posuzováno jako prioritní. Do vyhodnocení byly zahrnuty možnosti spolupráce či zastupitelnost vodních nádrží. Zabezpečení bylo vyhodnoceno pro vodárenské odběry zajišťované vodními nádržemi evidovanými podle [11].

Výsledky řešení

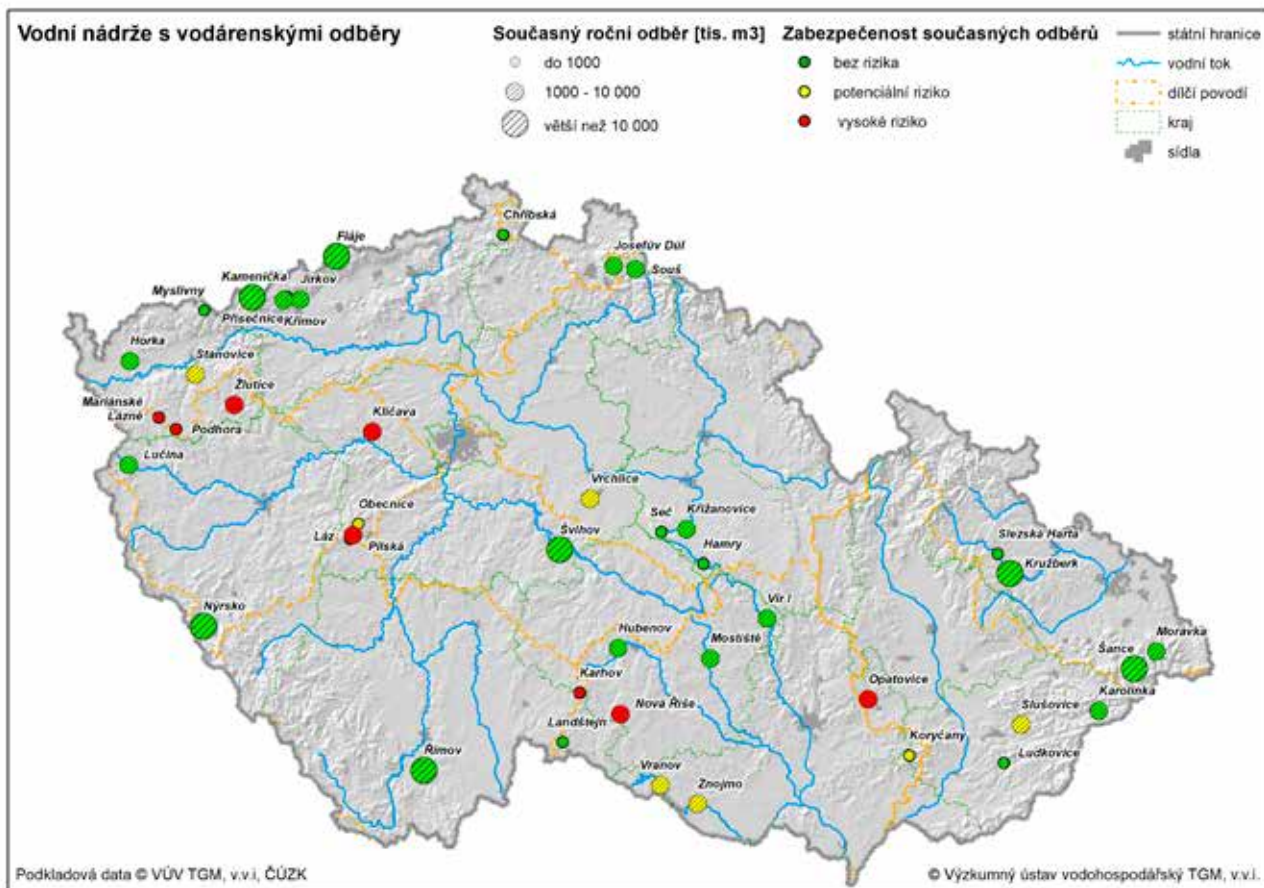
Výsledkem výše popsaného postupu modelování hydrologické bilance byla kvantifikace možných dopadů klimatické změny na hydrologické charakteristiky (průtoky a výpar z vodní hladiny a evapotranspirace krajiny) a následné vyhodnocení zabezpečení vodárenských odběrů zajišťovaných vodními nádržemi v těchto podmínkách. Na obr. 1 jsou uvedeny změny přirozených odtoků (scénář/současnost) pro scénáře „2“ a HadGEM2 formou grafu typu boxplot.



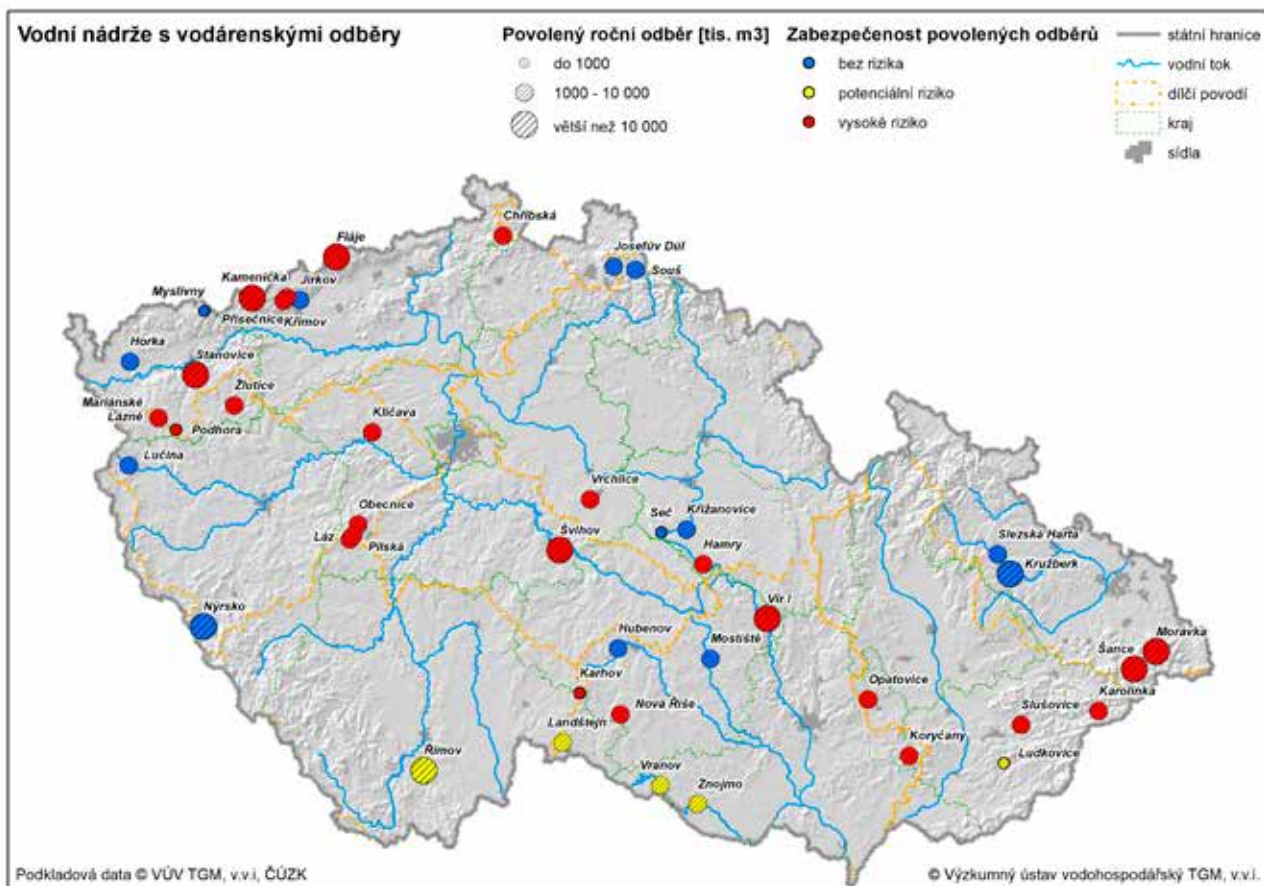
Obrázek 1. Snížení odtoku z povodí vodárenských nádrží.

Zabezpečení vodárenských odběrů byla kvantifikována prostřednictvím hodnoty zabezpečení podle trvání p_t definované [12]. Výsledky jsou pro posuzované vodní nádrže ve zjednodušené formě ilustrovány na obr. 2 pro variantu současných odběrů vody (uvažovány byly maximální roční odběry za období let 2014-2019) a na obr. 3 pro variantu povolených odběrů vody. Riziko nedostatečného zajištění odběrů je zde vyjádřeno vzhledem k dosažení zabezpečení podle trvání

$p_t \geq 99,5 \%$. Jako vysoce rizikové jsou označeny vodní nádrže se zabezpečeností odběrů nižší než $99,5 \%$ v obou posuzovaných scénářích dopadu klimatické změny, jako potenciálně rizikové jsou označeny vodní nádrže se zabezpečeností odběrů $p_t \geq 99,5 \%$ pouze u (příznivějšího) scénáře HadGEM2 a jako bez rizika jsou označeny vodní nádrže s odběry zajištěnými s $p_t \geq 99,5 \%$ u obou posuzovaných scénářů.



Obrázek 2. Riziko zajištění současných skutečných vodárenských odběrů v podmínkách klimatické změny



Obrázek 3. Riziko zajištění povolených vodárenských odběrů v podmínkách klimatické změny

Závěr

Cílem výše popsaného řešení bylo identifikovat možná rizika dopadu klimatické změny na zajištění vodárenských odběrů vodními nádržemi. S ohledem na značné nejistoty jak v predikci scénářů klimatické změny, tak v budoucím vývoji požadavků na vodárenské odběry, bylo zvoleno variantní řešení: posouzeno bylo zajištění jak současných skutečných, tak povolených odběrů, a to pro scénář klimatické změny HadGEM2 k referenčnímu roku 2050 a (méně příznivý) scénář oteplení současného klimatu o 2 °C. Do výsledků řešení se výrazně promítá rozdíl mezi současnými skutečnými a povolenými hodnotami odběrů (v souhrnu u posuzovaných vodních nádrží tvoří skutečné odběry cca polovinu povoleného ročního množství odběru). Podrobné výsledky řešení spolu s dalšími výstupy projektu budou po jeho dokončení koncem roku 2022 dostupné na adrese: heis.vuv.cz/projekty/rzv.

Poděkování

Příspěvek vznikl na základě výzkumu prováděného v rámci projektu VI20192022159 „Vodohospodářské a vodárenské a soustavy a preventivní opatření ke snížení rizik při zásobování pitnou vodou“ programu BV III/1-VS, který financuje Ministerstvo vnitra ČR.

Literatura

- [1] ADAM VIZINA, PETR VYSKOČ, MARTINA PELÁKOVÁ, JIŘÍ PICEK, ADAM BERAN, ROMAN KOŽÍN. Zabezpečení odběrů vody z vodárenských nádrží v podmínkách klimatické změny. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 2021, roč. 63, č. 3, s. 4-18.
- [2] BERAN, A. a kol. *Metodika pro navrhování adaptačních opatření k eliminaci dopadů nedostatku vody*. VÚV TGM, v. v. i., 2019, certifikovaná metodika MZe. ISBN 978-80-87402-70-2.
- [3] HANEL, M., VIZINA, A., MARTÍNKOVÁ, M., & FENDEKOVÁ, M. *Changes of drought characteristics in small Czech and Slovakian catchments projected by the CMIP5 GCM ensemble*. 2014.
- [4] ŠTĚPÁNEK, P. a kol. (2019) *Očekávané klimatické podmínky v České republice*. 2019. Vydáno v rámci projektu: „SustES – Adaptační strategie pro udržitelnost ekosystémových služeb a potravinové bezpečnosti v nepříznivých přírodních podmínkách“ (CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000797)“. ISBN. 978-8-87902-28-8.
- [5] VIZINA, A. HANEL, M. a kol. *Střední scénář klimatické změny pro vodní hospodářství v České republice, zprávy pro státní podniky povodí*. VÚV TGM v. v. i., 2019.
- [6] TALLAKSEN, L. M., & VAN LANEN, H. A. (Eds.). *Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater*. 2004.
- [7] VIZINA, A., HORÁČEK, S., & HANEL, M. *Recent developments of the BILAN model*. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 2015, roč. 57, č. 4-5, s. 7-10.
- [8] MELIŠOVÁ, E., VIZINA, A., STAPONITES, L. R., & HANEL, M. The Role of Hydrological Signatures in Calibration of Conceptual Hydrological Model. *Water*, 2020, 12(12), 3401.
- [9] GUDMUNDSSON, L., BREMNES, J. B., HAUGEN, J. E., & ENGEN-SKAUGEN, T. Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations—a comparison of methods. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2012, 16(9), 3383-3390.
- [10] PICEK, J., VYSKOČ, P. a ZEMAN, V. *Simulační model množství povrchových vod: zásobní funkce vodohospodářské soustavy*. Praha: VÚV TGM v. v. i., 2008.
- [11] Vyhláška č. 431/2001 Sb., o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci.
- [12] ČSN 75 2405 Vodohospodářská řešení vodních nádrží.

KONCEPT VODOHOSPODÁŘSKÉHO ŘEŠENÍ VYBRANÝCH NÁDRŽÍ Z GENERELU LAPV V POVODÍ DYJE PRO HODNOCENÍ ADAPTAČNÍCH OPATŘENÍ PROTI DOPADŮM KLIMATICKÝCH ZMĚN

Stanislav Kotaška¹, Jaromír Říha², Evžen Zeman³, Milan Fischer⁴, Miroslav Trnka⁵

¹ Ústav vodních staveb, FAST VUT v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno, kotaska.s.fce.vutbr.cz

² Ústav vodních staveb, FAST VUT v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno, riha.j.fce.vutbr.cz

³ Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, zeman.e@czechglobe.cz

⁴ Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, fischer.m@czechglobe.cz

⁵ Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, trnka.m@czechglobe.cz

Abstrakt

Projekt Adapt-Dyje, zpracováváný ve spolupráci Povodí Moravy s.p. a Ústavu výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., je zaměřen na sestavení detailního hydrogeologického a hydrodynamického simulačního nástroje pro analýzu vodní bilance a na jeho využití pro vyhodnocení vhodnosti a efektivity navrhovaných adaptačních opatření v podmínkách změny klimatu s dopady na tři hlavní segmenty uživatelů ze zemědělské, lesnické a vodohospodářské oblasti.

Mezi technická adaptační opatření patří výstavba vodárenských nebo víceúčelových akumulčních kapacit. Současný generel lokalit pro umělou akumulaci vod (LAPV) obsahuje pouze základní technické a vodohospodářské parametry vybraných vodních děl. V rámci vodohospodářské bilance posuzovaných povodí byl realizován užší výběr potenciálních vodních děl, pro která byl realizován koncept vodohospodářských řešení nádrží včetně podkladů pro manipulaci s vodou. Výsledky těchto studií byly zasazené do reálného rámce relevantních hydrologických a klimatických proměnných. V tomto článku jsou uvedeny výsledky podrobnějšího vodohospodářského a technického řešení vodních nádrží Borovnice, Kuřimské Jestřabí, Vysočany, Brodce a Plaveč.

Klíčová slova: vodohospodářská bilance; klimatické změny; vodní nádrž; území chráněná pro akumulaci povrchových vod.

Abstract

The Adapt-Dyje project, developed in the co-operation between Povodí Moravy s.p. and the Institute of Global Change Research of the AV ČR, v. v. i., is focused on the development of detailed hydrogeological and hydrodynamic simulation tool for water balance analysis and its use to evaluate the suitability and effectiveness of proposed adaptation arrangements under climate change conditions with impacts on three main segments - the agricultural, forestry and water management sectors.

The technical adaptation arrangements include the potential construction of water supply reservoirs or multipurpose storage facilities. The current generation of sites for water storage (LAPV) includes only the basic technical and water management parameters of selected hydraulic structures. As part of the water management balance of the assessed catchment areas, a shortlist of potential hydraulic structures, for which a concept of

reservoir design including the basis for water operating, has been implemented. The results of these studies were set in a realistic framework of relevant hydrological and climatic variables.

This paper presents the results of more detailed water management and technical solutions for the Borovnice, Kuřimské Jestřabí, Vysočany, Brodce and Plaveč reservoirs.

Keywords: Water balance; climate change; water reservoir; protected areas for surface water storage.

Úvod

Povodí Dyje patří mezi povodí s nejvýraznějšími negativními dopady klimatických změn a největší zranitelností vodních zdrojů v České Republice. V současnosti se zvažuje a případně realizuje celé spektrum adaptačních opatření na omezení negativních dopadů klimatické změny, která mají charakter přírodně blízkých i technických opatření a jsou uvažována v ploše povodí i v relevantních lokalitách. Pro reálné posouzení efektivity těchto opatření a jejich vzájemných vazeb je však zapotřebí integrovaných nástrojů se schopností přesné kvantifikace vodní bilance v hydrologickém povodí. Tyto aspekty je zapotřebí řešit v kontextu klimatické změny a vývoje potřeb využití vodních zdrojů. Projekt Adapt-Dyje, který vznikl spoluprací Povodí Moravy s.p. a Ústavu výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i. (ÚVGZ), je zaměřen nejen na sestavení a kalibraci detailního hydrogeologického a hydrodynamického 3D simulačního nástroje pro analýzu vodní bilance, ale především na využití tohoto simulačního nástroje pro vyhodnocení vhodnosti a efektivity navrhovaných adaptačních opatření v podmínkách změny klimatu s dopady na tři hlavní segmenty uživatelů z oblasti zemědělské, lesnické a vodohospodářské.

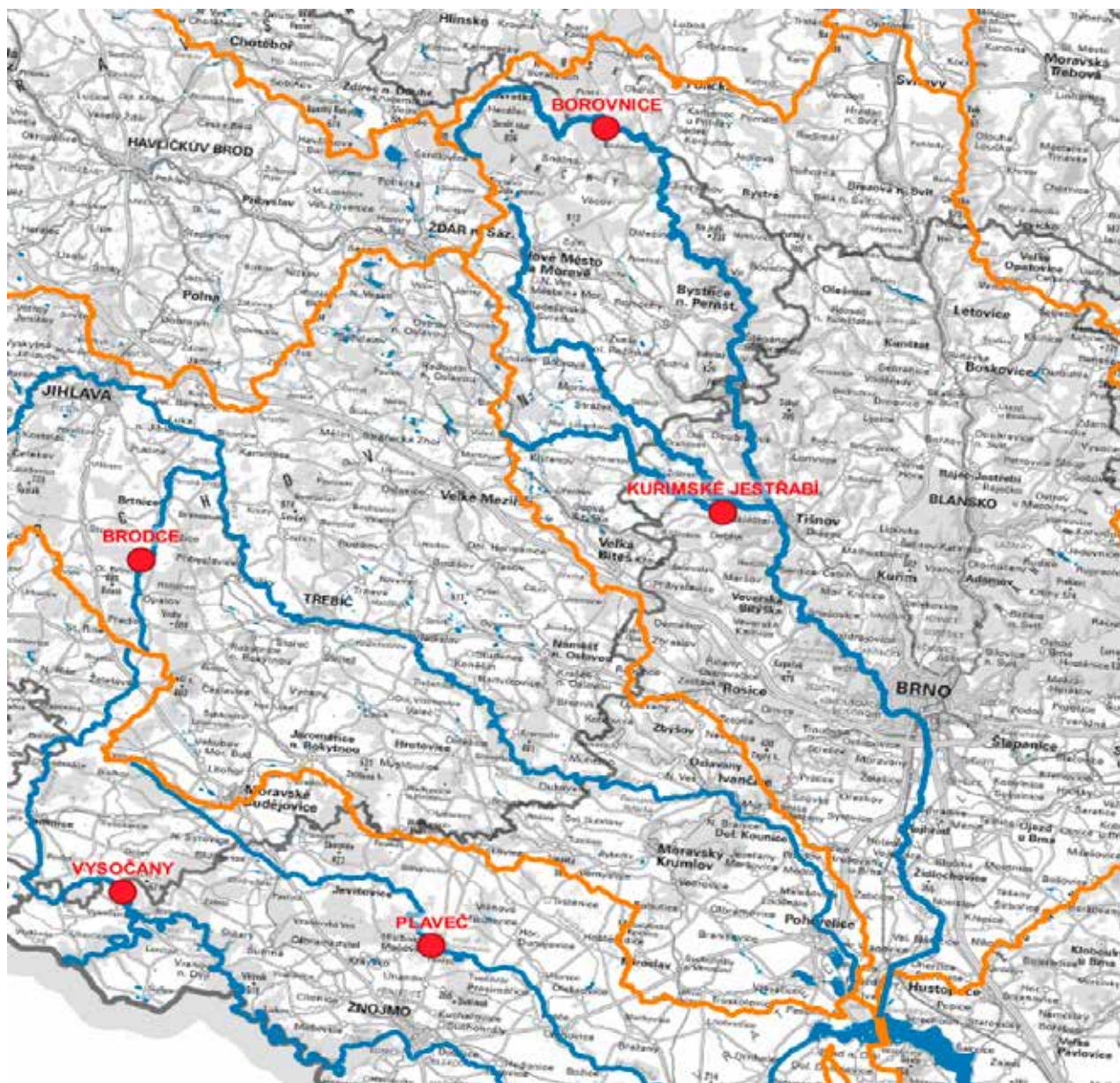
Mezi technická adaptační opatření patří v současné době propojení autonomních vodárenských systémů pomocí dodatečných vodovodních řadů a objektů. Mezi další technická opatření lze uvažovat i potenciální výstavbu nových akumulčních kapacit. Současný generel lokalit pro umělou akumulaci vod (LAPV – poslední aktualizace z roku 2020 [2]) představuje seznam lokalit s cílem ochrany těchto území. Tento seznam poskytuje pouze základní technické a vodohospodářské parametry, které neumožňují posoudit vhodnost těchto potenciálních vodních děl v rámci vodohospodářské bilance posuzovaných povodí a v takovém stavu přípravy je nelze zasadit do vztahů vodohospodářské bilance určeného povodí v požadovaném detailu. Proto byl

realizován, na základě odborné diskuse s experty Povodí Moravy, s. p. užíjí výběr potenciálních vodních děl ze seznamu LAPV v povodí Dyje. Následně byl pro tyto lokality realizován koncept vodohospodářských řešení nádrží včetně podkladů pro manipulaci s vodou. Výsledky těchto dílčích studií byly zasazené do reálného rámce relevantních hydrologických a klimatických proměnných, které byly poskytnuty experty ČHMÚ (pozorované časové řady) a ÚVGZ (plošná data a klimatické scénáře budoucího vývoje).

V souvislosti s modelováním vlivu klimatických změn na vodohospodářskou bilanci v povodí Dyje bylo tedy realizováno podrobnější vodohospodářské a technické řešení pěti vodních děl v povodí Dyje zahrnutých v Generelu LAPV. Jmenovitě se jednalo o vodní díla (VD) Borovnice, Kuřimské Jestřabí, Vysočany, Brodce a Plaveč (obr. 1). Jejich potenciálním účelem je posouzení možnosti kombinovaných adaptačních opatření pro navýšení klesajících bezdeštných průtoků v říční síti v určených lokalitách a bilančních profilech, a tedy i možné další nadlepení průtoků

pod vodním dílem s vyšší zabezpečeností a zajištění akumulované vody pro vodárenské účely, popř. závlahy. Provedené koncepční studie vycházejí z dřívějších podkladů, na základě dostupných zpřesňujících morfologických, geologických hydrologických a dalších podkladů a provedených vodohospodářských a hydraulických výpočtů byly stanoveny základní parametry jednotlivých vodních děl. Šlo zejména o přesnější umístění osy hráze, doporučení na její typ, stanovení rozsahu zátopy pro jednotlivé prostory nádrže, charakteristiky funkčních zařízení a stanovení zabezpečených odtoků z nádrží. Současně byla formulována doporučení pro manipulaci s vodou.

Studie ukazují, že zvažované nádrže mohou mít pozitivní vliv v rámci zajištění zabezpečeného odběru vody včetně minimálního zůstatkového průtoku v území pod vodním dílem, zároveň mají jednoznačný akumulační účinek na zvýšené přímé odtoky z povodí a zároveň vykazují částečný transformační účinek.



Obrázek 1. Situace navrhovaných nádrží v povodí Dyje (Plaveč, Brodce, Vysočany, Kuřimské Jestřabí, Borovnice)

Návrh nádrží

Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod [2] a základní zásady využití těchto území (2020) navazují na Směrný vodohospodářský plán z roku 1988 [1], který vymezoval územní ochranu pro vybrané lokality. Navazující aktualizace až do současnosti identifikují lokality, které jsou morfologicky, geologicky a hydrologicky vhodné pro akumulaci povrchové vody. Tím mohou VD přispívat ke snížení nepříznivých účinků povodní, období sucha, popř. k omezení důsledků klimatických změn. V zájmovém povodí Dyje eviduje současný LAPV [2] 13 nádrží.

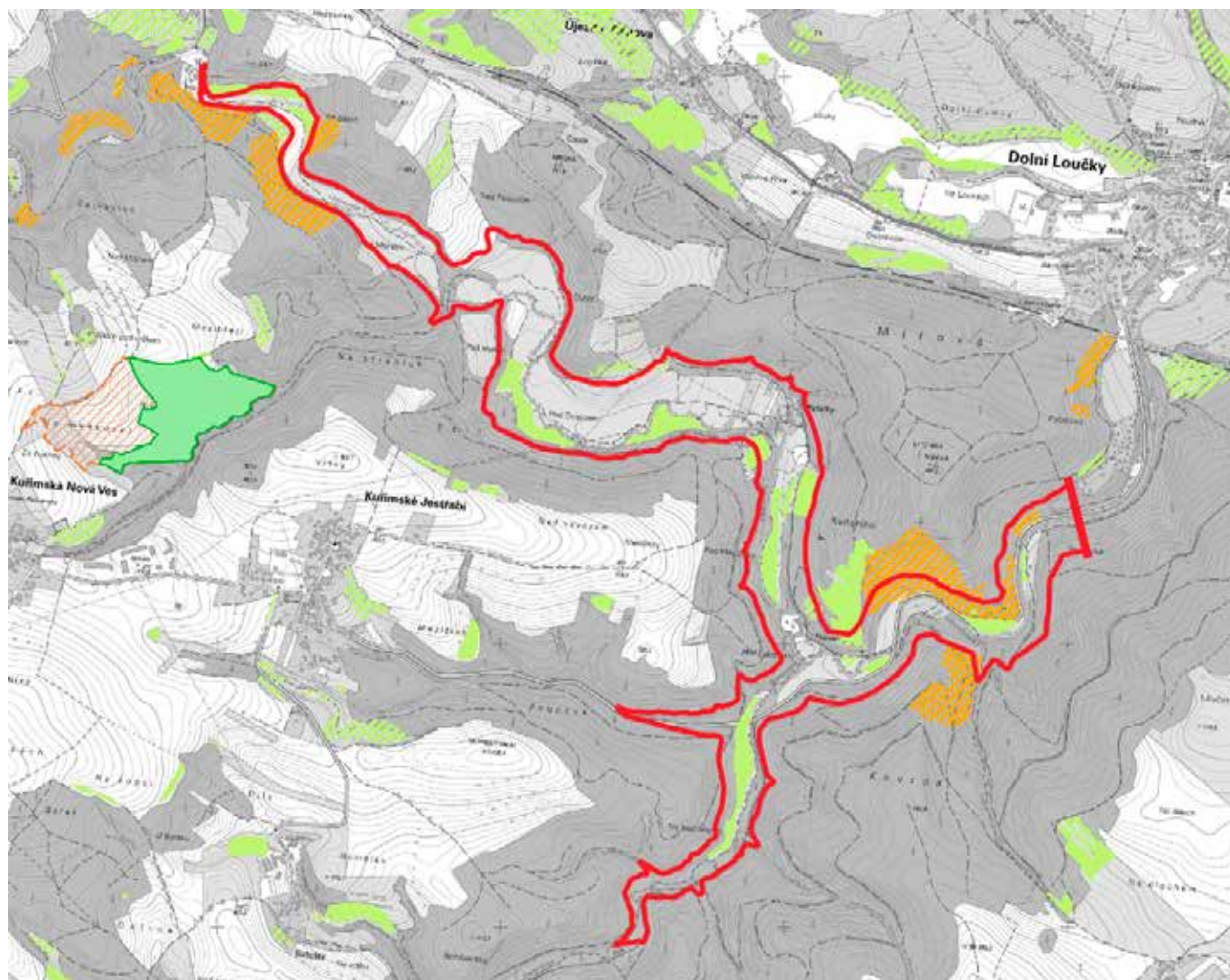
Volba lokalit pro podrobnější řešení zohledňovala následující základní hlediska:

- vhodné podmínky z hlediska morfologie, hydrologie a geologie,
- předpoklady pro zajištění dobré jakosti akumulované vody,
- minimalizace dopadů na stávající osídlení, příp. známé rozvojové aktivity.

Předmětem podrobnějšího řešení bylo 5 vodních děl v povodí Dyje, které svými charakteristikami a umístěním dávají vyšší využitelnost v adaptační strategii: Borovnice, Kuřimské Jestřabí (obr. 2), Vysočany, Brodce a Plaveč (obr.1, tab. 1).

Předmětem řešení bylo:

- stanovení přesného umístění osy hráze na základě geologického profilu,
- odvození základních charakteristik vodního díla:
 - kóta koruny hráze,
 - kóta koruny bezpečnostního přelivu, typ a parametry přelivu,
 - parametry spodních výpustí – počet, kóta osy, kapacita při různých kótách hladiny v nádrži,
 - parametry odběrných zařízení – kóta osy, kapacita při různých kótách hladiny v nádrži,
- transformace povodní nádrží:
 - stanovení kóty hladiny pro návrhovou a kontrolní povodňovou vlnu,
 - hodnocení bezpečnosti VD,
- vodohospodářské řešení nádrže:
 - stanovení kóty hladiny pro stálé nadržení, zásobní a ochranný prostor,
 - stanovení minimálního zůstatkového průtoku (MZP) s porovnáním dle [4],
 - hodnocení zabezpečení průtoků pod vodním dílem,
- koncept manipulačního řádu pro řízení odtoků/odběrů z nádrže, předpis, jak by měl dispečer manipulovat s odtokem vzhledem k hladině v nádrži, případně přítokem do nádrže, předpokládané výjimečné manipulace.



Obrázek 2. Příklad umístění a rozsahu zátopy VD Kuřimské Jestřabí s vyznačením maloplošných chráněných území (oranžová), skalních výchozů, sekundárních trávníků a vřesovišť (světle zelená)

Tabulka 1. Základní hydrologické a VH charakteristiky lokalit

Základní charakteristiky VD	Borovnice	Kuřimské Jestřabí	Vysočany	Brodce	Plaveč
Vodní tok	Svratka	Libochovka	Želetavka	Brtnice	Jevišovka
Říční kilometr	146,000	1,420	1,400	19,500	41,000
ČHP	4-15-01-007	4-15-01-109	4-14-02-048	4-14-02-048	4-14-03-023
Plocha povodí [km ²]	115,700	143,414	369,400	59,710	290,020
Qa [m ³ /s]	0,65	0,586	1,240	0,345	0,534
MZP [m ³ /s]	0,286	0,125	0,131	0,069	0,046
Objem celkový [mil. m ³]	9,07	17,770	24,290	8,970	8,510
Objem zásobní [mil. m ³]	6,11	15,530	19,280	7,180	6,450
Objem ochranný [mil. m ³]	1,300	1,440	3,230	0,700	1,200
Výška hráze [m]	23,00	46,50	44,60	23,80	25,00
Délka hráze v koruně [m]	445	270	214	315	150

Vodohospodářské řešení bylo provedeno simulací provozu všech nádrží samostatně pro cca 40 let dlouhé období s využitím chronologických řad průměrných denních průtoků od roku cca 1980 do roku 2020.

Vodohospodářské řešení bylo provedeno ve většině případů pro dva scénáře řízení odtoku – s konstantním zabezpečovaným odtokem a s proměnným zabezpečovaným odtokem. Cílem bylo nepřipustit snížení hladiny pod úroveň hladiny stálého nadrž-

ní. Zabezpečení byla posuzována podle trvání a podle objemu nedodané vody. Jak je patrné z požadované zabezpečení (tab. 2) až na VD Plaveč (účelem jsou závlahy), jedná se o nádrže s účelem pro dodávku pitné vody, pro které je minimální zabezpečení 98,50 %.

Tabulka 2. Základní užítky VD, transformace PV a konflikty

Užitky VD	Borovnice	Kuřimské Jestřabí	Vysočany	Brodce	Plaveč
Požadovaná zabezpečení [%]	98,50	98,50	98,50	98,50	95,00
Zabezpečený průtok [m ³ /s]	0,650	0,400	0,567	0,265	0,200
Výroba VE [kW]	100	120	187	42	27
Transformace – kulminační přítok/odtok					
Q ₁₀₀ [m ³ /s]	89/78	66/50	78/48	33/23,50	54/50,22
Q ₁₀₀₀ [m ³ /s]	171/158	115/96	135/107	66,70/52,70	119/112,1
Q ₁₀₀ /Q ₁₀₀₀ [%]	12,36/8,23	24,24/19,79	38,45/26,16	40,42/26,57	7,52/6,15
Konflikty					
Zatopené objekty [ks]	23	27	5	29	17
Životní prostředí	mihule potoční, kulíšek nejmenší, ledňáček říční a vydra říční	ouklejka pruhovaná, vydra říční, skokan štihlý, ledňáček říční, ostřice tlapatá	mihule potoční, hrouzek Kesslerů, velevrub tupý, ouklejka pruhovaná, vydra říční	rak říční, čáp černý a svižník polní	ohniváček černočerný, tesařík obrovský, ouklejka pruhovaná, mlok skvrnitý, ledňáček, vydra říční

Závěr

V povodí Dyje bylo předmětem podrobnějšího rozpracování 5 vodních děl, která mají hospodařit s celkovým zásobním objemem cca 54,55 mil. m³, což umožní zajistit odběry s vysokou zabezpečeností v celkovém množství cca 2 m³/s. Přitom dokáží s prakticky stoprocentní zabezpečeností vypouštět požadované minimální zůstatkové průtoky pod vodním dílem a také vyrobit cca 476 kW čisté energie (tab. 3). Závěrem lze konstatovat, že uvedená vodní díla představují minimální zásahy do stávající infrastruktury s omezeným vlivem na přírodu a krajinu. Je zřejmé, že VD mohou sehrát významnou roli v adaptačních rolích pro zabezpečení pitné a závlahové vody v dílčím povodí, ale mohou být rozhodujícím faktorem pro možnosti propojení vodohospodářských soustav v povodí Dyje a sousedních povodí. Jednotlivá alternativní zvažovaná vodní díla s navrženými parametry budou prověřena v rámci simulací adaptačních opatření detailním digitálním dvojčetem Povodí Dyje – 3D simulačním nástrojem pro analýzu vodní bilance [7]. Teprve taková analýza pro různé klimatické scénáře může dát odpověď, zda tato vodní díla mohou pomoci v rámci adaptačních opatření a jestli je taková investice efektivní. V případě pozitivních výsledků analýzy budoucí vodní bilance se zamýšlená vodní díla mohou stát jedním z opatření, které zmírní dopad klimatických změn v povodí Dyje především na potřeby zásobování pitnou vodou pro obyvatele jižní Moravy. VD mohou být významným opatřením umožňujícím posílení a propojení již existujících vodních zdrojů a zvýšení jejich odolnosti proti vlivu klimatických změn.

Literatura

- [1] SMĚRNÝ VODOHOSPODÁŘSKÝ PLÁN ČSR. 1988. MLVH, Praha.
- [2] GENEREL ÚZEMÍ CHRÁNĚNÝCH PRO AKUMULACI POVRCHOVÝCH VOD A ZÁKLADNÍ ZÁSADY VYUŽITÍ TĚCHTO ÚZEMÍ, MZe, MŽP, 9/2020, 190 s.
- [3] PLÁN DÍLČÍHO POVODÍ DYJE. Povodí Moravy, s.p., 2016.
- [4] BALVÍN, Pavel., Adam VIZINA. Stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků v podmínkách ČR. In J. VTEI/ 2018/2.
- [5] ČHMÚ. Evidenční list hlásného profilu č. 387, Brtnice; č. 366 Plaveč; č. 360 Vysočany; č. 371 Dalečín a Křižanov (Libochovka), 2021.
- [6] VÚV T.G.M. Základní vodohospodářská mapa (mapové listy 23-41, 23-42, 24-11, 24-13, 24-31, 24-32, 33-21, 33-22, 34-11), 1999, Praha.
- [7] TRNKA, Miroslav a kol. Vliv klimatických změn na vodní a vodohospodářskou bilanci v povodí Svratky, Městské Vody, Velké Bílovice, 2021.

Tabulka 3. Navržené souhrnné údaje VD

Souhrnné údaje	Celkem
Celkový objemy [mil. m ³]	68,61
Celkové zásobní objemy [mil. m ³]	54,55
Celkové ochranné objemy [mil. m ³]	7,87
Celkové zabezpečené odtoky [m ³ /s]	2,08
Celková výroba VE [kW]	476

Poděkování

Příspěvek byl vytvořen v rámci řešení projektu Adapt-Dyje a juniorského specifického výzkumu FAST-J-22-7998 – Ověření tvaru spektra větrových oscilačních vln na uzavřených vodních plochách.

EKONOMICKÝ POTENCIÁL REKREAČNÍHO VYUŽITÍ VODOHOSPODÁŘSKÉ SOUSTAVY VLTAVSKÉ KASKÁDY V PODMÍNKÁCH KLIMATICKÉ ZMĚNY

**Kateřina Mácová¹, Vojtěch Havlíček², Martin Heřmanovský², Pavel Fošumpaur³, Karel Březina⁴,
Martin Hanel², Martin Horský³, Tomáš Kašpar³, Vojtěch Sýs⁴**

¹ Centrum pro otázky životního prostředí Univerzity Karlovy, tel. +420 220 199 466,

katerina.macova@czp.cuni.cz

² Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí

³ Fakulta stavební ČVUT v Praze

⁴ Povodí Vltavy, státní podnik

Abstrakt

Príspevok predstavuje vybrané výsledky štyrochroťročného interdisciplinárneho projektu TAČR „Ekonomický potenciál rekreačného využitia vodohospodárskej sústavy Vltavskej kaskády v podmienkach klimatickej zmeny“ zahrnujúci scénáre zmeny klimatu, jejich dopady na VH bilanci kaskády a socioekonomické súvislosti rekreačného využitia územia. Výsledky modelovania budú ke konci roku 2022 verejne k dispozícii vo webovej aplikácii, ktorá má fungovať najmä ako podporný nástroj pre strategické riadenie Vltavskej kaskády. Aplikácia môže byť užitočná i pre mnohé ďalšie subjekty, napr. v oblasti územného plánovania či cestovného ruchu.

Kľúčové slova: Vltavská kaskáda; rekreácia; scénáre zmeny klimatu; hydrologický model; socio-ekonomický model; vodohospodársky model; software.

Abstract

The contribution presents selected results of the four-year interdisciplinary project "Recreational purposes of Vltava river cascade and its economical potential under the climate change", including climate change scenarios, their impacts on the water management balance of the Cascade and socio-economic implications of recreational use of the area. At the end of 2022, the results of the modelling will be presented through a publicly available web application which is designed mainly as a support tool for the strategic management of the Vltava Cascade. The web application may also be useful for many other subjects, e.g. in the field of spatial planning or tourism.

Keywords: Vltava river dam cascade; recreation; climate change scenarios; hydrological model; socio-economical model; water management model; software

Úvod

Rekreační funkce je jedním z významných účelů, které kaskáda pro společnost plní, což je již několik desetiletí stanoveno i v jejím manipulačním řádu [1]. Oproti jiným funkcím (zajištění minimálního odtoku, ochrana proti povodním, hydroenergetika apod.) se však plnění rekreační funkce, její význam pro společnost, budoucí potenciál i případné dopady vývoje klimatu na tuto funkci obtížně posuzují - dosud k tomu neexistovala data, modely ani vhodná kritéria.

Nastavení priorit mezi jednotlivými funkcemi Vltavské kaskády a tedy i to, které subjekty mají oprávněný nárok na jaké užití kaskády, je věcí společenského konsensu. V praxi je prioritizace účelů naznačena pořadím uvedení jednotlivých účelů v manipulačním řádu. Diskuse o optimálním nastavení jednotlivých funkcí jak ze dlouhodobého (strategického), tak z krátkodobého hlediska (např. v rámci povodňové události) přitom zdaleka není u konce, což naznačují i v minulosti dlouhodobě probíhající diskuse o smysluplnosti dalšího zvyšování retenční vs. zásobní funkce kaskády. Ukazatele jednotlivých účelů, které by naznačovaly jejich objem v celkové společenské poptávce po využití největší české soustavy vodních děl, však existují pouze pro několik hlavních funkcí. Některé z funkcí jsou zároveň navzájem konfliktní co do požadavků na objem vody v nádržích, výšku vodní hladiny a její kolísání. Požadavky na plnění rekreační funkce a využití břehů k rekreaci spočívají víceméně v zachování určité minimální výšky vodní hladiny a její stability.

Deklarovaná víceúčelovost v kombinaci se současnou neúplnou úrovní poznání o jednotlivých účelech pak do jisté míry komplikují manipulaci na vodních dílech, zejména při povodni. Prioritizace budoucího využití kaskády se bude navíc pravděpodobně vyvíjet podle očekávání ohledně měnících se podmínek klimatu a jejich dopadů na vodní režim v nádržích Vltavské kaskády i na případnou změnu společenských potřeb.

V tomto příspěvku představujeme vybrané výsledky projektu TAČR „Ekonomický potenciál rekreačního využití vodohospodárskej sústavy Vltavskej kaskády v podmienkach klimatickej zmeny“ (2019-2022). Projekt prináša nové poznatky ohľadne dopadů klimatickej zmeny na hydrologii a vodohospodárskou bilanci, a zároveň rieši socioekonomický systém rekreačného využitia Kaskády - kvantifikujeme v rámci nej prínosy z rekreácie u vody a jejý potenciál. Cieľom je ozrejmit a zhmotnit dosud nepříliš konkrétní objem této funkce pro rozhodovací praxi o využití kaskády do budoucna - tak, aby bylo možno jej rámcově porovnat s dalšími účely soustavy vodních děl.

Metodika řešení a datové zdroje

Zájmovým územím projektu je úsek Vltavy od Českých Budějovic po hráz vodního díla (VD) Vrané. Jsou analyzována primárně území na Vltavské kaskádě, nikoli území přiléhající k přítokům Vltavy v pilotním území.

Řešení vychází z interdisciplinárního výzkumu zahrnujícího:

- modelování scénářů změny klimatu,
- modely hydrologické a vodohospodárské bilance kalibrované přímo pro pilotní území Vltavské kaskády

- iii) socioekonomické modely, pomocí nichž je charakterizována poptávka po rekreaci v pilotním území, dále také scénáře změn poptávky v případě manipulace s vodní hladinou a vazby výdajů návštěvníků na příjmy regionálních podniků a provozovatelů služeb.

Následující kapitoly stručně popisují metodiku řešení a datové zdroje pro jednotlivé výše uvedené moduly.

i) Změna klimatu

Scénáře změny klimatu pro srážky a teplotu byly vytvořeny pomocí tzv. pokročilé přírůstkové metody. Ta je založena na analýze simulací klimatických modelů, ze kterých jsou odvozeny změny průměru a variability srážek a teploty během roku a tyto změny jsou poté použity pro úpravu pozorovaných řad. Byly uvažovány tři soubory simulací klimatických modelů: CMIP5, CMIP6 a LENS. Projekty CMIP jsou využívány při tvorbě hodnotících zpráv Mezivládního panelu pro klimatickou změnu (IPCC). Kompletní soubory obsahují simulace desítek modelů. Pro zjednodušení zde navazujeme na výběr modelů, který provedl Ústav výzkumu globální změny AV ČR na základě kvality simulace pro současné klima. Soubor simulací LENS vznikl za účelem vyhodnocení přirozené variability v rámci simulací. Z toho důvodu je zahrnut větší počet realizací jednoho modelu. Celkově bylo uvažováno 216 simulací.

Narozdíl od běžného vyhodnocení dopadů klimatické změny v určitých časových řezech jsme se zaměřili na analýzu změn hydroklimatických veličin ve vztahu k růstu teploty, který je indikátorem intenzity klimatické změny. Primárně se tedy nedíváme na změny srážek pro určité období (např. 2070–2100), ale ptáme se, jak se změní hydroklimatické veličiny a vodohospodářská bilance při oteplení o 1, 2, 3, ... °C. To umožňuje částečně eliminovat nejistotu spojenou s budoucím vývojem společnosti (respektive koncentrací skleníkových plynů).

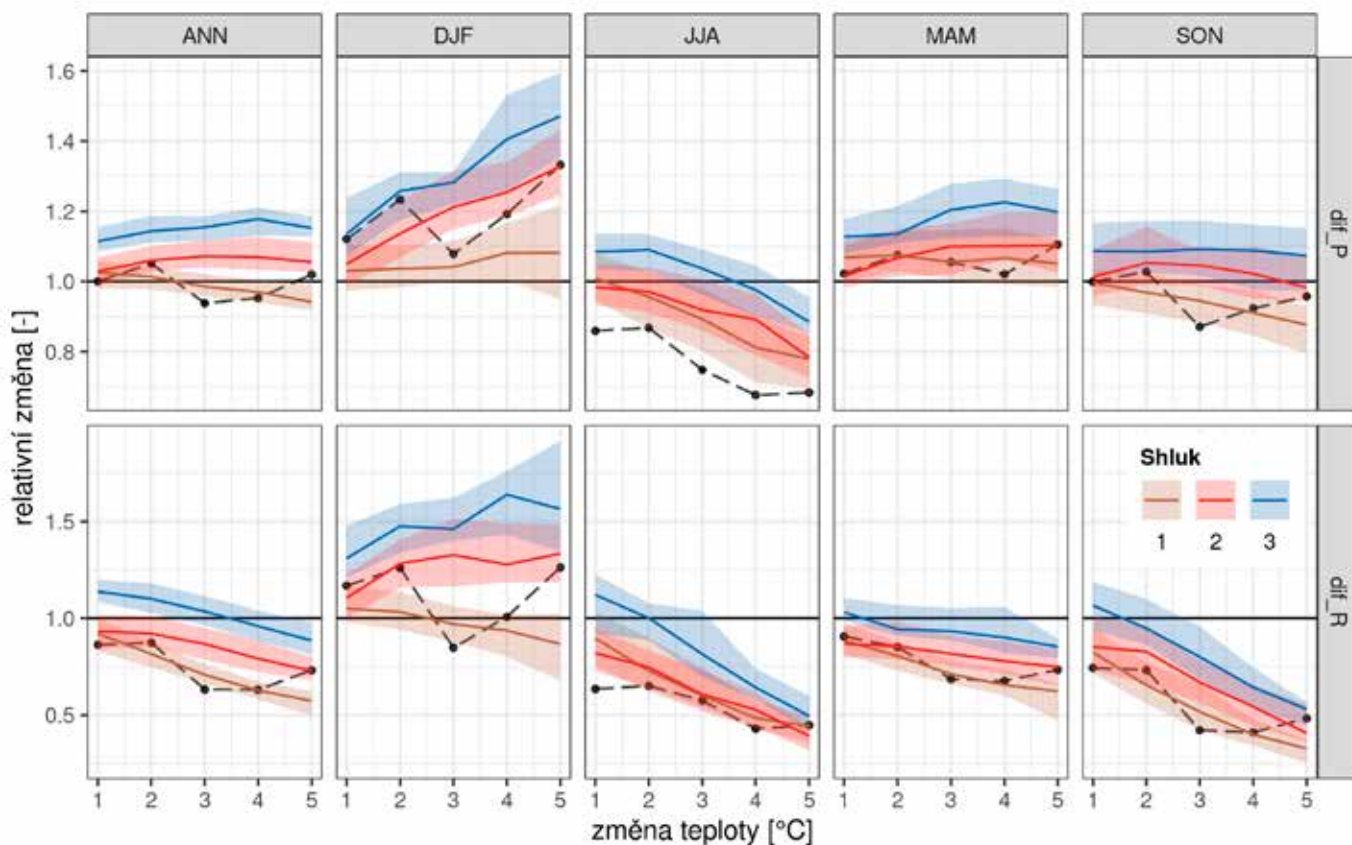
Pro odhad budoucí hydrologické bilance jsou scénářové řady srážek a teploty použity jako vstup do modelů GR4J a Bilan, které byly nejprve nakalibrovány pomocí pozorovaných dat s využitím řad srážek a teploty a odtokových řad očištěných o užívání vod. Soustava povodí pro modelování bilance byla volena tak, aby odpovídala klíčovým prvkům vodohospodářského modelu (viz následující kapitola).

Vzhledem k velkému počtu simulací, byla provedena shluková analýza výsledných změn a to tak, že na základě závislosti změn ročních a sezónních srážek a odtoku na změně teploty byly identifikovány tři shluky simulací. Shluky je možno chápat jako tři možné varianty průběhu změn hydroklimatických veličin na povodí.

Výsledné shluky a jim odpovídající změny srážek a odtoku jsou uvedeny na Obrázku 1. Jednotlivé shluky lze charakterizovat následovně (Tabulka 1):

Tabulka 1. Charakteristika výsledných shluků a jim odpovídajících změn srážek a odtoku

Shluk 1	<ul style="list-style-type: none"> - stagnace ročních srážek - jen mírné (do 10 %) zvýšení zimních a jarních srážek - mírný pokles podzimních srážek a výrazný pokles letních srážek - pokles ročních odtoků, přímo úměrný zvyšování teploty - stagnace zimních odtoků - mírný (jaro) až vysoký (léto, podzim) pokles odtoku v ostatních ročních obdobích
Shluk 2	<ul style="list-style-type: none"> - mírné zvýšení ročních a jarních srážek, stagnace podzimních a pokles letních srážek - pokles ročních odtoků při zvýšení teploty o více než 2 °C - růst zimních odtoků - výrazný pokles letních odtoků (stejně jako u Shluku 1) - pokles jarních i podzimních odtoků, ve srovnání s Shlukem 1 nicméně mírnější
Shluk 3	<ul style="list-style-type: none"> - zvýšení ročních (10-20%), zimních (až 40%), jarních (kolem 20 %) a podzimních (10%) srážek, stagnace letních srážek s patrnou tendencí k úbytku srážek se zvyšující se teplotou - stagnace ročních odtoků s patrnou tendencí ke snižování odtoku se zvyšující se teplotou - výrazný růst zimních odtoků (30-50%), pokles letních a podzimních odtoků, zejména při zvýšení teploty o 3 a více °C



Obrázek 1. Relativní změna ročních (ANN), zimních (DJF), letních (JJA), jarních (MAM) a podzimních (SON) srážek (dif_P, horní řádek) a odtoku (dif_R, dolní řádek) pro jednotlivé shluky (vyznačeno barvami) v závislosti na změně teploty (vodorovná osa). Plné čáry reprezentují středy jednotlivých shluků, barevné polygony omezují oblast, ve které se nalézá 50 % simulací daného shluku. Čárkované jsou vyznačeny výsledky dle tzv. středního scénáře [2] používaného pro plánování adaptačních opatření.

ii) Vodohospodářská bilance a její změny

Základním cílem projektu je posouzení dopadů různých scénářů klimatické změny na rekreační využití nádrží Orlík a Slapy v rámci systému Vltavské kaskády. Z uvedeného důvodu je třeba, aby simulační model vodohospodářské (VH) bilance byl koncipován s ohledem na základní funkce a účely Vltavské kaskády dle platného komplexního manipulačního řádu [1]. Simulační model VH bilance proto obsahuje celý systém Vltavské kaskády po odtok z VD Vrané na Vltavě nad Prahou, a to včetně všech přítoků a významných vodních nádrží v povodí, které ovlivňují nakládáním s vodou průtokové poměry pod VD Vrané. Následující Obrázek 2 znázorňuje rozsah sestaveného simulačního modelu, který tak obsahuje také hospodaření s vodou v nádrži Římov na Malši a v nádrži Švihov na Želivce s využitím manipulačních řádů těchto vodních děl.

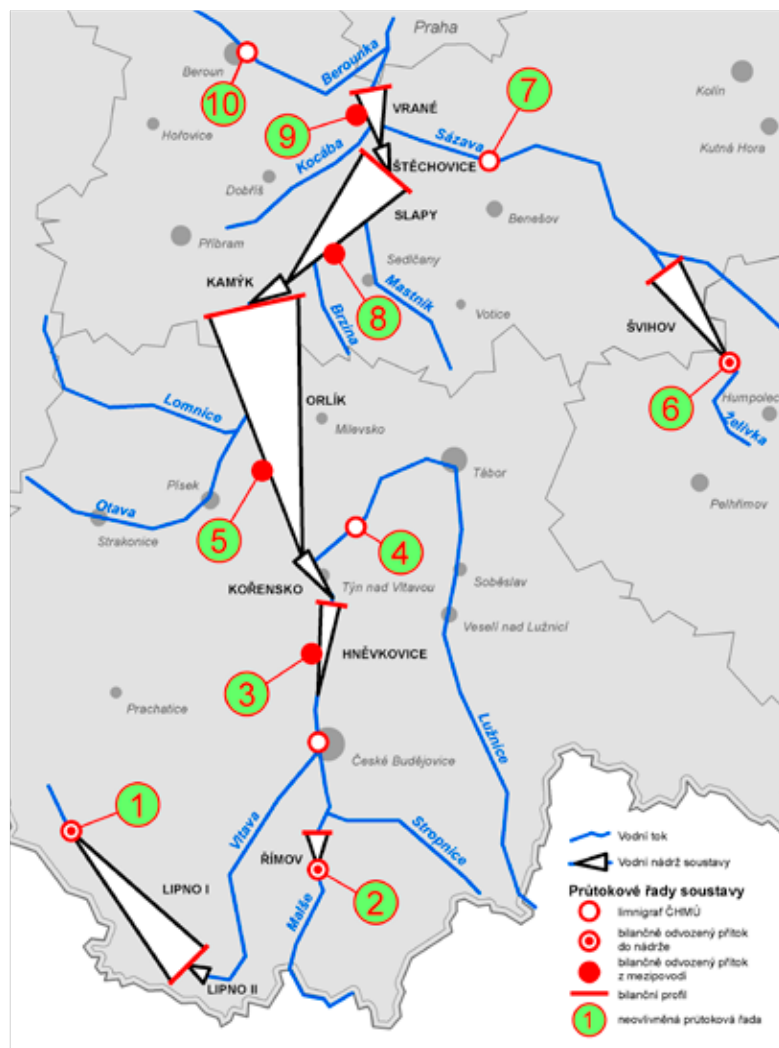
Obrázek 2. →
Rozsah simulačního modelu VH bilance

Z důvodu možnosti posouzení vlivu různých scénářů klimatické změny na zásobní funkci a rekreační využití byl napřed sestaven model hydrologické bilance celého systému dle Obrázku 2. Odvozený systém obsahuje následující neovlivněné průtokové řady v měsíčním kroku:

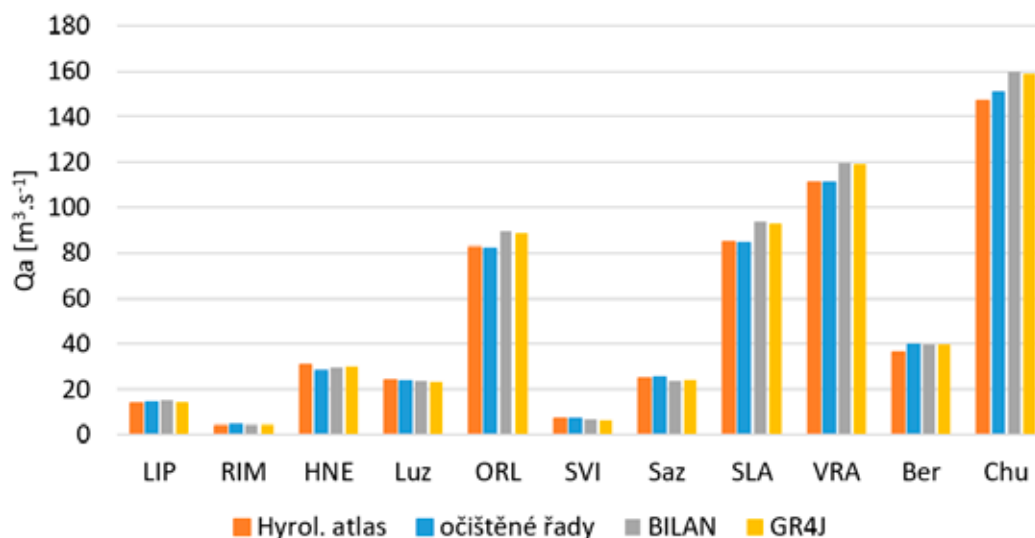
1. Přítok do nádrže Lipno I,
2. Přítok do nádrže Římov,
3. Přítok z mezipovodí mezi profily 1) a 2) a profilem hráze VD Hněvkovice,
4. Přítok do Vltavy z vodního toku Lužnice,
5. Přítok z mezipovodí mezi profily 3) a 4) a profilem hráze VD Orlík,
6. Přítok do nádrže Švihov,
7. Přítok z mezipovodí mezi profilem 6) a ústím Sázavy do Vltavy,
8. Přítok z mezipovodí mezi hrází VD Orlík a hrází VD Slapy,
9. Přítok z mezipovodí mezi hrází VD Slapy, profilem 7) a hrází VD Vrané.

Tyto průtokové řady byly simulovány pomocí dvou modelů hydrologické bilance s využitím srážek a teplot vzduchu: model BILAN [3, 4] a model GR4J [5]. Simulované řady byly následně porovnány s řadami odvozenými pomocí metodiky očišťování pozorovaných průtoků v síti limnigrafických stanic v povodí Vltavské kaskády. Pro očištění pozorovaných dat byly využity tyto podklady:

- Data z limnigrafické sítě ČHMÚ a Povodí Vltavy, státní podnik,
- Provozní data z nádrží celé VH soustavy (přítoky, průběhy hladiny, odtoky, manipulace s funkčními objekty),
- Data o nakládání s povrchovou vodou – odběry a vypouštění z nádrží a dalších odběrných/výpustných objektů.



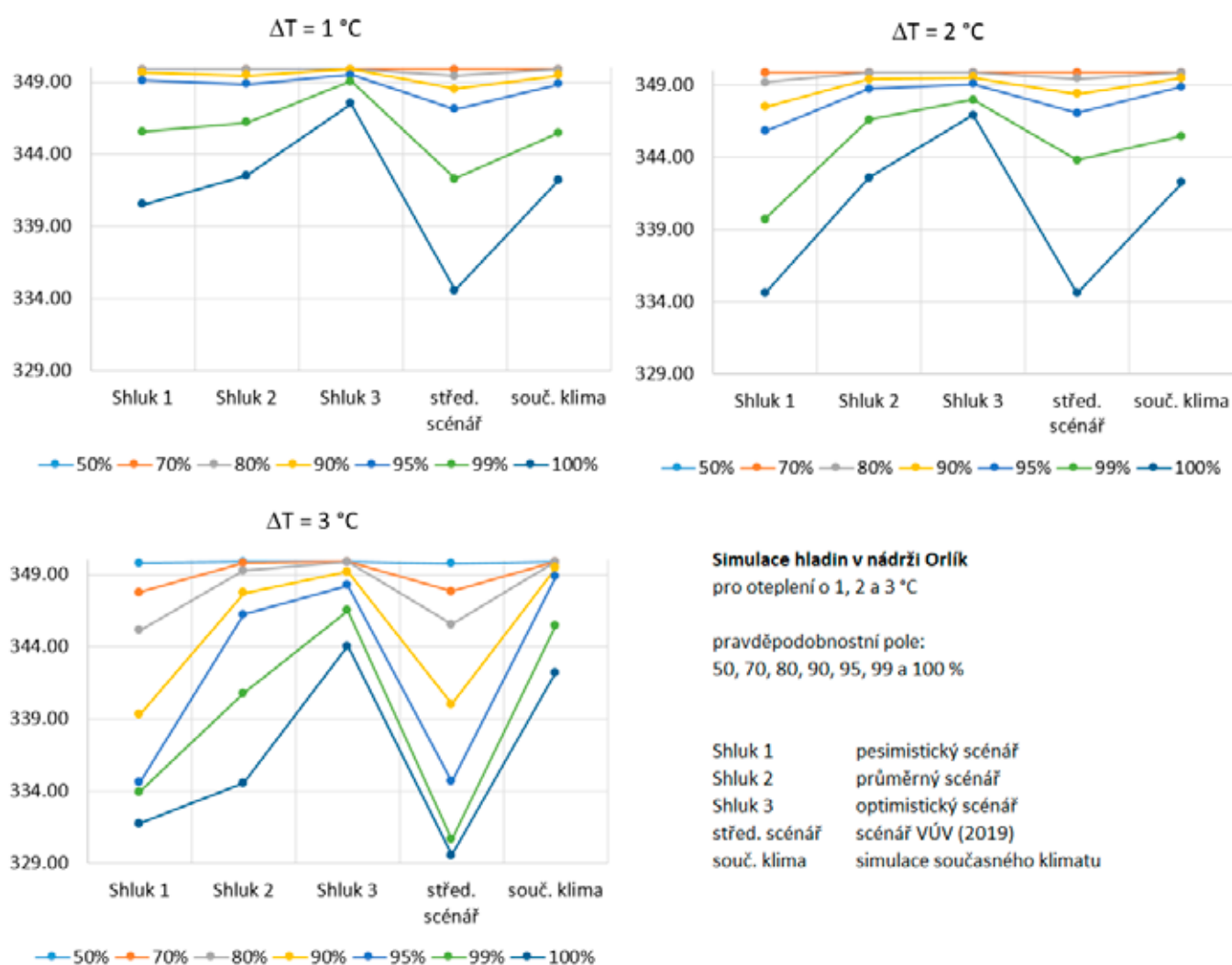
Uzávěřové profily modelovaných povodí - porovnání Q_a



Obrázek 3. Porovnání dlouhodobých průměrných průtoků Q_a v profilech VH soustavy

Dalším zdrojem dat pro porovnání jsou hodnoty průměrných ročních průtoků v souboru stanic dle Obrázku 2 převzaté z publikace Hydrologické poměry ČSSR [6], která byla zpracována pro období 1931-1960 a obsahuje tudíž na území Vltavské kaskády rozhodující měrou neovlivněná (přirozená) data. Výsledkem uvedené analýzy je srovnání průměrných dlouhodobých ročních průtoků v jednotlivých základních profilech VH soustavy dle Obrázku 3. Z výsledků vyplývá výborná shoda základních ukazatelů hydrologického režimu v podobě dlouhodobých průměrných průtoků pro všechny zdroje informací. S ohledem na podrobné testy obou hydrologických modelů s důrazem na shodu v oblasti minimálních průtoků byl následně pro další analýzy zvolen model GR4J.

V další fázi byly pomocí kalibrovaného modelu GR4J simulovány průběhy hydrologické bilance pro tři variantní navýšení teploty vzduchu $\Delta T = +1^\circ\text{C}$, $+2^\circ\text{C}$ a $+3^\circ\text{C}$. Celkem byly simulace provedeny v celé rozsahu VH soustavy dle obr. 1 pro 216 klimatických scénářů. Následně byly na základě klimatických, hydrologických a vodo hospodářských ukazatelů identifikovány mezi klimatickými scénáři tři charakteristické shluky, které reprezentují tři možné skupiny vývoje klimatu (Shluk 1, Shluk 2 a Shluk 3). Pro každý ze tří shluků byl vybrán jediný reprezentativní scénář, který je svými vlastnostmi nejbližší k těžišti shluku a tedy jej nejlépe reprezentuje. Do výsledného hodnocení byly zahrnuty tři popsané shluky, v současnosti oficiální tzv. střední scénář klimatické změny [2] a simulace současných klimatických podmínek. Vyhodnoceny byly zabezpečené hladiny v nádrži Orlík (viz Obrázek 4) a Slapy pro zabezpečenosti 50, 70, 80, 90, 95, 99 a 100 % v plavební sezóně (duben až září). Z výsledků např. vyplývá, že shluk (cluster) 1 (pesimistický) odpovídá téměř přesně svými výsledky střednímu scénáři [2]; ostatní dva shluky jsou příznivější.



Obrázek 4. Pravděpodobnostní pole hladin v nádrži Orlík pro měsíce plavební sezóny (duben-září) pro různé zvýšení teploty vzduchu a varianty klimatického vývoje

Výsledky simulací umožnily kvantifikovat pro hladiny se zvolenou zabezpečeností oblasti s nedostatečnou plavební hloubkou v zátokách nádrže a tedy potenciální redukci rekreačního využití v důsledku klimatické změny (viz Obrázek 5). Dále byly pro jed-

notlivé klimatické scénáře kvantifikovány spolehlivosti zajištění plavebního provozu mezi nádržemi Orlík a Kořensko a Slapy a Kamýk.



Obrázek 5. Ukázka zobrazení redukce míst pro stání plavidel v nádrži Orlík - důsledek klimatické změny

iii) Socioekonomická analýza

V rámci socioekonomické analýzy rekreace byly zkoumány jednak preference a poptávka návštěvníků za výlety a pobyty k vodě, jejichž analýza zároveň umožňuje odvodit netržní přínos z rekreace vznikající návštěvníkům vyjádřený v penězích i jeho změny; a dále také tržní efekty výdajů návštěvníků související s rekreací a způsob, jakým se výdaje promítají skrze řetězec dodavatelsko-odběratelských vztahů a skrze těmito výdaji indukované příjmy zaměstnanců do změn výkonu místní ekonomiky a do příjmů podniků v různých ekonomických odvětvích [7].

Mikroekonomický model poptávky po rekreaci vychází z teorie netržního oceňování statků životního prostředí a environmentální ekonomie [8]. Tento model byl odhadnut pro pilotní území Vltavské kaskády na základě místního šetření s víceúrovňovým kvótním výběrem vzorku 460 rekreatantů tak, aby výsledky reprezentovaly typově různé lokality u vody, různé rekreační aktivity a různá období v rámci hlavní a vedlejší rekreační sezóny. Model je založen na reálných datech o návštěvnosti za uplynulý rok k dané přehradě i k dalším přehradám kaskády. Zachycuje vztah mezi počtem návštěv a stínovou cenou návštěvy přehrady pro jednotlivé rekreatanty. Pro modelování reakce návštěvníků na kvalitativní změny v území (změny vodní hladiny) je model poptávky kombinován s podmíněnou reakcí na představený scénář kvalitativní změny v území vycházející z nutnosti reagovat na změnu klimatu manipulací s vodní hladinou – jedná se o tzv. model podmíněného chování. Netržní přínos rekreace v penězích je odvozen ze sklonu odhadnuté křivky poptávky po rekreaci v území, odvozuje se z realizovaných stínových cen a ochoty platit za realizované návštěvy.

Vazby výdajů návštěvníků na příjmy regionálních podniků a provozovatelů služeb jsou zkoumány pomocí meziodvětvové input-output analýzy [9]. Jedná se o makroekonomickou analýzu tržních transferů spojených s výdaji na rekreaci. Byly spočteny roční dopady výdajů návštěvníků na celkovou produkci (obrat) ekonomiky, hrubou přidanou hodnotu a mzdové příjmy zaměstnanců v regionu [10,11]. Díky využití dat zohledňujících specifika krajských ekonomik Jihočeského a Středočeského kraje, v nichž se pilotní území Vltavské kaskády nachází [12], a dat z místního šet-

ření v pilotním území realizovaném v rámci projektu lze výsledky považovat za metodologicky korektnější než bývá u obdobných ekonomických analýz zvykem [13]. Např. jsou spočteny přímé, nepřímé i indukované efekty výdajů. Výdaje spojené s pobytem u vody i výsledné efekty jsou rozlišeny na pilotní území Vltavské kaskády (okresy do 10 km od vody), zbytek obou krajů a ostatní kraje ČR a je řešena druhá nejlepší alternativa návštěvy v pilotním území. Výsledky jsou očištěny o návštěvy za jiným účelem než pobytem u vody.

Pro popis současného stavu využití území, agregaci a extrapolaci efektů na celé pilotní území byla využita geolokační signa- lizační data mobilních operátorů [14] v kombinaci s daty ČSÚ o nabídce a využití služeb.

Dopady scénářů změny klimatu na netržní přínosy z rekreace (rekreační užítky vznikající rekreatantům) i na tržní transfery (příjmy regionálních poskytovatelů služeb) jsou dané předpokládaným budoucím vývojem intenzity rekreačního využití území, která podmiňuje i návazné tržní efekty. Na základě trendů patrných v dostupných dlouhodobých datech o rekreačním využití území jsou zejména zkoumány scénáře dalšího dlouhodobého mírného nárůstu rekreačního tlaku a stagnace po naplnění určité únosné kapacity území. Dopady manipulace s vodní hladinou na rekreační využití byly zkoumány modelem podmíněného chování [8] na základě dat z místního šetření v pilotním území Vltavské kaskády. Při malém kolísání hladiny (cca do 2 m) se dle výsledků celková poptávka po pobytu u vody statisticky významně nemění. Totéž platí i pokud se jedná o dlouhodobý pokles vodní hladiny v tomto rozmezí - malá část rekreatantů však v tom případě mění rekreační aktivity spojené s pobytem na vodě či u ní. U větších změn hladiny lze však předpokládat skokové snížení intenzit rekreace u přímo ovlivněných rekreačních aktivit (zej. plavba, koupání a vodní sporty) i návazných ekonomických příjmů z rekreace po celou dobu trvání poklesu vodní hladiny.

Vybrané výsledky a jejich dostupnost pro využití v praxi

Hlavní poznatky z výzkumu zahrnují např.:

- Z hlediska dopadů klimatické změny lze identifikovat tři hlavní směry vývoje - přičemž všechny předpokládají pokles letních odtoků a růst nebo stagnaci zimních odtoků. Průměrné roční odtoky rostou pro nejpříznivější skupinu scénářů i při oteplení až o 2 °C, pro ostatní scénáře pro všechny zkoumané změny teploty (+1 až +5 stupňů) vždy oproti současným teplotním podmínkám klesají.
- Výsledky vodohospodářské bilance umožnily kvantifikovat dopady tří vybraných scénářů klimatické změny (reprezentujících tři hlavní směry vývoje) na hladinový režim v nádržích Vltavské kaskády. Nejnejpříznivější scénář odpovídá téměř přesně svými výsledky tzv. střednímu scénáři používanému pro plánování adaptačních opatření. S postupující klimatickou změnou dochází k intenzivnějšímu hospodaření s vodou v nádržích z důvodu zajištění hlavních účelů, plynoucích ze zásobní funkce. Analýza kvantifikovala pravděpodobnostní vlastnosti kolísání hladiny v jednotlivých nádržích s ohledem na rekreační využití břehů, kotvicích míst a provozu vodní cesty.
- Odhadujeme, že ročně návštěvníci v blízkém okolí vody v pilotním území stráví 5,7 až 8,9 milionů osobodní. Tlak na rekreační využití území se bude stále zvyšovat a méně dramatické změny vodní hladiny ho nijak neovlivní.
- Ve spojení s rekreací v pilotním území návštěvníci utratí celkem 2,3–3,7 miliardy Kč ročně. Každá 1 Kč utracená návštěvníky u vody přitom skrze přímé a nepřímé, respektive přímé, nepřímé i indukované efekty vydají do regionu přináší 0,4–0,5 Kč regionálního HDP. Z toho přibližně polovina je příjmem obcí nacházejících se do 10 km od vody.
- Ročně zároveň vznikají návštěvníkům společenské netržní přínosy z rekreace u vody v celkové výši 0,5–0,8 miliardy Kč.

Finální výsledky modelování budou na konci letošního roku představeny formou webové aplikace. Ta má fungovat zejména jako podpůrný nástroj pro strategické řízení Vltavské kaskády, bude však dostupná veřejně i pro potřeby dalších subjektů, např. v oblasti územního plánování či cestovního ruchu. Aplikace bude umožňovat prohlížení výsledků pro různé kombinace scénářů:

- hydroklimatické scénáře vycházející ze simulací klimatických modelů,
- socio-ekonomické scénáře popisující změnu poptávky po rekreaci,
- a případně scénáře vodohospodářské spočívající v rozdílné minimální hladině VD Orlick.

Závěr

Príspevek predstavil vybrané výsledky interdisciplinárního výzkumného projektu zaměřeného na Vltavskou kaskádu. Ze všech tří modulů projektu (modelování scénářů změny klimatu, hydrologické a VH bilance a socioekonomického modelování) vyplynula řada zajímavých výsledků, které věříme že budou podporou pro strategické řízení Vltavské kaskády i pro rozhodování o dalším využití a vývoji tohoto rekreačně velmi významného území do budoucna.

Poděkování

Výzkum představený v tomto příspěvku byl realizován v rámci řešení projektu TAČR Ěta TL02000408 Rekrevlt: „Ekonomický potenciál rekreačního využití vodohospodářské soustavy Vltavské kaskády v podmínkách klimatické změny“. Za tuto podporu děkujeme.

Literatura

- [1] Povodí Vltavy, státní podnik. *Komplexní manipulační řád Vltavské kaskády*. Praha 2016. Schválil: Krajský úřad Středočeského kraje dne 21. 10. 2016.
- [2] VIZINA, Adam. Střední scénář klimatické změny pro vodní hospodářství v České republice – Povodí Vltavy, státní podnik. VÚV T.G.M., v.v.i., Praha, 2019.
- [3] TALLAKSEN, L., van LANEN, H. eds. *Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. Developments in Water Science, Elsevier Science, 2004. ISBN 9780444517678.
- [4] KAŠPÁREK, Ladislav, Martin HANEL, Stanislav HORÁČEK, Petr MÁCA, Adam VIZINA. *Bilan water balance model*. VÚV T.G.M. v.v.i., 2016, R balík verze 2016-10-20.
- [5] PERRIN, Charles, Claude MICHEL, Vazken ANDRÉASSIAN. (2003) *Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation*. Journal of Hydrology, 279, 2003, s. 275–289.
- [6] ZÍTEK, J. (eds.) *Hydrologické poměry Československé socialistické republiky. Díl III. 1. vyd.*
- [7] KAPROVÁ, Kateřina. Water-related recreation around the Vltava river and its economic impacts: a complex approach. In: FIALOVÁ, Jitka eds. *Public recreation and landscape protection – with sense hand in hand... vol. 11 (2020)*. Křtiny: Mendelova univerzita v Brně, 2020, s. 567-571. ISBN 978-80-7509-715-6.
- [8] FREEMAN A. Myrick III. *The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods*. Washington DC: Resources for the Future, 2003. ISBN: 1-89185-362-7.
- [9] MILLER, Ronald E., Peter D. BLAIR. *Input-Output Analysis: foundations and extensions. 2nd edition*. New York: Cambridge University Press, 2009. ISBN 978-0-521-51713-3.
- [10] MÁCOVÁ, Kateřina. Economic effects of water-related tourism around the Vltava River cascade. In: FIALOVÁ, Jitka eds. *Public recreation and landscape protection – with environment hand in hand... vol. 13 (2022)*. Křtiny: Mendelova univerzita v Brně, 2022, s. 106-109. ISBN 978-80-7509-831-3.
- [11] MÁCOVÁ, Kateřina, Jan MELICHAR, Jan WEINZETTEL. *Economic effects of nature-based tourism - a pilot study on water recreation*. In: Monitoring and management of visitors 2022 proceedings. Valmiera: Vidzeme University of Applied Sciences, 2022 (*v tisku*).
- [12] FISCHER, Jan, Stanislava HRONOVÁ, Richard HINDLS, Jan SIXTA, Kristýna VLTAVSKÁ. *Regionální input-output tabulky ČR za rok 2013, celkové tabulky podle sekcí CZ-CPA*. 2018. Online. URL: <https://kest.vse.cz/wp-content/uploads/page/266/CZ_RIOT_2013_ag.xlsx>.

- [13] SPENCELEY, Anna, Jan Philipp SCHÄGNER, Barbara ENGELS, Catherine CULLINANE THOMAS, Manuel ENGELBAUER, Joel ERKONNEN, Hubert JOB, Liisa KAJALA, Lisa MAJEWSKI, Daniel METZLER, Marius MAYER, Andrew RYLANCE, Manuel WOLTERING, Niklas SCHEDER, Cecile SMITH-CHRISTENSEN, Thiago BERALDO SOUZA. *Visitors count! Guidance for protected areas on the economic analysis of visitation*. UNESCO, BfN,; Paris/Bonn/Ispra, 2021. 111 p. ISBN 9789231004650.
- [14] CE-TRAFFIC, T-MOBILE. *Analýza návštěvnosti v okolí Vltavské kaskády – datové sady a technická zpráva*. Praha:CE-Traffic a T-Mobile, 2021. Interní dokumentace zpracovaná pro COŽP UK.

HODNOTENIE MOŽNÉHO VPLYVU KLIMATICKEJ ZMENY NA VODNEJ NÁDRŽI DOMAŠA POČAS SUCHÝCH ROKOV V OBDOBÍ POZOROVANIA

**Jana Poórová, Katarína Melová, Ľubica Lovásová, Lotta Blaškovičová,
Katarína Jeneiová, Marija Mihaela Labat**

*Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, Slovenská republika,
+421 2 59415 228, jana.poorova@shmu.sk*

Abstrakt

Vodné nádrže ako priečne stavby na vodných tokoch narušujú ich pozdĺžnu kontinuitu a v obdobiach sucha môžu významným spôsobom prispieť k udržaniu vhodných podmienok pre biotu v toku pod vodnou nádržou. V minulosti sme sa už zaoberali vplyvom manipulácie na vybraných vodných nádržiach na tok, so zreteľom na obdobie sucha. Pokračujúc v tejto analýze sme vyhodnotili ďalšie, z pohľadu sucha rizikové obdobie – roky 1993, 2003, 2012 a 2019 – na niektorých vodných nádržiach východného Slovenska, kde sú fyzicko-geografické, ale hlavne geologické podmienky výrazným činiteľom zrýchleného odtoku z flyšového pásma. Tieto prirodzené odtokové podmienky sú ovplyvnené jednak antropogénnymi zásahmi do povodí, ale čiastočne aj dopadmi klimatickej zmeny. Vodné stavby môžu následky klimatickej zmeny buď zmierňovať alebo znásobovať.

Z množstva vodných nádrží sme vybrali Domašu, ktorá sa každoročne vyhodnocuje vo vodohospodárskej bilancii a kde monitorujeme v štátnej hydrologickej sieti hydrologický režim nad aj pod nádržou. V takom prípade je možné pozorovať a vyhodnotiť prírodné vstupy do systému a výstupy z neho, ako aj vplyv manipulácie na vodných nádržiach.

Kľúčová slova: vodná nádrž; vodohospodárska bilancia; sucho; klimatická zmena.

Abstract

Water reservoirs, as transverse structures on streams, disrupt their longitudinal continuity, and in periods of drought, they can significantly contribute to maintaining suitable conditions for biota in the stream downstream the water reservoir. In the past, we have already analysed the effect of the manipulation of selected water reservoirs on the flow with a focus on the dry season. Continuing this analysis, we have evaluated another risky period related to drought, years 1993, 2003, 2012 and 2019, in selected water reservoirs located in eastern Slovakia, where physical-geographical, but mainly geological conditions represent the significant factor of accelerated runoff from the flysch zone. These natural drainage conditions are affected by anthropogenic impacts in the river basin, and partly also by climate change, the consequences of which can be either reduced or increased by water structures, depending on the human factor.

From the number of water reservoirs in Slovakia, we have selected Domaša which is evaluated annually in the water management balance and where we monitor the hydrological regime upstream and downstream of the reservoir in the state hydrological network, so that natural inputs into the system and outputs of it, as well as the impact of manipulation on the water reservoirs, can be clearly monitored and evaluated.

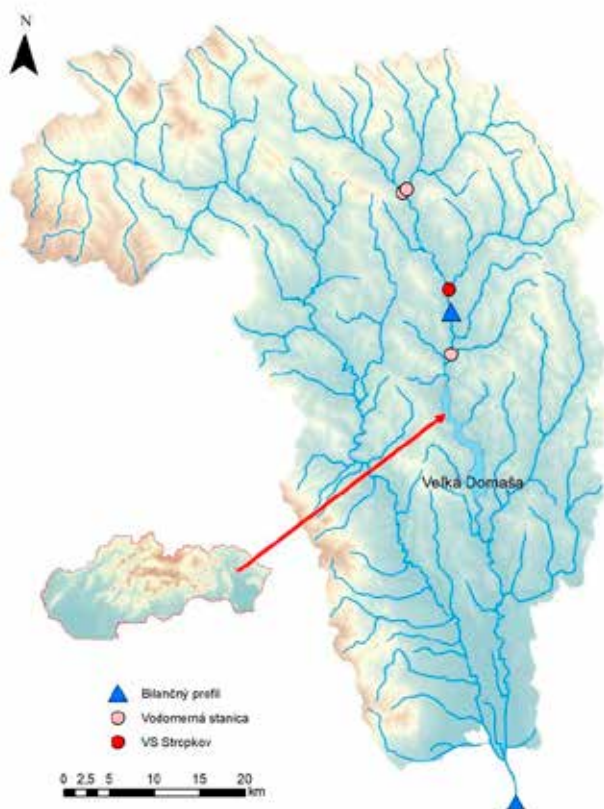
Keywords: water reservoir, water-resource balance, drought, climate change.

Úvod

Voda je strategickou surovinou nenahraditeľnou ako pre život, tak aj pre ekonomiku. V súvislosti s klimatickou zmenou a zvyšujúcimi sa nárokmi obyvateľstva aj priemyslu sa jej nedostatok stáva kľúčovým problémom nielen rozvojových, ale aj mnohých rozvinutých štátov.

Vodné toky na Slovensku majú variabilný hydrologický režim, s relatívne častým výskytom extrémnych prietokov, a to v čase aj v priestore. Ich variabilita je daná fyzicko-geografickými a klimatickými podmienkami. Čoraz častejšie sa vyskytujú dlhé obdobia sucha, ktoré sa striedajú s intenzívnymi zrážkami spôsobujúcimi prívateľové povodne. Po roku 2000 sa vyskytli extrémne suché obdobia (ako sú napríklad roky 2003, 2011-2012, 2015, 2018, 2019), ktoré spôsobili nemalé problémy v zabezpečení potrieb vody [2]. Vodohospodári si už v minulosti uvedomovali variabilitu vodných zdrojov a nerovnomernosť ich rozdelenia v čase a priestore ako problém pre zabezpečenie potrieb vody a zároveň aj ako možnosť, ako ju využiť pre riešenie oblastí s nedostatkom vody pre ľudskú potrebu a činnosť. Z tohto dôvodu sa stavali viacúčelové vodné nádrže, ktoré jednak ochraňovali pred následkami ničivých povodní a zároveň vytvárali zásobu vody pre jej využitie v období sucha.

Jednou takouto nádržou je vodná nádrž (VN) Veľká Domaša (ďalej Domaša), ktorá sa nachádza na východnom Slovensku na vodnom toku Ondava v rkm 72,3 (Obrázok 1). Jedná sa o viacúčelové vodné dielo, ktorého výstavba prebehla v období 1962–1967. 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 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 vyrovňavacia 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.



Obrázok 1. Poloha VN Domaša, hodnotených vodomerných staníc a bilančných profilov na území Slovenska.

Materiál a metódy

Pri hodnotení problematiky sme vychádzali z údajov monitoringu v štátnej hydrologickej sieti, štátnej meteorologickej sieti z výsledkov pravidelného hodnotenia hydrologického režimu v povodí [3], [4], [5] a z publikácií vodohospodárskej bilancie množstva povrchových vôd [6].

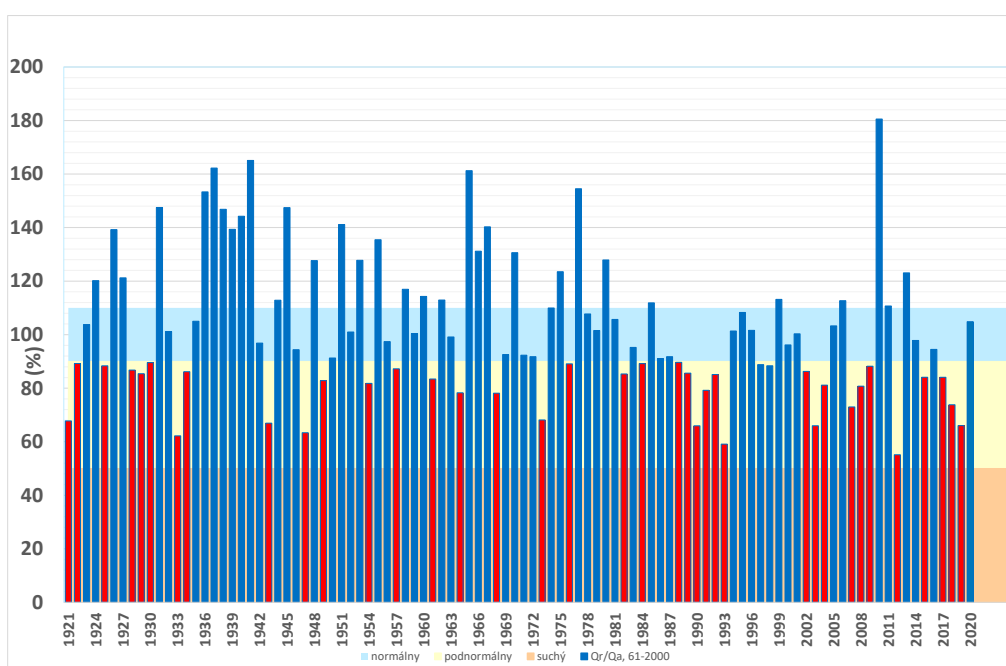
Na základe systematického monitorovania hydrologického režimu sme vyhodnotili vývoj vodnosti v rámci celého Slovenska a následne v povodí nad vodným dielom s cieľom prezentovať vývoj stavu hydrologickej situácie v jednotlivých rokoch, ako vstup pre následné detailnejšie zhodnotenie stavu hydrologickej bilancie vo vybraných rokoch.

Vodnosť je hydrologická charakteristika, ktorá vyjadruje kvantitatívne zhodnotenie konkrétneho roka alebo mesiaca (v %), t. j. pomer konkrétneho ročného, resp. mesačného prietoku k zodpovedajúcej dlhodobej hodnote prietoku za referenčné obdobie 1961–2000.

Indikátorom podnormálnej vodnosti roka je hodnota 90 % Q_a [7], podnormálnej vodnosti mesiaca pod 80% Q_{ma} , 50 % Q_a je indikátorom výrazne podnormálnej vodnosti roka a hodnoty pod 40 % Q_{ma} reprezentujú výrazne podnormálny stav vodnosti mesiaca [8].

Vývoj priemernej vodnosti

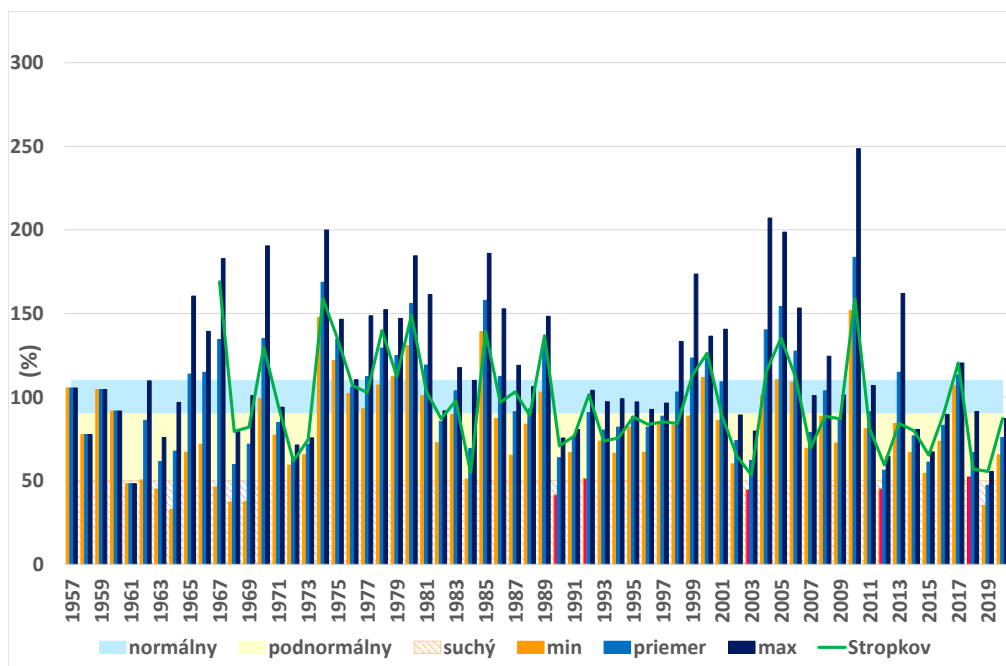
V prvom kroku sme zhodnotili priemernú ročnú vodnosť na území SR od roku 1921, stanovenú pre jednotlivé roky priemerom hodnôt vodnosti zo všetkých hodnotených vodomerných staníc na území SR [7]. Ako možno vidieť z obrázku 2, roky s podpriemernou vodnosťou (pod 90 %) sa vyskytujú počas celého hodnoteného obdobia (zvýraznené červenou farbou), ale po roku 1988, sa ich frekvencia výskytu výrazne zvýšila.



Obrázok 2. Vývoj priemernej ročnej vodnosti SR v období 1921–2020

Následne sme zhodnotili vývoj priemernej vodnosti v povodí nad VN (Obrázok 3) na základe dostupných údajov z vodomerných staníc lokalizovaných nad VN s pozorovaním od roku 1957, ako aj s vyznačením hodnôt vodomernéj stanice Ondava – Stropkov,

ktorá vyhodnocuje prietoky iba od roku 1967. Medzi najsuchšie roky v ostatnom období nielen v rámci SR, ale aj v rámci povodia zaraďujeme roky 1993, 2003, 2012, 2019, ktorým sa v nasledujúcej časti príspevku budeme detailnejšie venovať.



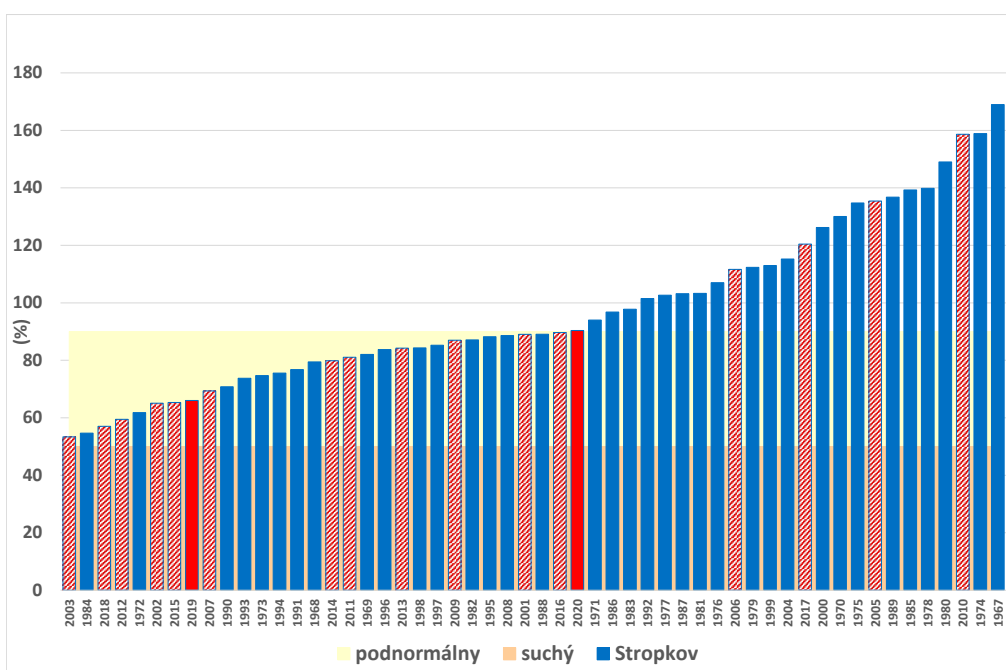
Obrázok 3. Vývoj priemernej ročnej vodnosti v povodí Ondavy nad VN Domaša

Vývoj ročnej vodnosti

Detailnejšie sme sa pozreli na vývoj ročnej vodnosti vo vodomernéj stanici Ondava – Stropkov, ktorá je kľúčovou stanicou pre hodnotenie prítoku vody do vodnej nádrže Domaša (Obrázok 4). Za 54 rokov pozorovania sa vyskytlo 28 rokov, ktorých vodnosť bola menšia ako 90 % dlhodobej hodnoty (Q_a , 1961–2000). Čo je ale pozoruhodné, z týchto 28 rokov je až 13 z obdobia 2001–2020. (Pozn.: ostatné roky za obdobie 2001 až 2020 sú na

obrázku 4 vyznačené červeným šrafovaním). To znamená, že iba v štyroch rokoch v tomto období bola vodnosť väčšia ako 90 % Q_a , 1961–2000.

V ďalšom kroku sme sa pozreli podrobnejšie na rozdelenie odtoku vo vybraných rokoch 1993, 2003, 2012 a 2019, t. j., na jednotlivé mesiace a následne na to, ako VN Domaša dokázala nepriaznivý stav zmeniť.



Obrázok 4. Zoradená priemerná ročná vodnosť vo vodomernéj stanici Stropkov – Ondava

Hodnotenie roka 1993

Z pohľadu hydrologickej bilancie v rámci Slovenska bol rok 1993 zrážkovo aj odtokovo suchý. Najväčšie množstvo zrážok spadlo v mesiaci december, najmenej v apríli (Tabuľka 1.).

V povodí nad VN Domaša, najmenej zrážok spadlo v novembri a maximálne zrážkové úhrny sa vyskytli v júli. Odtok z povodia nad vodnou nádržou bol najväčší v marci a najmenší v novembri.

Tabuľka 1. Mesačné zrážkové úhrny v mm v povodí nad VD Domaša (1993)

Zrážky	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
1993	27,2	37,3	45,3	31,5	52,8	65,6	108,1	85,0	46,1	37,5	18,8	59,4

V povodí sa priemerné ročné prietoky pohybovali v rozpätí od 69 do 89 % príslušných dlhodobých hodnôt. Maximálne priemerné mesačné prietoky boli zaznamenané v mesiaci marec. Ich hodnoty sa pohybovali od 110 do 127 % príslušných dlhodobých hodnôt. Minimálne priemerné mesačné prietoky sa vyskytovali

li v auguste a novembri. Ich hodnoty sa pohybovali od 17–38 % príslušných dlhodobých hodnôt. Môžeme teda konštatovať, že v období od mája do septembra 1993 boli prietoky na Ondave výrazne nižšie ako dlhodobé priemery.

Tabuľka 2. Manipulácia na VN Domaša v roku 1993

4560BQ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
manipulácia VN $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	0,627	3,307	-14,934	-3,696	3,566	4,375	3,181	3,797	2,774	3,917	4,734	-1,919
vodnosť C (%)	91	20	110	99	43	18	24	25	66	29	29	105
vodnosť E (%)	93	41	45	77	72	60	51	71	109	87	83	79
vodnosť EN (%)	99	46	47	78	82	71	59	83	123	97	89	85
potreba $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	1,442	1,789	1,642	1,4	1,936	1,827	1,552	1,763	1,623	1,481	1,381	1,453

Kritické mesiace boli jún a najmä august, kedy v období 19.8.–23.8.1993 prietoky podkročili Q_{355} -denný prietok, čo znamenalo veľmi nepriaznivú situáciu pre prítok do VN Domaša. Požiadavky na vodu na Ondave v profile nad Topľou predstavovali v júni v sumárnej hodnote $1,827 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a v auguste $1,763 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, pričom prirodzená kapacita toku predstavovala iba 18 % Q_{V1a} . Naakumulovaným objemom vo VN Domaša v období, ktoré predchádzalo suchému obdobiu, sa manipuláciou (nadlepšovaním) zabezpečil priaznivý stav nielen na zabezpečenie požiadaviek na vodu (odbery a požadovaný zaručený prietok v toku v auguste), ale aj počas celého nepriaznivého obdobia (Tabuľka 2.).

Z pohľadu priemerných denných prietokov nad vodnou nádržou boli počas 5 dní podkročené hodnoty Q_{355d} , došlo aj k zaznamenaniu hodnôt priemerných denných prietokov menších ako 20 % Q_{ma} , v tomto roku celkovo počas 119 dní. Ak sme ako limitnú hodnotu definovali 40 % Q_{ma} , takéto prietoky sa vyskytli vo všetkých mesiacoch celkovo počas roka v trvaní viac ako 200 dní, čo predstavuje viac ako 50 % dní v roku.

Hodnotenie roka 2003

Rok 2003 hodnotíme ako zrážkovo veľmi suchý rok, vytvoril sa deficit zrážok 189 mm, odtokovo ho hodnotíme ako suchý rok. Najväčšie množstvo zrážok spadlo v mesiaci júl, najmenej v marci. Rovnaká situácia bola aj v povodí nad VN Domaša (Tabuľka 3.). Odtok z povodia nad vodnou nádržou bol najväčší v marci a najmenší v septembri.

Tabuľka 3. Mesačné zrážkové úhrny v mm v povodí nad VD Domaša (2003)

Zrážky	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
2003	40,4	21,0	18,6	45,5	82,6	53,8	93,2	48,1	62,0	79,7	36,6	39,6

Priemerné ročné prietoky v roku 2003 sa v povodí nad vodnou nádržou pohybovali v rozpätí od 42 do 78 % príslušných dlhodobých hodnôt. Maximálne priemerné mesačné prietoky boli zaznamenané v mesiaci marec. Ich hodnoty sa pohybovali od 71 do 137 % príslušných dlhodobých hodnôt. Minimálne priemerné mesačné prietoky sa vyskytovali v auguste. Ich hodnoty sa pohybovali od 10–19 % príslušných dlhodobých hodnôt.

Situáciu v tomto roku komplikoval aj fakt, že obdobie marec až september 2002 bolo z hľadiska mesačných vodností výrazne pod dlhodobými priermi a toto podpriemerné obdobie pokračovalo až do roku 2003. Po prechodnom zvýšení vodnosti

v jarných mesiacoch roku 2003 nastal od júna opätovný výrazný pokles vodnosti, ktorý trval až do konca roka. Prirodzená kapacita bola do konca roka menšia ako 40 % (Tabuľka 4.). Táto hydrologická situácia bola horšia ako v roku 1993. Kritickým bol mesiac august, kedy v období 7.8. až 29.8. boli prietoky nepretržité (okrem dvoch dní) menšie ako 364-denný prietok, čo znamenalo veľmi nepriaznivú situáciu pre prítok do VN Domaša. Priemerný prítok do nádrže sa v júli a v auguste pohyboval iba okolo $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, preto bolo prijaté regulačné opatrenie, ktoré znížilo vypúšťanie z VN na $4,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Tabuľka 4. Manipulácia na VN Domaša v roku 2003

4560BQ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
manipulácia VN $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	3,156	3,738	-13,546	-4,812	0,625	3,902	3,249	4,36	3,738	3,242	2,106	2,472
vodnosť C (%)	47	19	100	78	70	34	26	9	28	37	33	32
vodnosť E (%)	89	48	44	52	77	82	62	76	107	94	59	59
vodnosť EN (%)	90	48	48	51	77	81	61	75	106	93	59	59
potreba $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	1,028	1,013	0,944	0,946	0,913	0,96	0,95	0,929	0,92	0,918	0,947	0,914

Napriek predchádzajúcej nepriaznivej hydrologickej situácii v roku 2002, práve jarné zvýšenie vodnosti v roku 2003 umožnilo vo VN Domaša naakumulovať dostatok vody na preklenutie ďalšej nepriaznivej hydrologickej situácie v nasledujúcich mesiacoch a zabezpečiť aj požiadavky na vodu do konca roka. Požiadavky na vodu na Ondave v profile nad Topľou predstavovali v auguste v sumárnej hodnote $0,929 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, čo bolo takmer o 100 % viac ako prirodzená kapacita toku. Naakumulovaným objemom vo VN Domaša sa manipuláciou (nadlepšovaním) zabezpečil

priaznivý stav nielen na zabezpečenie požiadaviek na vodu (odbery a požadovaný zaručený prietok) v toku v auguste, ale počas celého nepriaznivého obdobia.

Z pohľadu priemerných denných prietokov nad vodnou nádržou v roku 2003 bolo zaznamenaných 21 dní pod Q_{364d} a 38 dní pod Q_{355d} . Počet dní s hodnotou priemerného denného prietoku menšieho ako 20 % Q_{ma} bolo 129 a menších ako 40 % Q_{ma} až 272, čo predstavuje 75 % dní z celého roka.

Hodnotenie roka 2012

Rok 2012 je hodnotený ako zrážkovo normálny rok, pri celkovom hodnotení roka 2012 došlo k deficitu zrážok 49 mm; odtokovo ho hodnotíme ako suchý rok. Najväčšie množstvo zrážok spadlo rovnako ako v roku 2003 v mesiaci júl a najmenej v marci.

Podobná bola situácia aj v povodí nad VN Domaša, kde najmenšie množstvo zrážok spadlo v marci, ale maximálne zrážkové úhrny sa vyskytli v júni (Tabuľka 5.). Odtok z povodia nad vodnou nádržou bol najväčší v marci a najmenší v septembri.

Tabuľka 5. Mesačné zrážkové úhrny v mm v povodí nad VD Domaša (2012)

Zrážky	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
2012	50,8	55,0	22,9	46,5	69,3	117,0	103,3	32,3	39,7	64,6	43,3	43,6

V roku 2012 sa priemerné ročné prietoky pohybovali v rozpätí od 53 do 68 % príslušných dlhodobých hodnôt. Maximálne priemerné mesačné prietoky boli zaznamenané v mesiaci marec. Ich hodnoty sa pohybovali od 74 do 112 % príslušných dlhodobých hodnôt. Minimálne priemerné mesačné prietoky sa vyskytovali zväčša v septembri. Ich hodnoty sa pohybovali od 15–42 % príslušných dlhodobých hodnôt.

Nepriaznivé obdobie začalo už v apríli 2011 a až do februára 2012, kedy bola mesačná vodnosť takmer nepretržite výrazne pod dlhodobými priermi. Po jarnom odtoku, ktorý bol v roku 2012

tiež nižší ako dlhodobý priemer, podpriemerné obdobie pokračovalo od konca leta až do konca roku 2012. Najkritickejšim obdobím boli mesiace august a september, kedy v auguste boli prietoky nižšie ako Q_{355d} a v septembri klesli pod hodnotu Q_{364d} , čo znamenalo veľmi nepriaznivú situáciu pre prítok do VN Domaša, ktorá sa v tomto období výrazne vyprázdňovala. Pre VN Domaša boli prijaté regulačné opatrenia, ktoré od októbra postupne znížili vypúšťanie z nádrže; od 1.10.sa odtok znížil na $4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, od 1. 11. sa odtok znížil na $3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a od 1. 12. na $2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Tabuľka 6. Manipulácia na VN Domaša v roku 2012

4560BQ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
manipulácia VN $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	0,633	0,043	-17,331	-3,741	1,378	-0,382	2,611	4,497	4,62	3,146	1,413	0,403
vodnosť C (%)	43	31	94	54	54	95	38	22	23	33	52	44
vodnosť E (%)	52	31	27	34	67	91	66	92	115	85	73	49
vodnosť EN (%)	52	31	26	33	67	90	66	92	116	84	72	48
potreba $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	0,751	0,765	0,751	0,761	0,758	0,767	0,773	0,775	0,761	0,75	0,74	0,744

Z hľadiska zásob vody bola pre rok 2012 na VN Domaša nepriaznivá východisková situácia, ktorá bola naplnená k 1.1.2012 len na 23,1 % svojho zásobného objemu.

V roku 2012 však bola situácia obdobná ako v roku 2003, kedy zvýšený jarný odtok umožnil vo vodnej nádrži naakumulovať dostatok vody na preklopenie ďalšej nepriaznivej hydrologickej situácie v nasledujúcich mesiacoch a zabezpečiť aj požiadavky na vodu. Najnepriaznivejšia situácia bola v mesiacoch august a september, kedy prirodzená kapacita zdroja bola nižšia ako 25 %

(Tabuľka 6.). Naakumulovaným objemom vo VN Domaša v jarných mesiacoch a v mesiaci jún sa manipuláciou (nadlepšovaním) zabezpečil priaznivý stav vo zvyšných mesiacoch roka.

Z pohľadu priemerných denných prietokov najmenej dní s hodnotou menšou ako 20 % Q_{ma} bolo v roku 2012 (90 dní). Ak sme ako limitnú hodnotu definovali 40 % Q_{ma} , takéto prietoky sa vyskytli vo všetkých mesiacoch celkovo počas roka v trvaní viac ako 200 dní, čo predstavuje viac ako 50 % dní v roku. Naopak počet dní s prietokom menším než Q_{355d} a Q_{364d} bolo menej ako 10 %.

Hodnotenie roka 2019

Rok 2019 hodnotíme ako zrážkovo vlhký rok, došlo k nadbytku zrážok 86 mm, odtokovo ho hodnotíme ako podnormálny rok. Najväčšie množstvo zrážok spadlo v mesiaci máj, najmenej vo februári. Podobná bola situácia aj v povodí nad VN Domaša, kde najmenšie množstvo zrážok spadlo vo februári a maximálne zráž-

kové úhrny sa vyskytli v máji a auguste. Odtok z povodia nad vodnou nádržou bol najväčší v máji a najmenší v septembri. Mesačné hodnoty zrážok za hodnotené roky z územia nad VN Domaša obsahuje tabuľka 7.

Tabuľka 7. Mesačné zrážkové úhrny v mm v povodí nad VD Domaša (2019)

Zrážky	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
2019	65,3	15,7	21,5	50,0	150,3	30,1	100,7	105,8	59,0	43,2	101,9	54,3

Počas roka sa priemerné ročné prietoky pohybovali v rozpätí od 41 do 68 % príslušných dlhodobých hodnôt. Maximálne priemerné mesačné prietoky boli zaznamenané v mesiaci máj. Ich hodnoty sa pohybovali od 121 do 223 % príslušných dlhodobých hodnôt. Minimálne priemerné mesačné prietoky sa vyskytovali v septembri. Ich hodnoty sa pohybovali od 9–34 % príslušných dlhodobých hodnôt.

Nepriaznivá hydrologická situácia sa v povodí prejavila už počas roka 2018, VN Domaša počas celého roka s výnimkou mesiaca marec nadlepšovala prietoky, čo v tomto nepriaznivom období výrazne zlepšilo hydrologickú situáciu v povodí pod vodnou

nádržou. To ale znamenalo, že k 1.1.2019 bola VN naplnená len na 35,1 % svojho zásobného objemu. Napriek tejto nepriaznivej hydrologickej situácii jarné zvýšenie vodnosti v roku 2019 a regulačné opatrenia zavedené už od októbra 2018 a trvajúce počas roka 2019 umožnili vo VN Domaša naakumulovať dostatok vody na preklopenie ďalšej nepriaznivej hydrologickej situácie v nasledujúcich mesiacoch.

Počas roka 2019 boli prijaté regulačné opatrenia pre VN Domaša, ktoré postupne znížili vypúšťanie z nádrže a to nasledovne: už od 1.11.2018 sa odtok znížil na $3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, od 29.4.2019 sa odtok znížil na $2,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a až od 14.6.2019 sa odtok opätovne zvýšil ($4,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Tabuľka 8. Manipulácia na VN Domaša v roku 2019

4560BQ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
manipulácia VN $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	1,339	-6,388	-2,726	1,559	-11,209	1,109	3,664	1,064	3,995	2,955	-2,739	-4,792
vodnosť C (%)	43	97	30	18	159	43	18	67	18	23	103	97
vodnosť E (%)	62	46	20	26	57	55	58	85	99	72	65	49
vodnosť EN (%)	62	46	19	26	56	55	58	84	99	71	64	48
potreba $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	0,655	0,664	0,6654	0,66	0,694	0,694	0,677	0,68	0,641	0,654	0,658	0,664

Najnepriaznivejšia situácia vo VN Domaša bola v mesiacoch apríl, júl a september, kedy prirodzená kapacita toku bola iba 18 % (Tabuľka 8.). Nádrž akumulovala v mesiacoch február, marec a máj, čím zabezpečila nadlepšovanie prietokov v ostatných nepriaznivých mesiacoch roka ako aj zabezpečenie požiadaviek na vodu.

Z pohľadu priemerných denných prietokov a ich výskytu pod zvolenými limitnými hodnotami, bol rok 2019 najmenej kritický, aj keď prietoky menšie než 40 % Q_{ma} sa aj v tomto roku vyskytli v trvaní viac ako 200 dní.

Záver

V poslednom období sa sucho na Slovensku stáva významným negatívnym fenoménom. Významný prínos vodných nádrží aj v súčasnosti ukázali výsledky zhodnotenia rokov 1993, 2003, 2012 a 2019.

Mať primerané množstvo „bezpečnej“ vody pre všetkých a to vždy a všade v súčasnosti nie je samozrejmosťou. V ostatnom období sa stáva, že v rovnakom mieste a v rovnakom čase máme vody priveľa alebo primálo. Pre históriu, dnešok, ale aj budúcnosť platí, že ľudská spoločnosť napreduje najmä tam, kde je vody primerane. A k tomu by sme mali prispieť aj my.

Pri hodnotení súvislostí je zrejmé, že nepriaznivé situácie vo vybraných rokoch neboli ojedinelé a ich dôvody/pričiny sa niekedy ťahli už z predchádzajúceho roka. Bez existencie vodnej nádrže Domaša by bola nielen počas analyzovaných rokov, ale aj počas iných období situácia v povodí pod ňou výrazne horšia.

Predložená 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 s ďalším predlžovaním nepriaznivej hydrologickej situácie by aj táto VN mohla mať problémy so zabezpečením požiadaviek bez nastavení ďalších opatrení. Rok 2019 (ktorý nasledoval po dvoch tiež suchších rokoch) opätovne ukázal, že hydrologické sucho je jav, s ktorým musíme počítať častejšie a nedá sa eliminovať, a preto je nevyhnutné vytvárať opatrenia na zníženie jeho dôsledkov. Jedným z potrebných opatrení je stanovenie jasnej prioritizácie požiadaviek na vodu a nastavenie regulačných opatrení v čase nedostatku vody, ale s maximálnym ohľadom na ekologickú hodnotu prostredia.

Podakovanie

Táto práca bolo podporovaná Agentúrou na podporu a výskum vývoja na základe Zmluvy č. APVV-20-0374.

Literatúra

- [1] ABAFFY, D, 1991, Priehrady a nádrže na Slovensku, Bratislava, Alfa, 1991, ISBN 80-05-00926-7
- 2 FENDEKOVÁ, M., DANÁČOVÁ, Z., GAUSTER, T., LABUDOVÁ, L., FENDEK, M., HORVÁT, O. (2017) Analysis of hydrological drought parameters in selected catchments of the southern and eastern Slovakia in the years 2003, 2012 and 2015, Acta hydrologica slovacica, vol. 18, no.2, pp.135-144
- 3 [2] Hydrologická ročenka, časť Povrchové vody 2017, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, 2018,
- 4 JENEIOVÁ, K., ŠKODA, P., BLÁŠKOVIČOVÁ, L. (2019) Výskyt hydrologického sucha v lete 2018 na Slovensku, Vodohospodársky spravodajca, vol.1-2, pp.16-20
- 5 [3] JENEIOVÁ, 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
- 6 [4] Vodohospodárska bilancia SR: Kvantitatívna vodohospodárska bilancia množstva povrchových vôd za roky 1993, 2003, 2012 a 2019 Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava,
- 7 [5] POÓROVÁ, Jana a kol, 2018: Hodnotenie vodnosti roka a zmien rozdelenia odtoku v roku, Čiastková úloha: Hodnotenie hydrologického sucha, SHMÚ,
- 8 [6] BLÁŠKOVIČOVÁ, Lotta, Jana, POÓROVÁ, Katarína, MELOVÁ, Katarína, JENEIOVÁ, 2019: Nastavenie limitných hodnôt pre hodnotenie hydrologického sucha, In: Manažment povodí a extrémne hydrologické javy 2019, Vyhne.

SIMULACE OVLIVNĚNÍ REŽIMU ODTOKŮ Z NÁDRŽÍ V POVODÍ DYJE VLIVEM KLIMATICKÝCH SCÉNÁŘŮ

**Pavel Tachecí¹, Milan Fischer², Jana Bernsteinová², Evžen Zeman², Petr Štěpánek²,
Marek Maťa¹, Zdeněk Hošek¹, Magdalena Komárek¹, Miroslav Trnka²**

¹ DHI a.s., Na Vrších 5, Praha 10, pt@dhigroup.com

² CzechGlobe – Ústav výzkumu globální změny, AV ČR v. v. i., Bělidla 4a, Brno

Abstrakt

Příspěvek prezentuje použití podrobného matematického, plošně distribuovaného hydrologického modelu MIKE SHE pro simulaci dopadů klimatické změny v povodí Dyje na režim přítoků a odtoků z vybraných nádrží.

V rámci projektu AdaptDyje (zadavatel: CzechGlobe) byl sestaven komplexní matematický hydrologický model na povodí Dyje (12 738 km²) pomocí integrovaného deterministického plošně distribuovaného modelovacího systému MIKE SHE (DHI Software). Model byl uspokojivě kalibrován a validován a úspěšně testován na dlouhodobou stabilitu.

Během testování odezvy modelu na různé typy klimatických scénářů (globální a regionální modely a různé scénáře socioekonomického vývoje) byly mimo jiné vyhodnoceny změny ve statistických parametrech přítoků a odtoků z vybraných nádrží v povodí Dyje (za použití aktuálně platných manipulací na nádržích). Jako příklad jsou uvedeny výsledky simulace scénáře SSP370, EC-EARTH3 pro období 2034–2054 ve srovnání se simulací současného stavu (1999–2019).

Klíčová slova: povodí Dyje; hydrologický model MIKE SHE; bilance nádrží; klimatické scénáře.

Abstract

A complex mathematical water balance model for Dyje (Thaya) river basin (12 738 km²) was established in frame of AdaptDyje project (client: CzechGlobe). MIKE SHE (DHI Software) was used, which is able to simulate overland flow, channel flow, unsaturated and saturated zone flow as well as evapotranspiration and snow melt. The spatial resolution of the model is 500 m while the basic computational time step is 1 day. The model includes 1470 km of river channels, 55 most important structures (including 18 reservoirs), 310 surface water users and 122 groundwater users. Water balance model of Dyje river basin was successfully calibrated and validated for two 10-years periods. 50 flow gauges, 75 groundwater well and 16 reservoirs were used for comparison with observed discharge, groundwater level and reservoir water level time series. Also, the model was successfully tested in long-term stability tests. Currently, model is used by the client for simulations of impacts of future climate scenarios and impacts of adaptation measures in Dyje river basin with the main focus on drought. The impact of particular climate scenario SSP370, EC-EARTH3 on inflow and outflow of 10 reservoirs is analyzed. Comparison of simulation results using scenario inputs (1.11.2034–31.10.2054) are compared with Current status (1.11.1999–31.10.2019) simulation results.

Keywords: Dyje river basin; MIKE SHE modelling system; water balance of reservoirs; climatic changes.

Úvod

V rámci projektu AdaptDyje (zadavatel: Ústav výzkumu globální změny, AV ČR v. v. i.) byl sestaven komplexní matematický hydrologický model na povodí Dyje pomocí integrovaného deterministického plošně distribuovaného modelovacího systému MIKE SHE (DHI Software) [1]. Model simuluje pohyb vody po povrchu, v korytech vodních toků, v nasycené zóně (půdě), v nasycené zóně (pohyb podzemní vody) včetně výpočtu evapotranspirace a tání sněhu. Model byl úspěšně testován na dlouhodobou stabilitu ve 43letém historickém období a také s použitím extrémně vlhkého klimatického scénáře o délce 49 let. Během testování modelu byly využity i další klimatické scénáře. Jedním z cílů testování byla simulace budoucího vývoje přítoků a odtoků z vybraných nádrží v povodí Dyje, zejména z pohledu statistických charakteristik.

Model a scénáře

Distribuovaný hydrologický model na povodí Dyje (12 738 km²) v modelovacím systému MIKE SHE byl sestaven v prostorovém kroku 500×500 m. Do modelu bylo zahrnuto 1470 km koryt vodních toků, 32 jezů a 23 manipulovatelných objektů na tocích včetně 18 nejvýznamnějších vodních nádrží, 310 míst odběrů a vypouštění povrchové vody a 122 vrtů s odběrem podzemní vody. Dále byla použita vstupní časová pole meteorologických veličin v denním kroku v rozlišení 500×500 m pro období 1.11.1976 až 31.12.2019, sestavená na základě dat Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Pro účely kalibrace a validace byly k dispozici průtoky měřené ČHMÚ v 60 profilech na tocích, hladiny podzemní vody měřené ČHMÚ v 75 objektech pozorování a dále hladiny v 16 nádržích měřené Povodím Moravy, s. p. Na základě statistického vyhodnocení bylo vybráno pro kalibraci modelu období 1.11.1999–30.10.2010, pro validaci modelu 1.11.2010–30.10.2019. Kalibrační období se průměrnými hodnotami meteorologických veličin blíží hodnotám normálového období (1981–2010) v převažující části plochy povodí. Validační období je znatelně teplejší a sušší, s výraznými rozdíly mezi jednotlivými roky. Proto je vhodné pro testování reakce modelu na budoucí klimatické podmínky. Podrobněji model popisuje např. [2].

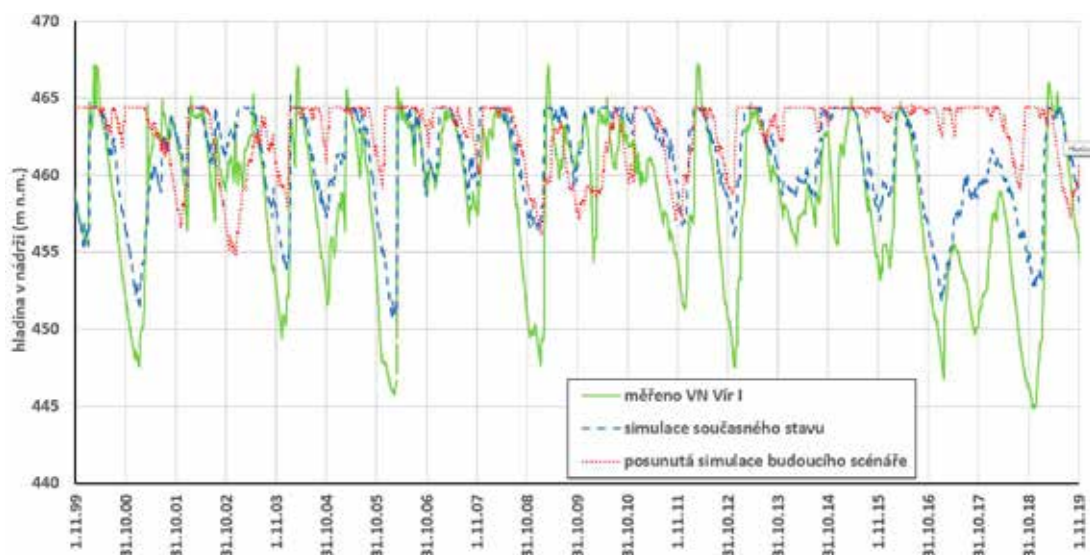
Během testování stability modelu byly zkoušeny různé kombinace scénářů budoucího vývoje. Pro tento příspěvek byl vybrán scénář SSP370, EC-EARTH3 a prezentovány jsou výsledky simulací pro období 1.11.2034–31.10.2054. Pro podmínky simulace scénáře budoucího vývoje byla v modelu změněna vstupní pole klimatických charakteristik (průměrné denní teploty, denní úhrny srážek, denní úhrny referenční evapotranspirace) a také pole vegetačních charakteristik (hloubka kořenové zóny, index listové plochy a koeficient vegetace). Ostatní parametry modelu, včetně definovaných manipulací na nádržích a odběrů vody zůstaly beze změny podle současného stavu. Porovnání

s výsledky modelu současného stavu je provedeno pro vybraných 10 nádrží. Porovnání měřených (1.11.1999–31.10.2019) a simulovaných (v období 1.11.1999–31.10.2019 pro současný stav resp. 1.11.2034–31.10.2054 pro scénář budoucího vývoje) průtoků

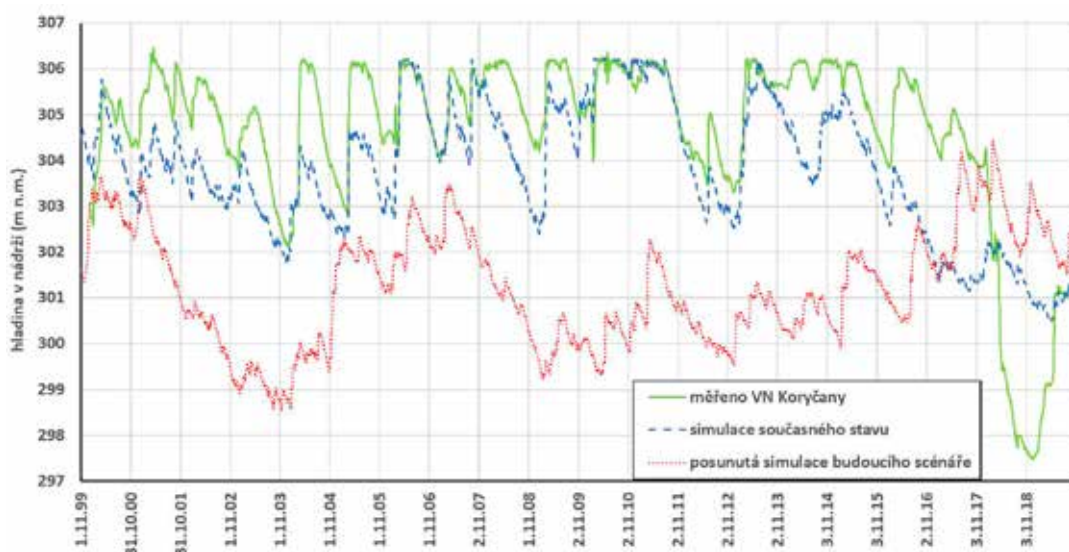
je dále provedeno v profilech na přítoku a na odtoku z těchto nádrží. Na obrázcích 1 a 2 jsou dva příklady porovnání měřených (Povodí Moravy s.p.) a simulovaných průběhů hladin v nádržích.

Tabulka 1. Vybrané nádrže, porovnání průměrných průtoků měřených a simulovaných (l/s)

nádrž	Landštejn		Mostiště		N. Říše		Jevišovice		Letovice	
profil ČHMÚ	4295	4296	4700	4710	4275	4276	4376	4380	4525	4530
Q_a měřeno (l/s)	53	59	1224	1195	72	52	264	297	485	536
Q_a sim. souč. stav (l/s)	42	107	877	863	81	64	162	167	428	462
Q_a sim. scénář (l/s)	25	56	1661	1754	84	81	462	471	827	921
nádrž	Boskovice		Koryčany		Vranov		Brno		Vír	
profil ČHMÚ		4550	4831	4840		4340	4480	4490	4420	4450
Q_a měřeno (l/s)		221	76	68		9580	7162	7262	3001	3484
Q_a sim. souč. stav (l/s)	101	151	67	59	7487	7252	6313	6609	2598	2936
Q_a sim. scénář (l/s)	146	371	47	35	12860	12742	9653	10362	3122	3803



Obrázek 1. Porovnání měřených a simulovaných výšek hladiny v nádrži Vír I. Scénář budoucího vývoje je přesunut do časového období od 1.11.1999.



Obrázek 2. Porovnání měřených a simulovaných výšek hladiny v nádrži Koryčany. Scénář budoucího vývoje je přesunut do časového období od 1.11.1999.

Souhrn porovnání simulovaných výsledků na vybraných nádržích

Při použití konkrétního vybraného scénáře SSP370, EC-EARTH3 se simulované průměrné přítoky do 10 vybraných nádrží oproti simulaci současného stavu zvýšily v průměru o 49 % (nejvíce do nádrže Jevišovice), zatímco ve dvou případech (VN Landštejn a VN Koryčany) se přítoky snížily. Průměrné hodnoty odtoků z nádrží se zvýšily v průměru o 63 %. Největší navýšení odtoku při tomto scénáři (relativně k simulaci současného stavu) se vyskytlo u nádrže Boskovice, naopak největší relativní úbytek odtoku z nádrže Landštejn.

Dílčí závěry

Z dosavadních testů bilančního matematického modelu na povodí Dyje je zřejmé, že nelze jednoduše vyvozovat obecné závěry na základě jedné realizace klimatického scénáře. Vzhledem k velké komplexitě simulovaných procesů je nutné vyhodnocovat statisticky, trendově z většího počtu realizací scénářů budoucího vývoje s vyhodnocením míry nejistoty. Ze získaných zkušeností lze dále usuzovat, že:

- Pro simulaci hydrologické bilance distribuovaným modelem je zásadní minimalizace chyby výpočtu aktuální evapotranspirace, a to jak v čase, tak v plošném rozdělení.
- Pro smysluplnou simulaci bilance na nádržích je zásadní přesné nastavení pravidel manipulací v rámci dispečerských grafů, manipulačních řádů a obvyklých postupů dispečera. Pravidla mají časově omezenou platnost, danou platností jmenovaných dokumentů. Mimořádné manipulace nelze začlenit do obecných pravidel manipulací, aplikovatelných i pro budoucí scénáře.
- Pro celkovou bilanci v popisovaném modelu povodí Dyje představují významnou nejistotu zadané hodnoty bodových odběrů a vypouštění a jejich vývoj v čase. Jde o významné omezení dané dostupnými daty, která jsou navíc v měsíčním kroku. To má při simulaci v denním kroku přímý dopad zejména na minimální průtoky.
- Z dosud provedených vyhodnocení průtoků a odtoků na nádržích vychází jako významný faktor ve scénářích budoucího vývoje nejen úhrn, ale také rozdělení srážek v čase a ploše.

Poděkování

Tato práce vznikla s podporou projektu TA ČR SS01010207 „Vývoj nástroje pro identifikaci hlavních rizik hospodaření s vodními zdroji v povodí Dyje a metodika jejich systémového řešení v podmínkách měnícího se klimatu“ a s podporou projektu Sus-tES – Adaptační strategie pro udržitelnost ekosystémových služeb a potravinové bezpečnosti v nepříznivých přírodních podmínkách (CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000797).

Literatura

- [1] GRAHAM, Douglas N. a Michael B. BUTTS. Flexible, integrated watershed modelling with MIKE SHE. In: Singh, V. P. a Frevert, D. K. (eds.): *Watershed Models*, 2005 CRC Press.
- [2] TACHECÍ, Pavel, Marek MAŤA, Zdeněk HOŠEK, Magdalena KOMÁREK, Milan FISCHER, Evžen ZEMAN a Miroslav TRNKA. Integrovaný model hydrologické bilance v povodí Dyje se zaměřením na sucho. *Vodní Hospodářství* 5/2022 s.6-9.

OPATŘENÍ KE ZLEPŠENÍ PODMÍNEK PŘEDMĚTU OCHRANY PŘÍRODNÍ REZERVACE VĚSTONICKÁ NÁDRŽ A PTAČÍ OBLASTI STŘEDNÍ NÁDRŽ VD NOVÉ MLÝNY A VODOHOSPODÁŘSKÉ FUNKCE SOUSTAVY

David Fína, Antonín Tůma, Marek Viskot

Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno, tel. +420 541 637 111, viskot@pmo.cz

Abstrakt

V období 2015 – 2018 se i na Novomlýnských nádržích významně projevilo suché období, kdy došlo k historickým záklesům hladiny ve Střední a Dolní nádrži. Zároveň se v suchých epizodách zvyšuje potřeba vody odebírané z těchto nádrží, především pro závlahy. Bilančně nejsou Novomlýnské nádrže schopny zabezpečit povolená množství stávajících odběrů a nových už vůbec. Jako cesta k posílení vodního zdroje je opětovné navýšení hladiny na Střední a Dolní nádrži na kótu 170,35 m n.m., čímž se získá navíc objem ve výši cca 9 mil. m³ vody. Proto bylo přistoupeno ke zpracování studií, které se zabývaly mnoha aspekty a faktory, které navýšení hladiny ovlivní. Výsledkem bylo vydání souhlasného Závazného stanoviska MŽP, které předepisuje podmínky pro jednotlivé fáze I. – III. V dubnu 2022 bylo dokončeno všech 7 předepsaných opatření - instalace nových plovoucích ostrovů (vlnolamů) k ochraně deponií u Kostelního ostrova, překopání staré Ivaňské cesty a využití materiálů při úpravě deponií u Kostelního ostrova, zajištění stávající izolace lagun ostrovů Písky, zajištění SZ části Velkého písečného ostrova proti postupu abraze plovoucími vlnolamem, realizace 2 plovoucích plošin umístěných u hnízdních ostrovů, vytvoření pastviště pro husy v jižní části Kostelního ostrova.

Klíčová slova: Novomlýnské nádrže; sucho; navýšení hladiny; opatření

Abstract

In the period 2015-2018, the Novomlýnské Reservoirs were also significantly affected by the dry season, when historical water level drops occurred in the middle and lower reservoirs. At the same time, the demand for water withdrawn from these reservoirs, especially for irrigation, tends to increase during dry episodes. In terms of balance, the Novomlýnské Reservoirs are unable to meet the permitted levels of existing withdrawals and new withdrawals not at all. The way to strengthen the water resource is to raise the level of the middle and lower reservoirs again to 170.35 m above sea level, which will provide an additional volume of about 9 million m³ of water. A study was therefore undertaken to look at many aspects and factors that will affect the level rise. As a result, the Ministry of the Environment issued a binding statement prescribing the conditions for individual phases I – III. In April 2022, all 7 prescribed measures were completed – the installation of new floating islands (breakwaters)

to protect the landfill at Kostelní Ostrov Island, the dredging of the old Ivaňská Cesta Path and the subsequent use of material in the modification of the landfill at Kostelní Ostrov Island, securing the existing isolation of the lagoons of the Písky Islands, securing the NW part of the Velký Písečný Ostrov Island against abrasion by floating breakwaters, implementation of 2 floating platforms located at the nesting islands, and the creation of a grazing area for geese in the southern part of Kostelní Ostrov Island.

Key words: Novomlýnské reservoirs; drought; level rise; measures

Úvod

Ve 2. polovině roku 2021 byla zahájena realizace opatření I. fáze. Jednotlivé části byly prováděny ve Střední nádrži Nové Mlýny. Většina prací byla prováděna z vodní hladiny za pomoci plovoucího bagru a dalších zařízení. Na fázi I. bezprostředně navazuje fáze II., v rámci které bude řešena změna povolení k nakládání s vodami na Střední a Dolní nádrži Nové Mlýny včetně projednání a schválení manipulačních řádů pro uvedené nádrže.

Současné rozdělení jednotlivých prostor ve Střední a Dolní nádrži:

Tabulka 1. Dolní nádrž

Prostor	kóty hladin m n.m.	objem mil. m ³	zatopená plocha ha
kóta dna	163,50		
stálé nadržení	167,20	23,685	1 394
zásobní prostor	170,00	40,610	1 474
retenční prostor	171,24	19,665	1 668
celkový	171,24	83,961	1 668

Tabulka 2. Střední nádrž

Prostor	kóty hladin m n.m.	objem mil. m ³	zatopená plocha ha
kóta dna	166,50		
stálé nadržení	170,00	17,545	989
zásobní prostor	170,00	0	1 017
retenční prostor	171,42	14,516	1 033
celkový	171,42	32,062	1 033



Obrázek 1. Střední nádrž Nové Mlýny

Navržená opatření na Novomlýnských nádržích

Jak již bylo zmíněno v úvodu příspěvku opatření na Novomlýnských nádržích jsou rozděleny do tří etap. Jsou dány především vydaným souhlasným Závažným stanoviskem k posouzení vlivů provedení záměru na životní prostředí.

Fáze I zahrnuje instalaci nových plovoucích ostrovů, odstranění části tzv. Ivaňské cesty, zajištění izolovanosti malé a velké laguny na ostrovech Písky, ochranu vybraných částí ostrovů (Kostelní ostrov, deponie, Velký písečný ostrov) před abrazí, realizaci plovoucích plošin u plovoucích ostrovů a vytvoření pastviště

pro husy na Kostelním ostrově a v prostoru východně od soutoku Svratky a Jihlavy.

Fáze II představuje zavedení nově navržené manipulace v nádrži, která je možná po dokončení fáze I. Ve fázi II lze realizovat další opatření, která jsou v souladu s plánem péče o ptačí oblast.

Fáze III zahrnuje realizaci souboru revitalizačních opatření včetně vlnolamů u ostrovů A a B (Severní a Jižní ostrov), Kostelního ostrova a Deponií I, III, IV, V a VI, ostrovů Písky, realizaci litorálních oblastí Střední nádrže – litorálního pásma v SZ části nádrže a litorálního pásma v Pouzdřanské zátocce.

Obrázek 2. Pohled na Kostelní ostrov zahrnující více opatření



Opatření realizovaná ve fázi I.

Jednotlivá realizovaná opatření I.fáze:

- I. Zajištění a instalace nových plovoucích ostrovů (vlnolamů) – k ochraně deponií u Kostelního ostrova (2 soubory stabilních plovoucích vlnolamů, každý o délce 75 m).

Byly instalovány tři sety plovoucích vlnolamů. Dva dlouhé 76×3 metrů byly umístěny k deponiím u Kostelního ostrova a jeden dlouhý 30×3 metrů u souostroví Písky. Povrch pontonů byl opatřen šterkem frakce 8–16 mm a ponton byl opatřen oplůtkem vysokým 30 cm a ocelovým pletivem velikostí oka do 1 cm. Pontony byly opatřeny stínítky a budkami pro mláďata. Instalace proběhla v první polovině dubna 2022.



Obrázek 3. Vlnolam na hladině Střední nádrže

- II. Překopání staré zaplavené Ivaňské cesty a využití materiálů při úpravě deponií u Kostelního ostrova.

Prokopání cesty proběhlo ve dvou fázích. Sediment vykopaný z cesty u Deponií a Kostelního ostrova byl navážen na erodované části ostrovů čtvrté a páté deponie. Deponie byly rozšířeny sedimentem na původní stav před rozplavením. V průběhu prací byl sledován také vliv na zimující ptactvo.



Obrázek 4. Přerušení cesty v severní části



Obrázek 5. Rozšíření deponie v jižní části cesty

- III. Zajištění stávající izolace lagun ostrovů Písky navýšením ve dvou úsecích délky cca 30 m tak, aby zvýšením hladiny na 170,35 m n.m. nedošlo k propojení stávajících izolovaných lagun se zbytkem nádrže.

Práce proběhly v měsíci listopadu 2021. Spočívaly ve vytvoření hatě z vrbových a topolových kůlů po dvou stranách hrázky, materiál deponovaný mezi kůly byl tvořený dřevní hmotou a sedimentem z nádrže. Kůly byly zatlukány a sediment přemísťován pomocí bagru. Tato opatření byla realizována na severní a jižní hrázce o délkách cca 30 m. U severní hrázky byla tato prodloužena ještě o dalších cca 40 m ve sníženině, aby nedošlo při navýšení hladiny k propojení lagun touto cestou. Tato úprava byla realizována bez dřevěných kůlů, ale vzhledem k lokalizaci této hrázky to lze považovat za dostačující; tato část byla realizována nad rámec závazného stanoviska.

Práce provedlo Povodí Moravy, s.p., provoz Dolní Věstonice. Realizace předpokládá zarostení a zpevnění hrázky vegetací (rákosem), které by mělo být funkční i po rozpadu dřevní hmoty.



Obrázek 6. Izolace laguny na ostrově Písky



Obrázek 7. Mechanizace Povodí Moravy, s.p. při práci

- IV. Zajištění SZ části Velkého písčného ostrova proti postupu abraze – jedná se o ochranu břehu plovoucím vlnolamem.

Byl instalován jeden ze tří plovoucích vlnolamů. Vlnolam je rozměru 30×3 metry u souostroví Písky. Povrch pontonů byl opatřen štěrkem frakce 8–16 mm a ponton byl opatřen oplůtkem vysokým 30 cm a ocelovým pletivem velikostí oka do 1 cm. Pontony byly opatřeny stínítky



Obrázek 8. Vlnolam u ostrova Písky



Obrázek 9. Letecký pohled na vlnolam

a budkami pro mláďata. Instalace proběhla v první polovině dubna 2022.

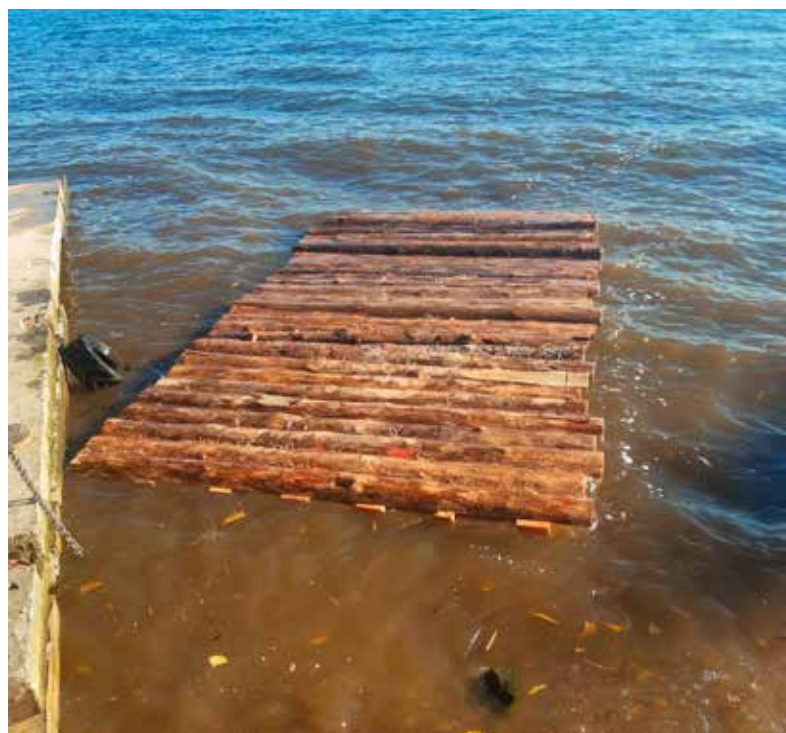
- V. Realizace 1–2 plovoucích plošin umístěných 20–30 m od hnízdních ostrovů (bližší specifikace v rámci projednání s ČSO).

Realizace 1–2 plovoucích plošin (např. fošny 0,05×0,20×4,0 m sešroubované do kříže, aby vznikl tvar 0,1×4×4 m, uprostřed vystoupá „třetí“ vrstva 0,05×2×2 m) umístěných 20–30 m od hnízdních ostrovů.

Plošiny byly instalovány v polovině měsíce dubna. Dvě plošiny byly umístěny mezi pilíře v jihozápadní části nádrže a jedna plošina u plovoucího ostrova v jihovýchodní části nádrže. Upevněny byly pomocí ocelových lan. Plošiny byly vyrobeny ze smrkových okorů a mají sloužit jako prostor pro vypadnutí mláďata. Práce provedlo Povodí Moravy, s.p., provoz Dolní Věstonice.



Obrázek 10. Plovoucí plošiny u vlnolamu



Obrázek 11. Plovoucí plošina

VI. Vytvoření pastviště pro husy v jižní části Kostelního ostrova jako náhradu za stávající plochy, které budou při zvýšení hladiny zatopeny.

Práce byly projednány s Národním památkovým úřadem dne 31.8.2021. Práce na vytvoření pastviště probíhaly od 26. 10. 2021 do 16. 2. 2022. Do konce roku 2021 byly těženy sedimenty v okolí ostrova a deponovány na břeh, včetně úpravy deponované plochy. Navýšená plocha břehu nad 170,35 m n. m. má rozměry cca 70×11 m. Tato plocha byla oseta travním semenem. Použito bylo travní semeno: 80 kg oves nahý čištěný a 10 kg travní směsi (srha laločnatá – TOSCALI 70 %, kostřava červená TAGERA 15 % a lipnice luční BALIN 15 %). Osetí bylo realizováno před dokončením prací – cca 16. 2. 2022.

VII. Úprava části prostoru východně od soutoku Svratky a Jihlavy, jižně od stávající cyklostezky tak, aby i při zvýšené hladině byla využitelná jako pastviště pro husy, současně v této lokalitě vybudovat několik tůní.

Práce probíhaly od konce ledna do konce února 2022. Práce provedlo Povodí Moravy, s.p., provoz Dolní Věstonice. Projektový záměr byl předem opakovaně konzultován a upravován, byly zbudovány tři větší tůně a jedna menší. Materiál vytěžený z těchto tůní byl uložen na středovou plochu za účelem vytvoření samotného pastviště. Sklon břehů tůní byl proveden mírný a byl brán ohled na případné kolísání hladiny. Staveniště bylo pravidelně navštěvováno a konzultovány možnosti a úpravy tůní. Prostor byl osázen ovsem a travní směsí (srha laločnatá – TOSCALI 70 %, kostřava červená TAGERA 15 % a lipnice luční BALIN 15 %). Osetí bylo realizováno po dokončení prací. Celkový prostor pastviště má cca 1,17 ha.



Obrázek 12. Pastviště v rozestavěném stavu



Obrázek 13. Dokončené pastviště



Obrázek 14. Probíhající stavba pastviště



Obrázek 15. Letecký pohled na dokončené pastviště

Další činnosti v rámci fáze I.

Pro výše uvedená opatření byl zpracován Havarijní plán pro realizaci I. fáze opatření v souladu s podmínkami č. 12 a 27 „Závazného stanoviska EIA“.

Všechna tato opatření byla realizována pod biologickým dozorem (viz. podmínka č. 15 „Závazného stanoviska EIA“). Realizací opatření v rámci fáze I. došlo k naplnění podmínek nutných pro zahájení II. fáze záměru, tedy zpracování nového povolení k nakládání s vodami a nových manipulačních řádů pro Střední a Dolní nádrž VD Nové Mlýny.

V souladu s podmínkou č. 18 „Závazného stanoviska EIA“ byla také zpracována pasportizace objektu kostela sv. Linharta ve smyslu vyhlášky č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb, ve znění pozdějších předpisů.

Monitoring provedených opatření

Po realizaci všech opatření od května 2022 byl, v souladu s podmínkou č. 35 „Závazného stanoviska EIA“, zahájen monitoring, tj. monitoring a biomonitoring důsledků prováděných prací a jejich vlivu jak na biotu na území PR Věstonická nádrž, tak na vodohospodářské využití VD NM a kvalitu vody v nádrži, a to ve vztahu k výšce hladiny vody a ročnímu období. Monitoring bude průběžně sledovat a vyhodnocovat účinky již realizovaných opatření. Výsledky budou využity kromě jiného i pro úpravy či opravy provedených částí záměru (např. při pokračování eroze v ponechaných nátržích apod.) Rozsah monitoringu byl projednán a je průběžně konzultován s KÚ JMK OŽP a s ČSO.

Povolení k nakládání s vodami a manipulační řády – fáze II.

Byly již zpracovány návrhy manipulačních řádů pro Střední a Dolní nádrž včetně žádostí o změnu povolení k nakládání s vodami. Do manipulačních řádů byly zpracovány v souladu s požadavky „Závazného stanoviska EIA“, viz. podmínky č. 13 a 19.

POUŽITÍ VÍCEKRITERIÁLNÍHO HODNOCENÍ PŘI VÝBĚRU VARIANTY VODNÍHO DÍLA SKALIČKA

Miroslav Brouček¹, Josef Hejzlar², Jaromír Říha³, Ladislav Satrapa¹

¹ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha, tel. +420 224 354 609, miroslav.broucek@fsv.cvut.cz

²Biologické centrum AV ČR, v.v.i., Branišovská 1160/31, 370 05 České Budějovice

³VUT v Brně, Fakulta stavební, Veveří 331/95, 602 00 Brno

Abstrakt

Od poloviny 50. let dvacátého století probíhají aktivity spojené s návrhem významného vodního díla (VD) na řece Bečvě v oblasti Teplice nad Bečvou. V průběhu času byl návrh upravován dle soudobých požadavků na účely nádrže. V současnosti se jedná především o vytvoření umělého retenčního prostoru, který by zajistil transformaci povodňových průtoků. Současně je žádoucí zohlednit možnost zřízení zásobních prostorů a jejich efektivního využití pro účely kompenzace účinků hydrologického sucha.

Tato studie obsahuje formalizované vícekritériální hodnocení vybraných variant řešení VD Skalička, které tvoří zásadní prvek protipovodňové ochrany Pobečví, a doporučení vhodné varianty pro další přípravu. Hodnocení je provedeno dvěma principiálně odlišnými přístupy pro vhodně zvolenou a širokou skupinou nezávislých odborníků odsouhlasenými hodnotícími kritérii. Předmětem hodnocení je pět variant vodního díla Skalička navržených správcem povodí, které jsou doplněny o nulovou variantu bez vodního díla. Syntéza výsledků vícekritériálního hodnocení indikuje jako nejvhodnější variantu řešení vodního díla boční víceúčelovou nádrž.

Klíčová slova: VD Skalička; vícekritériální hodnocení; sypaná hráz; boční nádrž.

Abstract

Since the mid-1950s, activities related to the design of a major hydraulic structure on the Bečva River in the area of Teplice nad Bečvou have been underway. Over time, the design was modified according to contemporary requirements for the purposes of the reservoir. Currently, the main purpose of the reservoir is the transformation of flood flows. It is desirable also to consider construction of multi-purpose reservoir with active storage which could be used for efficient compensation of the effects of hydrological drought.

This study contains a formalised multi-criteria evaluation of selected variants of the Skalička dam, which presents a crucial element of the flood protection in the Pobečví region, and a recommendation for the most suitable variant for further preparation. The evaluation is carried out using two fundamentally different approaches for evaluation criteria selected and agreed upon by a broad group of independent experts. Subject to evaluation are five variants of the potential Skalička dam proposed by the river basin managing state enterprise. The sixth variant considered does not include the construction of a dam at all. The synthesis of the results of the multi-criteria evaluation indicates a multi-purpose lateral reservoir as the most suitable variant.

Keywords: Skalicka dam; multi-criteria evaluation; embankment dam, lateral reservoir.

Úvod

VD Skalička svým umístěním na středním toku Bečvy odpovídá VD Teplice, jehož příprava sahá hluboko do 20. století. Hrázový profil i velikost nádrže se z různých důvodů postupně upravovaly. Původně uvažovaný profil hráze v morfologicky výhodném hrdlu bezprostředně nad lázními Teplice nad Bečvou byl v 50. letech 20. století z obavy z interakce s podzemními krasovými strukturami přesunut do prostoru nad obcí Černotín. V souvislosti s touto koncepcí byl v 50. letech 20. století proveden poměrně rozsáhlý geologický a hydrogeologický průzkum.

Zkušenosti získané při povodních na Bečvě v letech 1997 a 2010 vyvolaly nově potřebu zabývat se systematicky ochranou sídel na dolním toku Bečvy, jde zejména o město Přerov a těžce zkoušenou obec Troubky. Navazující studie [2] ukázala, že požadovanou ochranu může zajistit pouze komplexně vybudovaný soubor protipovodňových opatření, jehož součástí bude vodní dílo disponující dostatečným retenčním prostorem. Vodní dílo s posunutým hrázovým profilem do lokality Skalička je základním a nezbytným prvkem systému protipovodňové ochrany na Spojené Bečvě. Tento systém dále obsahuje řadu dalších lokálních opatření na dolním toku Bečvy, která nicméně nemohou zabezpečit odpovídající ochranu pouze využitím inundace nebo lokálním zkapacitněním koryta. Účinnost těchto lokálních opatření je tak přímo závislá na funkci projektovaného vodního díla [2].

Navrhované vodní dílo v lokalitě Skalička má dle [2] za úkol transformovat povodňovou vlnu PV 1997 o kulminaci cca 950 m³/s na neškodný odtok 660 až 700 m³/s (tj. cca Q_{20}) a výrazně tak eliminovat potenciální škody v níže položených úsecích řeky. Vodní dílo bude zadržovat extrémní průtoky nad stanoveným mezním průtokem a podle potřeby případně i způžďovat odtoky Bečvy s ohledem na možnost zlepšení odtokových poměrů na řece Moravě pod soutokem obou řek, v závislosti na konkrétní povodňové situaci.

Další náhled na funkci vodního díla u Skaličky přineslo období sucha v letech 2017 a 2018. Pražové hodnoty průtoku vymezující sucho jsou v profilu stanice Dluhonice dány hodnotou průtoku cca 2,19 m³/s a v profilu Teplice hodnotou cca 2,17 m³/s. Uvedené stavy sucha byly v období let 2017 až 2018 zaznamenány v profilu Dluhonice v celkové délce trvání cca 97 dní a v profilu Teplice cca 160 dní. Základním strategickým dokumentem v ČR se zaměřením na problematiku sucha a související adaptační opatření je především Koncepce na ochranu před následky sucha pro území České republiky [3]. Z koncepčních dokumentů a výstupů vyplývá, že zájmová lokalita na úseku toku Bečvy spadá do oblasti mírně ohrožené hydrologickým suchem. Je proto žádoucí, aby v rámci úvah o realizaci případného vodního díla v daném území byla zohledněna možnost zřízení zásobních prostorů a jejich efektivního využití pro účely kompenzace negativních účinků hydrologického sucha.

Článek popisuje postup multikritériální analýzy (MKA) vybraných variant řešení VD Skalička, které má tvořit zásadní prvek protipovodňové ochrany Pobečví. Předmětem hodnocení je 5 variant vodního díla navržených správcem povodí, které jsou

doplněny o nulovou variantu bez VD. Výstupem analýzy je doporučení vhodné varianty pro další přípravu. Hodnocení je provedeno dvěma odlišnými přístupy pro vhodně zvolená a širokou skupinou odborníků odsouhlasená hodnotící kritéria. Syntéza výsledků vícekritériálního hodnocení indikuje jako nejvhodnější variantu řešení vodního díla boční víceúčelovou nádrž.

Zájmové území a jeho specifika

Zájmové území se nachází na pomezí Zlínského a Olomouckého kraje ve správním území ORP Hranice v ř. km Bečvy 46,0–52,0 (obr. 1). Aktivita spojená s přípravou přehrady v lokalitě sahají do 50. let 20. století [4]. Poloha přehradního profilu, objem nádrže i výška přehrady se v průběhu minulých dekád měnily v závislosti na změnách parametrů požadovaných účelů a zpřesňování omezujících podmínek v území [5],[6]. Na obr. 2 je vidět návrh umístění hráze a rozsah zátopy dle [1]; nádrž měla mít celkový objem cca 190 mil. m³.

Široká údolní niva se zbytky říčních teras v nadmořské výšce 250 až 280 m n. m. přechází v krajních částech v úpatí členité pahorkatiny. Kvartérní pokryv je v území tvořen sedimenty údolní nivy a vyšších teras, které představují písčité štěrky překryté několika metry mocnými povodňovými hlínami. Štěrkopiskový kolektor má v zájmovém území proměnlivou mocnost převážně od 4 do 8 m. V zájmovém území se dále nacházejí útvary povrchových vod v podobě zaplavených vytěžených ložisek štěrkopísku, u nichž dochází ke komunikaci s kvartérní zvodní.

Významným specifikem lokality je Hranický kras v oblasti devonských vápenců [7]. Významnými krasovými jevy Hranického krasu jsou Zbrašovské aragonitové jeskyně, jeskyně na Kučách a Hranická propast. Inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum lokality a navazující rozsáhlé modelování režimu podzemní vody se zabývalo jak kvartérním kolektorem, tak možným ovlivněním krasových jevů a provozu lázní Teplice nad Bečvou [8].



Obrázek 1. Zájmové území VD Skalička

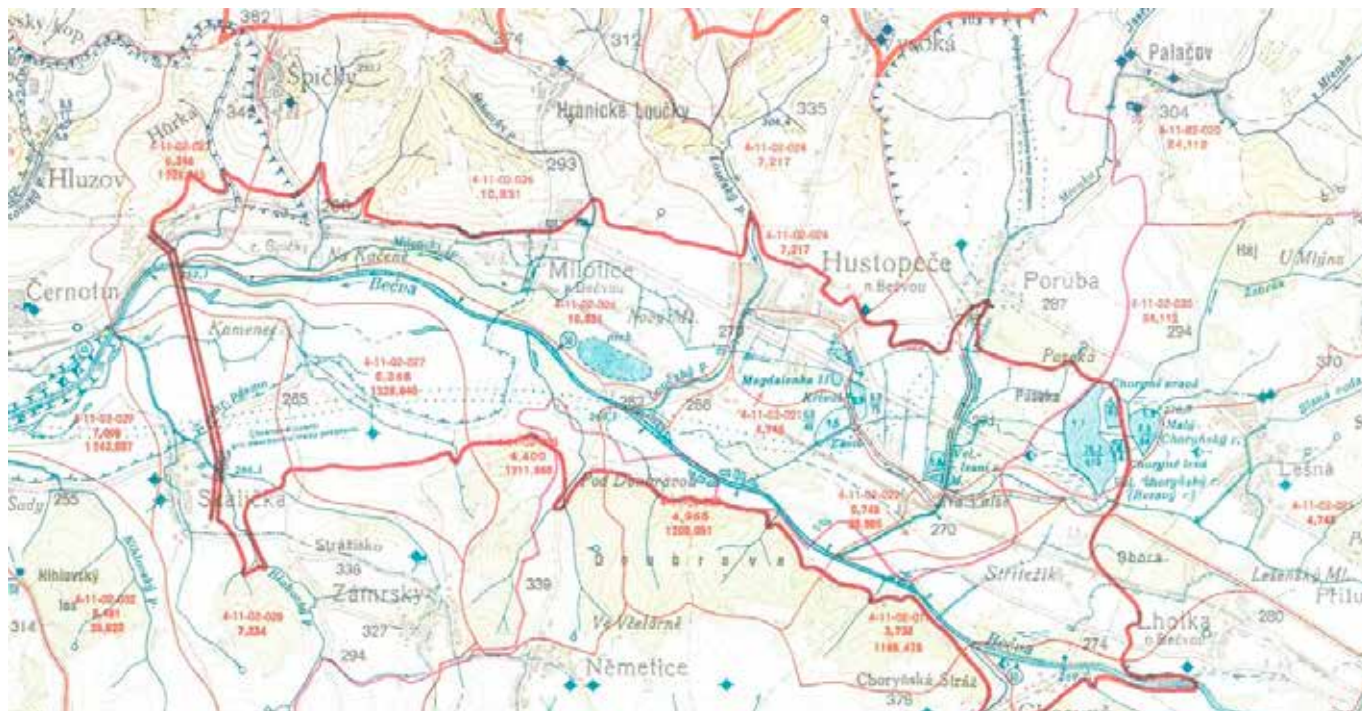
Hodnocené varianty řešení

Vybrané varianty řešení VD vstupující do vícekritériálního hodnocení představují možná konstrukční a provozní uspořádání přehrady, jež zajišťují požadovanou protipovodňovou funkci a respektují omezení v území, která byla známa v době zpracování studie. Jde o přepracované návrhy v minulosti uvažovaného VD, kdy úroveň detailu porovnávaných řešení odpovídá investičním záměrům, respektive technicko-ekonomickým studiím. To neplatí pro variantu bez vodního díla, která není schopná zajistit požadovanou míru ochrany, ani jakkoliv ovlivnit vodohospodářské poměry na toku Bečvy. Zároveň nerealizování VD znamená nulový dopad na prostředí, ať již ve smyslu pozitivních či negativních interakcí.

Do hodnocení vstupují dvě varianty průtočné nádrže, tři varianty nádrže boční a jedna varianta bez vodního díla s následujícím značením:

- VARIANTA 1 (V1) – nulová varianta, tj. bez realizace vodního díla
- VARIANTA 2 (V2) – boční suchá nádrž s pevným přelivem na nátok
- VARIANTA 3 (V3) – boční suchá nádrž s ovladatelným nátokem
- VARIANTA 4 (V4) – boční víceúčelová vodní nádrž
- VARIANTA 5 (V5) – průtočná suchá nádrž
- VARIANTA 6 (V6) – průtočná víceúčelová vodní nádrž.

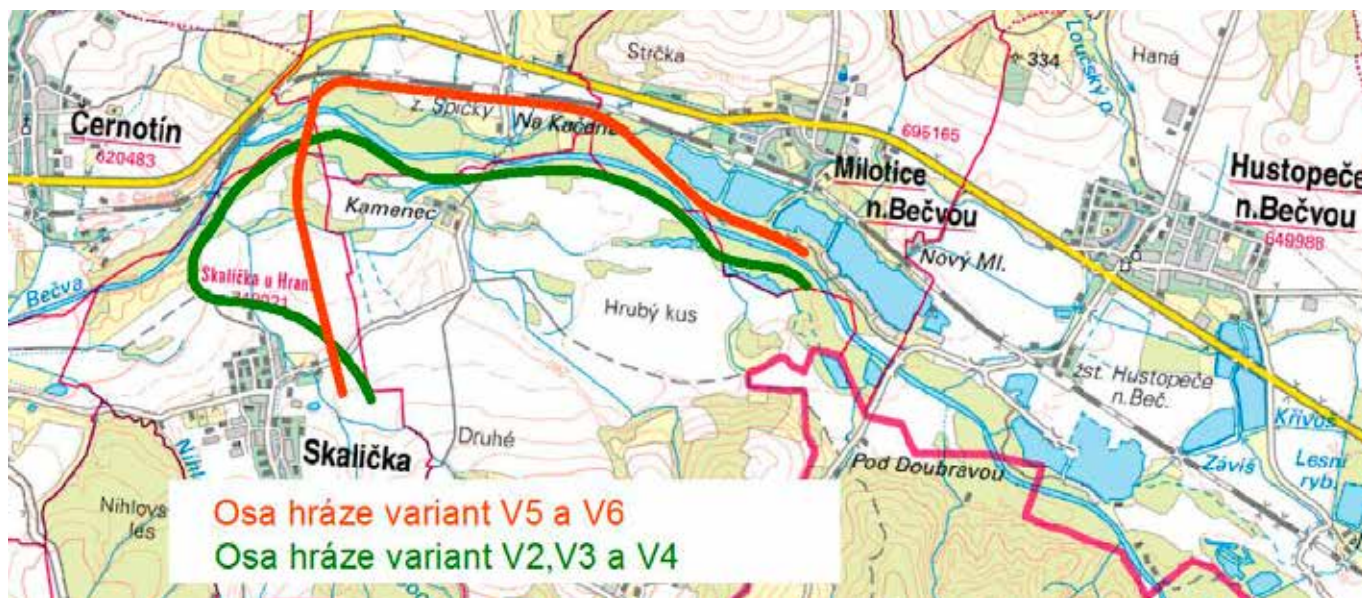
Osa hráze jednotlivých variant VD v zájmovém území je vyznačena na obr. 3.



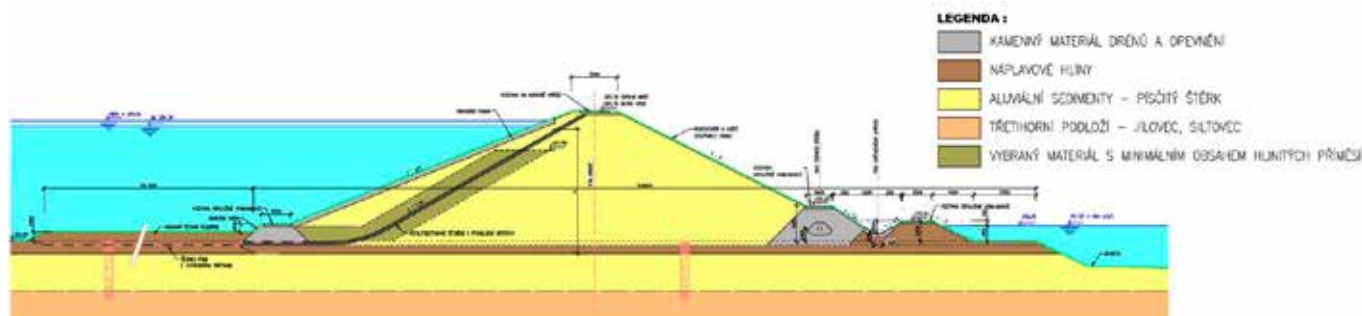
Obrázek 2. Umístění hráze a rozsah zátopy dle [1]

Koncepce příčného profilu hráze všech posuzovaných variant je obdobná. Jde o sypanou homogenní hráz z místních materiálů s návodním těsnicím prvkem z asfaltobetonu, případně geomembrány (obr. 4). Předpokládá se těsnění podloží svislým těsnicím prvkem. Zásadní odlišnosti posuzovaných variant předpokládá-

jících výstavbu vodního díla jsou zejména v charakteru nádrže (boční, průtočná), v rozdělení prostorů nádrže a plnění dalších účelů (suchá, víceúčelová), v možnostech ovládání vtokového objektu (V2, V3) a ve všech aspektech, které z těchto zásadních odlišností vyplývají (doba zdržení, rozsah zátopy, atd.).



Obrázek 3. Tvar osy hráze pro průtočné a boční varianty vodního díla



Obrázek 4. Příčný řez hrází VD Skalička

Z hlediska českého přehradního stavitelství je provedení formalizované MKA variant řešení vodního díla unikátní. V rámci MKA VD Skalička byly použity tři základní metodiky hodnocení. První představovala analogii vícekritériálního hodnocení přehrady Ridracoli (MKA Ia) [9], zbývající dvě (MKA Ib, MKA II) pak hodnotily varianty předpokládající realizaci vodního díla v různém konstrukčním a provozním uspořádání. Zásadní ovlivnění každého vícekritériálního hodnocení představuje proces stanovení vah kritérií, které je třeba objektivizovat před samotným hodnocením, neboť znalost výsledného hodnocení variant v rámci jednotlivých kritérií by umožnila posun vah ve prospěch preferované varianty.

Stanovení vah kritérií i složek životního prostředí bylo provedeno skupinou respondentů, která zahrnovala akademickou sféru, vodohospodářskou praxi, státní správu, samosprávu i spolky. Pro účely MKA Ib a MKA II vyjádřili respondenti své preference pomocí stanovení pořadí kritérií podle jejich důležitosti a dále bodovým hodnocením významnosti kritérií na škále 1–10 bodů. Odvození vah složek životního prostředí pro MKA Ia bylo provedeno pomocí kvantitativního párového porovnání tzv. Saatyho metodou. Podrobnější popis metodiky a matematická formulace je nad rámec tohoto článku a je uvedena v [10].

Výsledky a dílčí závěry zvolených metodik

Hodnocení v rámci jednotlivých metod bylo provedeno autorským kolektivem, který představoval tři akademická pracoviště, a to Fakultu stavební ČVUT v Praze, Hydrobiologický ústav AV ČR a VUT v Brně. Pořadí umístěných variant je patrné z tab. 1.

Tabulka 1. Pořadí variant

Metoda hodnocení	Varianta					
	V1	V2	V3	V4	V5	V6
MKA Ia	2	5	3	1	4	6
MKA Ia (bez V1)	----	4	2	1	3	5
MKA Ib	----	5	1	2	3	4
MKA II	----	5	2	1	3	4

Souhrnně lze k výsledkům hodnocení konstatovat:

- varianta V2 s vtokovým objektem tvořeným pevným prahem neumožňuje řízené napouštění a významně omezuje vodohospodářské funkce i potenciál nádrže jakožto adaptačního opatření,
- výsledná hodnocení u MKA Ib a MKA II nejsou prakticky ovlivněna metodou stanovení vah hlavních kritérií,
- významný zásah do pravobřežního území u průtočných variant (V5 a V6) byl v rámci posuzován negativně jako kolize s výchozy vápenců v ohbí Bečvy a u Kamence,
- u varianty V6 bylo negativně hodnoceno přerušení říčního kontinua ovlivňující splaveninový režim Bečvy a vyžadující výstavbu rybího přechodu,
- na rozdíl od varianty V4, u níž byl s ohledem na způsob manipulace, dobu zdržení a další provozní charakteristiky vyhodnocen pozitivní potenciál k ovlivnění jakosti vody v toku a nádrži, byl u varianty V6 vliv výstavby na jakost vody v toku / nádrži hodnocen negativně,
- problematické provedení ověřovacího provozu u varianty V2 je spojeno s negativními dopady na bezpečnost provozu díla,

- varianta V3 představuje jednoúčelové dílo, u kterého nelze využít dalších přínosů vyplývajících ze zásobní funkce a existence vodního prostředí ve smyslu vodohospodářském i ekologickém (např. pozitivní vliv na druhovou diverzitu),
- nejlépe se umístila varianta V4 (boční víceúčelová nádrž),
- nejhůře se umístily varianty V2 (boční suchá nádrž bez ovladatelného vtokového objektu) a V6 (průtočná víceúčelová nádrž).

Závěr a diskuse

Vícekritériální hodnocení umožnilo formalizovaně analyzovat přínosy a nedostatky jednotlivých variant a přispět v konečném důsledku nejen do rozhodovacího procesu, ale i do optimalizačního procesu vítězné varianty z širokého pohledu.

Využití MKA je závislé na úrovni detailu vstupních podkladů, rozpracovanosti konstrukčního a vodohospodářského řešení a podrobnosti inženýrskogeologického a hydrogeologického průzkumu. Jakkoli lze řadu potenciálních nepříznivých zjištění v dalších etapách projektu kompenzovat technickými opatřeními, promítnutí jejich ekonomické náročnosti do hodnocení je obtížné i s ohledem na vývoj cen stavebních prací, při němž nelze jednoznačně určit délku budoucího schvalovacího řízení a tedy zahrnout alespoň trend vývoje. Z pohledu prozkoumanosti potenciálních profilů hráze i zátopy je projekt VD Skalička na úrovni převyšující realizaci většiny podobně velkých přehrad v ČR. Konstrukční řešení je nicméně rozpracováno v úrovni studií zpřesněných na základě podrobného hydrogeologického průzkumu území. Určité nejistoty do hodnocení vnáší možná změna klimatických podmínek, která může ovlivnit jak hydrologické podklady, tak i požadavky na funkci posuzované nádrže.

Pro závěrečné vyhodnocení je podstatné stanovení vah kritérií, respektive složek životního prostředí. Ty byly stanoveny pomocí metod založených na bodovém hodnocení a preferencích respondentů. Citlivostní analýza ukázala, že výsledné pořadí variant nebylo ovlivněno metodou stanovení vah. Stanovení vah složek životního prostředí se zúčastnili zástupci 21 vybraných organizací a institucí, zatímco na stanovení vah kritérií se podíleli zástupci 37 subjektů.

Hodnocení vycházelo z více než 260 podkladů a souvisejících předpisů. Na základě porovnání výsledků tří metod MKA byla jako nejvhodnější vyhodnocena varianta V4 – boční víceúčelová nádrž. Přínosem této varianty je zejména skutečnost, že plní ochrannou a současně zásobní funkci. Dále umožní hydroenergetické a rekreační využití lokality a aplikaci adaptačních opatření ve vztahu k potenciálním důsledkům změny klimatu.

Rozsáhlá analýza dopadů posuzovaných variant vodního díla přinesla řadu doporučení pro modifikaci projektu do navazující fáze projektové dokumentace. Zároveň je možné při existenci hodnocení kvantifikovat dopad případných dalších navržených úprav projektu.

Představená vícekritériální analýza představuje nástroj pro objektivizaci rozhodovacího procesu, který zohlední nejen technickoekonomické aspekty zkoumaných variant, ale může popsat i celkový vliv na prostředí v rámci sledovaných ukazatelů a posuzovaných variant.

Poděkování

Autoři příspěvku děkují Povodí Moravy, s. p. – zadavateli studie – za možnost podílet se na unikátní práci a publikaci výsledků.

Literatura

- [1] Směrný vodohospodářský plán ČSR. Vodní nádrže. Publikace SVP č. 34, 1988. MLVH, Praha.
- [2] Pobečví – studie odtokových poměrů, Pöyry Environment a.s. Brno, listopad 2011.
- [3] Koncepce na ochranu před následky sucha pro území České republiky, schválená vládou České republiky dne 24. července 2017 usnesením č. 528.
- [4] Přehrada na Bečvě u Teplic. Studie k investičnímu úkolu. Hydroprojekt. 12/1958.
- [5] VD na Bečvě u Teplic. Studie – koncepty. Povodí Moravy, s.p. 1962.
- [6] VD na Bečvě u Teplic. Studie variant hráze. Hydroprojekt. Brno. 1981.
- [7] GERŠL, M., KONEČNÝ, O. 2018. Geologická rizika plánované stavby vodního díla Skalička poblíž Hranického krasu a Hranické propasti. *Geoscience Research Reports*. Czech Geological Survey, Prague. Vol. 51, 1/2018. str. 75–79.
- [8] VD Skalička. Hydrogeologická studie. II. etapa. IL FAUT, Ostrava. Duben 2021 (dostupné online <http://skalicka.pmo.cz/download/vd-skalička-hydrogeologická-studie.zip>).
- [9] GRILLENZONI, M., RAGAZZONI, A., MARINI, P. Post-project multiple-criteria evaluation of the Ridracoli dam. 18th Congrès des Grands Barrages. Durban, 1994, str. 535–553.
- [10] BROUČEK, M., SATRAPA, L. Vícekritériální hodnocení variant řešení vodního díla Skalička – postupy, výsledky, diskuse. *Vodní hospodářství*. 72(5), 2022, str. 2–6.

POVODŇOVÁ OCHRANA ÚZEMÍ POD VLTAVSKOU KASKÁDOU PŘI STAVBĚ DOPLŇKOVÉHO BEZPEČNOSTNÍHO PŘELIVU

Karel Březina, Tomáš Kendík

Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5 - Smíchov,
tel. +420 221 401 495, Karel.Brezina@pvl.cz

Abstrakt

Během probíhající stavby doplňkového bezpečnostního přelivu na vodním díle Orlík je třeba zajistit ochranu stavby v případě zvýšených průtoků nebo povodně. Avšak není možné zcela rezignovat na ochranu území podél toků pod Vltavskou kaskádou. Na dobu stavby byla změněna strategie: bude posílena ochrana proti povodním s delší dobou opakování, naopak při povodních s kratší dobou opakování poskytne Vltavská kaskáda méně času na provedení zabezpečovacích prací.

Klíčová slova: Vltavská kaskáda; povodňová ochrana; stavba; zabezpečovací práce.

Abstract

During the ongoing construction of the additional spillway at the Orlík Dam, it is necessary to provide the protection of the structure in the event of increased flows or flooding. However, it is not acceptable to completely abandon the protection of the territory along the streams below the Vltava Cascade. During the construction period, the strategy has been changed: protection against floods with a longer repetition period will be strengthened, on the other hand, in case of floods with a shorter repetition period, the Vltava Cascade will provide less time to carry out flood protection works.

Keywords: Vltava Cascade; flood protection; construction; flood protection works.

Úvod

Orlík je největším vodním dílem v České republice a objemem zadržené vody celkově 716,5 mil. m³. Tízná betonová hráz výšky 81,5 m nad terénem byla postavena mezi lety 1954 a 1963. Tři pole korunového bezpečnostního přelivu jsou hrazeny segmenty a mají celkovou kapacitu 2 184 m³.s⁻¹. U levého břehu je umístěna elektrárna se čtyřmi Kaplanovými turbínami s celkovým výkonem 364 MW. U pravého břehu je výtah pro malá sportovní plavidla do výtlačku 6 t a žlab pro šikmé lodní zdvihadlo pro loď do výtlačku 300 t, které však nebylo dokončeno.

Prostor stálého nadržení	280,000 mil. m ³
Zásobní prostor	343,078 mil. m ³
Ochranný prostor	93,422 mil. m ³
Celkový objem nádrže	716,500 mil. m ³

Dle platného komplexního manipulačního řádu vodní díla Vltavské kaskády zajišťují svou funkci při hospodaření s vodou následující účely v pořadí podle důležitosti:

1. akumulaci a vzdouvání povrchové vody;
2. minimální průtok ve významném vodním toku Vltava v profilu Vrané 40 m³.s⁻¹ v koordinaci s vodními díly Lipno I. a Slapy a s ostatními vodními díly Vltavské kaskády;
3. dočasné částečné snížení povodňových průtoků za účelem ochrany území pod vodním dílem před účinky povodní;
4. využití odtoku z vodních nádrží k výrobě elektrické energie ve vodních elektrárnách fungujících ve špičkovém režimu;
5. vytváření podmínek pro povolená nakládání s vodami;
6. nadlepšování průtoků ve významném vodním toku Vltava, příp. ve významném vodním toku Labe, pro zlepšení plavebních podmínek;
7. nadlepšování průtoků pod soustavou za účelem zlepšení jakosti vody ve významném vodním toku Vltava;
8. ovlivňování zimního průtokového režimu pod soustavou a omezení nežádoucích ledových jevů;
9. plavbu ve vodních nádržích (vodní cesta využívaná pro plavidla o nosnosti do 300 tun);
10. rekreaci a vodní sporty;
11. extenzivní rybí hospodaření.

Vodní dílo Orlík a s ním i celá Vltavská kaskáda je – při plnění všech ostatních účelů – schopna významně ovlivnit povodeň s dobou opakování nejvýše 20 let.

U povodní s dobou opakování větší než 20 let záleží na podmínkách v době před nástupem povodně. Avšak i u těchto povodní Vltavská kaskáda plní významnou úlohu: poskytuje čas, potřebný pro realizaci povodňových opatření. Byť se z hlediska celého objemu povodně může jednat o zlomek zadržené vody, několik desítek hodin, o které se oddálí nástup povodně, umožní provést opatření na infrastrukturu a postavit mobilní povodňová opatření, čímž se výrazně zmírní škodlivé účinky povodně. Provádění těchto opatření do jisté míry omezuje možnosti vytvářet před nástupem povodně volný prostor v nádržích, což se může projevit právě u povodní, jako byla ta v červnu 2013, která byla výjimečná tím, že ke zhoršení situace významnou měrou přispěly menší přítoky Vltavy a neměřitelné mezipovodí (stráně svažující se přímo do vodních toků či do vzdutí vodních děl), tedy nedošlo k časově prodlevě způsobené dotokovými dobami z vyšších partií povodí a nástupná větev na přítoku do nádrží byla velmi strmá.

Manipulace při povodních

Při posuzování míry ochrany před povodněmi je vedle velikosti retenčního prostoru také klíčová hodnota neškodného průtoku. Zde je třeba uvést, že původní vodohospodářské řešení Bratránka (1956) vycházelo z hodnoty neškodného průtoku $2\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, který byl vztažen k centru Prahy (Malá Strana). Dle jeho výpočtů došlo vlivem realizace Vltavské kaskády ke zvýšení míry ochrany před povodněmi z původní hodnoty Q_5 na hodnotu asi Q_{20} . Tento závěr potvrzuje také vodohospodářské řešení Vltavské kaskády zpracované Nacházelem z roku 1964 (Ředitelství vodohospodářského rozvoje v Praze). Řešení vycházelo z rozboru historických povodní za období 1888 až 1960. Další ucelený rozbor dané problematiky zpracoval Kašpárek (1990), který dochází k závěru, že zmenšení povodňových průtoků na Vltavě v Praze po roce 1955 není způsobeno jen vlivem kaskády. Větším dílem jde o projev přirozeného kolísání hydrologických procesů. Současně upozorňuje na možnost vzniku povodní generovaných dominantně z přítoků Berounky podobně jako při povodni v roce 1872, kdy Vltavská kaskáda nemůže průtoky v Praze ovlivnit vůbec. Při této povodni byl dosažen také dosud nejvyšší pozorovaný průtok Berounky v Berouně ($2\,500\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$). Vltava v Praze kulminovala při průtoku $3\,300\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

Současné VH řešení retenční funkce vychází ze současně platné hodnoty neškodného průtoku v Praze na úrovni $1\,500\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (tedy méně než Q_5) a zohledňuje tak potřeby ochrany všech ohrožených území podél dolní Vltavy (nejenom hlavního města). Řešení dále zohledňuje postupný režim navyšování odtoku z kaskády po krocích 450 a $800\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, který umožňuje realizaci řady přípravných opatření v Praze a podél dolní Vltavy.

Tedy jedním z účelů vodního díla Orlík, v pořadí podle důležitosti třetím z celkem jedenácti účelů, je **dočasné částečné snížení povodňových průtoků za účelem ochrany území pod vodním dílem před účinky povodní**. Takto obecně formulovaný požadavek je pak v manipulačním řádu konkrétně specifikován hodnotou neškodného odtoku $1\,500\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ v profilu Praha-Chuchle na Vltavě. Profil leží již pod soutokem s Beroučkou a je rozhodný pro úsek Vltavy v Praze a na dolní trati až k místu, kde se Vltava vlévá do Labe. Čili pokud je to možné, měly by se manipulace na vodních dílech Vltavské kaskády při povodních provádět tak, aby nebyl překročen neškodný odtok v profilu, ve kterém lze retenci v nádržích Vltavské kaskády ovlivnit odtok pouze z poloviny plochy povodí, jež je tokem v daném profilu odvodňováno. Povodně, které by přišly ze Sázavy nebo z Berounky, by Vltavou v Praze a její dolní trati prošly bez možnosti jejich parametry ovlivnit. Nebo by tato možnost byla minimální.

Pravidla pro manipulace za povodní jsou postavena tak, aby Vltavská kaskáda co nejdéle dobu udržovala průtok ve Vltavě v Praze na hodnotě $1\,500\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Tato hodnota je považována za tzv. neškodný průtok, ovšem je vztažena k profilu, který je významně ovlivněn dalšími dvěma vodními toky, Sázavou a Beroučkou, jež odvodňují povodí o ploše srovnatelné s povodím Vltavy nad Vltavskou kaskádou, přičemž efekt vodních děl na těchto povodích je při rozsáhlých povodních takřka zanedbatelný. Z tohoto důvodu může dojít k vyčerpání volného prostoru ve Vltavské kaskádě pro transformaci a je nutné zvýšit odtok na hodnotu přítoku, ať už je v daném okamžiku vývoj na neovlivněných vodních tocích jakýkoli.

Pokud by byla k dispozici dostatečně spolehlivá předpověď průtoků, bylo by možné stanovit optimální hodnotu průtoku, při kterém by bylo lze povodeň převést a snížit tak právě kulmi-

nační průtok, i když by byl neškodný průtok překročen ještě při dostatku volného prostoru pro transformaci vysokých průtoků. Tuto spolehlivost předpovědi však ve specifických hydrologických podmínkách České republiky není v současné době možné dosáhnout, tedy uvedený přístup nelze promítnout do pravidel pro manipulace.

Po povodni v roce 2013 zpracovalo České vysoké učení technické v Praze studii „Hodnocení strategického řízení Vltavské kaskády – parametry manipulačního řádu“, kde byla velice podrobně řešena retenční funkce této vodohospodářské soustavy. Na základě uvedené studie bylo vypracováno vodohospodářské řešení a to se stalo podkladem pro změnu manipulačního řádu. Změna nespočívala jen ve zvětšení retenčního prostoru z $62,072$ na $93,422\text{ mil. m}^3$, ale také v konkrétnějších formulacích ohledně retenčního potenciálu vodního díla Orlík, resp. celé soustavy. Ve schváleném manipulačním řádu je tak výslovně napsáno, že **v případě spolehlivé předpovědi přítoku do nádrže vodního díla Orlík na nejbližších 24 hodin zajišťují objemy ochranných prostorů nádrží Lipno a Orlík ochranu dolního toku Vltavy před velkými vodami do úrovně Q_{20} . Kulminace teoretické 100leté vody ($2\,175\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ v profilu hráze vodního díla) se ochranným objemem nádrže nesníží.**

Stavba

Předmětem stavby je nový hrazený přeliv se skluzem mimo těleso hráze, v pravém závězu hráze, pro zabezpečení vodního díla před účinky velkých vod. Je to trvalá stavba, jejímž účelem je zvýšení bezpečnosti vodního díla, při převádění povodně s periodicitou opakování $p = 0,0001$ ($Q_{10\,000}$).

Investor:	Povodí Vltavy, státní podnik
Zhotovitel stavby:	Metrostav, a.s.

Návodní ochranná jímka nově budovaného vtokového objektu přelivu je řešena jako železobetonová pilotová stěna, na kterou jsou osazeny štetovnice. Tyto jsou s pilotovou stěnou v patě štetovnic spřažené betonovým věncem a v úrovni $347,00\text{ m n. m.}$ jsou vzepřeny přes ocelovou převážku šikmými ocelovými vzpěrami. Horní úroveň konstrukcí zajištění stavební jámy je na úrovni $349,00\text{ m n. m.}$ Dno stavební jámy je výškově členité, v úrovních od kóty $339,20\text{ m n. m.}$ do kóty $343,20\text{ m n. m.}$ Požadovaná úroveň ochrany stavební jámy pro výstavbu vtokového objektu přelivu je na úrovni $349,00\text{ m n. m.}$

Pod ochranou stavební jímky bude vybudován vtokový objekt nového hrazeného přelivu se skluzem v pravém závězu mimo těleso hráze, který za povodní zajistí dostatečnou souhrnnou kapacitu funkčních objektů. Z provedeného vodohospodářského řešení, které zahrnuje transformace povodňových vln s periodicitou opakování 1000 , resp. $10\,000$ let, vyplývají požadavky na kapacitu nového objektu.

Vzhledem k významnosti vodního díla Orlík se manipulace s vodou v zásobním prostoru řídí podle dispečerského grafu pro bezporuchový provoz (tj. $p_1 = 100\%$). V průběhu realizace Etapy Ia, resp. Etapy I stavby (tj. po dobu platnosti dočasné změny manipulačního řádu) se manipulace s vodou v zásobním prostoru řídí podle dispečerského grafu pro požadovanou zabezpečenosť dle trvání $p_1 \geq 99,50\%$.

Omezení kóty hladiny po dobu realizace Etapy Ia a I jsou následující:

- Etapa Ia (realizace ochranné jímky) – hladina se při hospodaření s vodou v nádrži pohybuje v rozmezí kót **329,60 m n. m. až 339,00 m n. m.**
- Etapa I (realizace stavebního objektu SO 01 – Vtokový objekt) – hladina se při hospodaření s vodou v nádrži pohybuje v rozmezí kót **329,60 m n. m. až 349,00 m n. m.**

Manipulace po dobu stavby

Stavba objektu SO1 bude probíhat přibližně 1 rok pod ochrannou jímku, která bude stavbu chránit před zatopením z horní vody až do úrovně 349,00 m n. m. Tato úroveň nemá být překročena až do průtoku Q_2 , což je při ochraně staveb běžně užívaný postup: stavba se chrání na průtok, který nastane v dlouhodobém průměru jednou za dobu dvojnásobnou, než je doba trvání stavby. Dle MŘ se Q_2 v profilu hráze rovná $657 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Při případných povodních s rychlým nástupem na Vltavě, nebo povodní na Sáze a Berounce to znamená výrazné omezení možností poskytnout akumulaci průtoků v nádrži VD Orlík Praze a území okolo dolní trati Vltavy čas na provedení povodňových opatření (uzavření povodňových vrat, vyklizení lodí do ochranných přístavů apod.).

Úpravy operativního řízení odtoku, které z této změny vyplývají, spočívají v okamžité reakci na zvýšení přítoku: zvýšením odtoku na stejnou úroveň (jen s nezbytnou technickou prodlevou) tak, aby hladina v nádrži nestoupala a stavba mohla pokračovat. Což znamená zvyšování odtoku bez ohledu na stav provedených povodňových opatření, a tedy vyšší riziko, že bude odtok zvýšen v úseku, kde opatření ještě provedena nebyla. Takový přístup klade vyšší nároky na včasnou reakci subjektů, jež nesou za provedení povodňových opatření odpovědnost. A rovněž na hydroprognózu, resp. předpovědní povodňovou službu. Na druhou stranu, tento přístup umožňuje na nástupné větvi povodně udržovat co nejdéle v nádržích volný prostor pro snížení průtoku právě při kulminaci. Slabá stránka tohoto postupu spočívá ve faktické rezignaci na zmírňování účinků povodní s kratší dobou opakování.

Opatření na ochranu před povodněmi pod Vltavskou kaskádou, která je třeba provést, vyžadují určitý čas. Nejde o pouhou změnu stavu nějakého technického zařízení, která by se dala provést stisknutím spínače, ta opatření jsou mimořádná, je třeba na ně svolat personál a zajistit součinnost dalších subjektů, jejichž aktivity jsou provedením opatření dotčeny. Navíc není zřejmý limit, kdy se mají činnosti zahájit. Stanoveno je, kdy už mají být opatření provedena, ovšem nikde nebyl kodifikován stav provozních nebo hydrotechnických veličin, kdy se mají práce na preventivních opatřeních zahájit, aby byla při překročení limitu spolehlivě hotova. Dosavadní praxe byla taková, že se práce zahájily a do doby, než byly provedeny, udržoval se odtok nižší, než je limit, kdy mají být hotovy. Teprve po potvrzení, že ta opatření hotova jsou, se odtok zvyšoval – což při rychlém vzestupu průtoku znamenalo, že se volný prostor ve Vltavské kaskádě plnil na nástupné větvi povodně už při průtocích, které by třeba určité lokality ani neohrožily.

Prvním takovým limitem je $450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v Praze-Chuchli. Při tomto průtoku by již měla být uzavřena povodňová vrata na Čertovce a uzavírka laterálního kanálu Vraňany-Hořín u Mělníka. Krom toho je při překročení tohoto průtoku zastavena plavba v úseku Praha-Holešovice (ř. km 48,65) až Mělník (ř. km 0,00) a přes pla-

vební komoru Modřany, tedy plavidla, která se nacházejí v těchto úsecích vodní cesty a chtějí ještě plout, se musejí přesunout do úseků, kde je plavba nadále možná; ta zbývající se musí uchýlit do ochranných přístavů nebo vyvázat u vysokovodních ochranných stání. Také by mělo být odstraněno plavební značení, aby nebylo sneseno zvýšenými průtoky a bylo možno po jejich odeznění plavební dráhu znovu co nejrychleji vyznačit.

Dalším limitem je $600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, kdy je třeba uzavřít povodňová vrata plavební komory Smíchov. Toto opatření samo o sobě trvá jen jednu nebo dvě hodiny, protože je třeba (za účasti potápěčů) pouze zkontrolovat dosedací práh a případně odstranit nánosy. Nicméně před tím se musí plavební komorou Smíchov proplavit všechna plavidla, která jsou ještě v úseku, kde byla plavba dosud možná a nachází se pod touto plavební komorou. Tedy v úseku Praha-Holešovice (ř. km 48,65) až VD Smíchov (ř. km 54,20). Jde o všechna možná osobní a technická plavidla a plovoucí zařízení, čili různé plovoucí restaurace, mola a plavidla bez vlastního pohonu, ta musí být připravena k remorkérům a takto přepravena do ochranných přístavů, nebo alespoň do úseku nad VD Smíchov odkud je možné je do ochranného přístavu Smíchov přepravit ještě následně – při dalším zvýšení odtoku. Před překročením tohoto limitu je také třeba vyklidit pražské náplavky, protože je již reálné, že budou zaplaveny vodou. Na náplavkách běžně parkují osobní automobily, čili Magistrát hlavního města Prahy, resp. Technická správa komunikací HMP ve spolupráci s Městskou policií kontaktuje všechny majitele automobilů, aby s nimi odjeli, případně je nechá odtáhnout na sběrná parkoviště.

Posledním limitem, který ještě vyžaduje delší čas na realizaci preventivních opatření, je $800 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Při tomto úseku je zastavena plavba na celé Dolní trati Vltavy, tedy i plavidla, která ještě plula ve zbývajícím úseku – mezi plavebními komorami Smíchov (ř. km 54,20) a Modřany (ř. km 62,21) – se musí uchýlit do Smíchovského přístavu.

Jsou ještě další dílčí limity, související se stavbou mobilních povodňových bariér, omezením provozu metra, ale ty se nachází až nad hodnotami průtoku 1 000, resp. $1\,500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, kdy lze předpokládat, že už bude stavba na VD Orlík přerušena a disponibilní volný prostor využit pro transformaci povodně, čili je zde není třeba uvádět.

Závěr

Výstavba doplňkového bezpečnostního přelivu na VD Orlík je sama o sobě povodňovým opatřením, které zvyšuje bezpečnost vodního díla při extrémních povodních a v budoucnu zvýší ochranu dolního toku Vltavy před extrémními povodněmi. Jeho účelem je předejít situaci, kdy by při povodni větší než pětisetleté, došlo k porušení hradící konstrukce a vzniklá zvláštní povodeň by způsobila ještě mnohonásobně vyšší škody, než povodeň přirozená. Stavbu nátokového objektu nového přelivu je třeba provádět pod ochrannou jímku, aby mohl být plněn plavební a rekreační účel Vltavské kaskády. Po omezenou nezbytně nutnou dobu bude snížen transformační efekt Vltavské kaskády po povodně s menším kulminačním průtokem a objemem, efekt po povodně s větší kulminací anebo objemem bude tento efekt naopak vyšší.

Literatura

- [1] BRATRÁNEK, Alois. Vltavská kaskáda, možnost zlepšení ochrany Velké Prahy před povodněmi. Vodní hospodářství, 1956, č. 6, s. 142–145.
- [2] FOŠUMPAUR, Pavel a kol.: Prověření strategického řízení Vltavské kaskády – parametry manipulačního řádu. Studie pro Povodí Vltavy, státní podnik. ČVUT v Praze, 2014.
- [3] Komplexní manipulační řád Vltavské kaskády. Povodí Vltavy, státní podnik, 2016.
- [4] Manipulační řád pro vodní dílo Orlík po dobu realizace Etapy Ia a Etapy I stavby „VD Orlík – zabezpečení VD před účinky velkých vod“. Povodí Vltavy, státní podnik, 2022.

VODNÁ STAVBA RUŽINÁ, OPRAVA OBJEKTŮV

Pavol Gábor¹, Tomáš Ič²

¹Slovenský vodohospodársky podnik, š.p., Povodie Hrona, odštepny závod, Správa povodia horného Ipľa, Filákovská cesta č.45, 984 80 Lučenec, tel. +421 911 016 571, paval.gabor@svp.sk

²Slovenský vodohospodársky podnik, š.p., Povodie Hrona, odštepny závod, Partizánska cesta č. 69, 974 98 Banská Bystrica,

Abstrakt

Vodná stavba Ružiná bola do trvalej prevádzky uvedená v roku 1974. Po 45 rokoch prevádzky si zub času vybral svoju daň na technickom stave jednotlivých objektov. Na vodnej stavbe sa to prejavilo na stave betónových a kovových konštrukcií ako aj na ovládacích prvkoch. Príspevok popisuje prípravu na komplexnú opravu, ako aj priebeh samotnej opravy vodnej stavby.

Kľúčová slova: VS Ružiná; hráze; štola; strojovna; prúsaky; oprava

Abstract

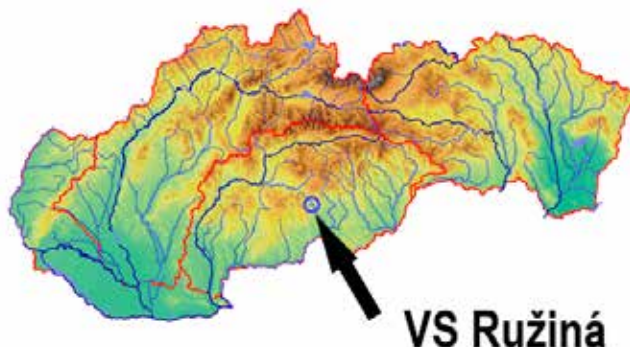
The Ružiná water structure was put into permanent operation in 1974. After 45 years of operation, the ravages of time have taken their toll on the technical condition of individual buildings. At the water construction, this was reflected in the condition of the concrete and metal structures as well as the control elements. The article describes the preparation for a complex repair, as well as the course of the repair of the water structure itself.

Keywords: Ruzina reservoir; dam; tunnel; engine room; seepage; repair.

Úvod

Vodná nádrž Ružiná [3] bola vybudovaná na vodnom toku Budinský potok ako pravostrannom prítoku Krivánskeho potoka, v centrálnej časti južného Slovenska. Výstavba priehrady Ružiná prebiehala v období rokov 1969–1973. V nasledujúcom roku bola uvedená do skúšobnej prevádzky. Z hľadiska odborného technicko-bezpečnostného dohľadu sa jedná o vodnú stavbu II. kategórie. Účelom tejto vodnej stavby, s celkovým objemom viac ako 15 miliónov m³, je:

- akumulácia vody pre zabezpečenie úžitkovej vody pre priemysel a poľnohospodárstvo (závlahy),
- vyrovnanie nerovnomerných prietokov v Budinskom a Krivánskom potoku,
- zmiernenie a sploštenie povodňovej vlny,
- využitie hydroenergetického potenciálu v malej vodnej elektrárni,
- rekreácia,
- chov rýb.



Obrázok 1. Poloha VS Ružiná

Hlavné parametre vodnej stavby a hladiny [3]:

Dĺžka hrádze v korune	271,00 m
Kóta koruny hrádze	257,00 m n.m.
Kóta dna nádrže	235,00 m n.m.
Výška hrádze nad údolnou nivou	022,00 m

Celkový objem z toho:

- mŕtvy	1 027 m ³
- stály	577 030 m ³
- zásobný	13 920 664 m ³
- retenčný	1 051 154 m ³
- celkový	15 548 848 m ³

Min. prevádzková hladina	242,00 m n. m.
Max. prevádzková hladina	255,00 m n. m.
Max. dovolená hladina	255,60 m n. m.

Hlavné objekty vodnej stavby:

- hrádza s príslušenstvom
- združený funkčný objekt
- zariadenia na meranie a kontrolu hladín
- nádrž
- privádzač Mýtna - Ružiná
- malá vodná elektrárň Ružiná
- malá vodná elektrárň Mýtna



Obrázok 2. Združený funkčný objekt a koruna hrádzového telesa pred opravou

Vývoj problematiky vodnej stavby

Už v čase uvedenia do trvalej prevádzky (1974) toto vodné dielo vykazovalo viacero nedostatkov spojených predovšetkým s nefunkčnosťou provizórneho hradenia dnových výpustov. Postupom času začalo dochádzať k degradácii aj ostatných strojno-technologických a betónových konštrukcií vodného diela, predovšetkým sťažené ovládanie uzáverov dnových výpustov, degradácia betónov združeného funkčného objektu, nedostatočný rozsah pozorovacích sond na meranie podzemných a priesakových vôd, poškodená elektročast' a iné. Jedným z najzávažnejších problémov posledných rokov bolo obtekanie betónovej konštrukcie prístupovej a odpadovej chodby, pričom postupom času sa priesaky prejavovali na dilatčných spojoch jednotlivých betónových blokov, čoraz viac smerom na vzdušnú stranu hrádzového telesa. Tento problém správca vodnej stavby riešil už v predchádzajúcom období (v rokoch 2013 a 2014), avšak postupujúci trend priesakov smerom na vzdušnú stranu priehrady sa nepodarilo zastaviť.

Potreba realizácie opravy vyplynula aj z rozhodnutia Okresného úradu Lučenec, ktorým orgán štátnej vodnej správy určil vlastníčkovi vodnej stavby (Slovenskému vodohospodárskemu podniku, š. p., Radničné námestie, Banská Štiavnica) vykonať na VN Ružiná opatrenia na nápravu, a to v termíne do 31.12.2021. Na základe technicko-bezpečnostného dozoru vykonaného v rámci technicko-bezpečnostného dohľadu vodnej stavby Ružiná v septembri 2017, bolo konštatované: „Uložené opatrenia je možné považovať za tak zásadné pre bezpečnosť vodnej stavby, že stavba bude považovaná za bezpečnú len ak budú opatrenia vykonané alebo bude vypustená“.

V roku 2018 bolo na vodnej nádrži Ružiná v predstihu zrealizované doplnenie pozorovacieho systému sondami na meranie hladín podzemných vôd v hrádzovom telese a jeho podloží. Došlo

k vybudovaniu nových 10 pozorovacích sond zabudovaných do hrádzového telesa, z toho 5 na monitorovanie hladín podzemných a priesakových vôd v hrádzi a 5 pozorovacích sond na monitorovanie hladín v podloží hrádzu. Z pozorovania hladín podzemných a priesakových vôd z dodatočne vybudovaných sond sa nepreukázali vážnejšie preferované priesakové cesty, okrem už spomínaného obtekania betónovej prístupovej a odpadnej chodby a priesakov prejavujúcich sa na dilatčných spojoch. Tento fakt bol potvrdený aj následnými doplnkovými lokálnymi geofyzikálnymi meraniami, čo bola dôležitá skutočnosť pre návrh technického riešenia na elimináciu priesakových ciest.

Za účelom zabezpečenia opráv jednotlivých objektov, SVP, š.p. pristúpil v roku 2019 k zabezpečeniu realizačnej projektovej dokumentácie „VS Ružiná – oprava objektov“, ktorá navrhla technické riešenie opráv jednotlivých funkčných prvkov priehrady. Dokumentácia, okrem projekčného riešenia uložených opatrení, bola doplnená aj o opravu ostatných častí vodnej stavby, ktoré neboli priamo v havarijnom stave, avšak ich technický stav si už vyžadoval opravy. Je možné konštatovať, že rozsahom sa jednalo o generálnu opravu vodnej stavby.

Realizácia prác na hlavných objektoch stavby

Odovzdanie staveniska sa uskutočnilo v máji roku 2020, ukončenie opravy VN bolo plánované do konca roku 2021. Realizácia opravy nižšie uvedených stavebných objektov si vyžiadala úplné vypustenie nádrže, ktoré bolo ukončené v termíne 12/2020. V súvislosti s vypustením vodnej nádrže bolo potrebné zabezpečiť výlov rybiej obsádky. Vodná nádrž Ružiná je v priamom užívaní Slovenského rybárskeho zväzu – Rada Žilina (SRZ). Preto celý priebeh výlovu rýb a následné nakladanie s rybami bolo plne v kompetencii užívateľa.

Problém vypustenia vodnej nádrže bol znásobený tým, že na konci vzdutia sa nachádza Prírodná rezervácia Príbrežie Ružinej s 5. stupňom ochrany. Táto rezervácia je hydrologicky naviazaná aj na výšku vodnej hladiny v nádrži, preto bolo potrebné prijať opatrenia na zadržanie vody za účelom prežitia biotopov počas vypustenej nádrže. Správca vodnej stavby zrealizoval na prítokoch pretekajúcich touto rezerváciou sústavu prehrádzok za účelom vzdutia vody, čím bol pozitívne ovplyvnený režim podzemných vôd a zabezpečenie vlhkosti pre koreňový systém vegetácie na území prírodnej rezervácie.

Technické riešenie opravy objektov VS bolo realizované v nasledovnom rozsahu

- SO 01 Koruna hrádze
- SO 02 Združený funkčný objekt
- SO 03 Komunikačná a odpadná štôlna
- SO 04 Strojovňa
- SO 05 Výmena provizórneho hradenia
- SO 06 Vývar
- SO 07 Stavebná elektročasť

SO 01 – Koruna hrádze

Stavebný objekt v sebe zahŕňa samostatné celky: komunikáciu na korune hrádze, účelovú komunikáciu na pravom brehu, opravu vlnolamu, brehovú opevnenie pri doškoľovacom stredisku, brehovú múr na pravom brehu a zábradlia.

Oprava komunikácie na korune hrádze [2] bola realizovaná v dĺžke 272,95 m. Vplyvom nerovnomerného sadania telesa hrádze vznikli viaceré priečne trhliny, ktoré boli v minulosti sanované len provizórne. Ako zvláštny prvok ochrany komunikácie pre prípad budúceho sadania bola pod obrusnú vrstvu zabudovaná výstužná geomreža. V rámci opravy bola komunikácia rozšírená o časť pôvodného chodníka. Šírka vozovky je konštantná 5,0 m. Zo vzdušnej strany je komunikácia ohraničená základovým pásom pre zábradlie, z návodnej strany vlnolamom prípadne základom pre zábradlie. Obrusná vrstva bola vyhotovená z asfaltového betónu ACO 11-II hr. 40 mm, kde celková hrúbka súvrstvia je 250 mm. Pred realizáciou nových vrstiev komunikácie sa odstránili vrstvy existujúceho chodníka a komunikácie, odfrézoval sa asfaltobetónový kryt, vybúrali obrubníky a podkladové vrstvy, podklad sa dôsledne zhutnil. Prepojenie komunikácie sa dosiahlo preplátovaním obrusnej vrstvy na dĺžke 1,0 m. Styk sa opatrili asfaltovou zálievkou. Obdobne bola urobená výmena obrusnej vrstvy účelovej komunikácie na pravom brehu.

Pri oprave vlnolamu [2] prebehla demontáž zábradlia, výburaenie pôvodného vlnolamu, betonáž nových segmentov vlnolamu a príprava povrchu na finálnu úpravu. Nové segmenty boli vyhotovené z vodostavebného železobetónu C 30/37 XC2, XF3 na vrstve existujúceho podkladového betónu C 12/15 hr. 100 mm. Nasledovala celoplošná hydroizolácia a zjednotenie povrchovej úpravy všetkých segmentov systémom SIKa.



Obrázok 3. Koruna hrádze po oprave

SO 02 – Združený funkčný objekt (ZFO)

Pod tento stavebný objekt spadá šachtový priepad so vstupnou šachtou a vonkajšie betónové povrchy strojovne dnových výpusťov. Účelom riešeného objektu je bezpečné prevádzanie povodňových prietokov do odpadovej štôlne a odtiaľ pod profil hrádze.

Predmetom projektu bola oprava existujúcich objektov v nevyhovujúcom technickom stave, rešpektujúca riešenie pôvodného stavu.

Oprava vnútorných betónových povrchov priepadu [2] sa realizovala na báze sanačného systému SIKa vrátane finálnych zjednocovacích náterov. Rovnako sa urobila oprava nadzemných

betónových povrchov ZFO a vonkajších stien šachty na priepad. Oprava vnútorných stien šachty na priepad sa urobila zosekaním a otryskaním vysokotlakým vodným lúčom (500 bar), nasledovala lokálna ochrana výstuže. Reprofilácia betónovej konštrukcie prebehla na báze sanačného systému SIKa. Finálne farebné zjednotenie povrchu dvoma vrstvami paropriepustným akrylovým náterom – SIKAGROUND 675 – odtieň podľa požiadavky investora.

Ďalej tu prebehli: oprava schodiska vo vnútri šachty, oprava ochrannej boudky šachty na priepad a oprava rebríkov a zábradlí.



Obrázok 4. Združený funkčný objekt po oprave

SO 03 – Komunikačná a odpadná štôľňa

Realizácia opravy objektu zahrňovala práce na sanácii priesakov [1], ktoré sa objavovali v komunikačnej štôľni v miestach dilatácii. Na lokalizáciu prírodných/priesakových ciest vody do dilatačných škár bol vyhotovený geofyzikálny prieskum, ktorý bol podkladom pre určenie sanačných opatrení na SO 03. Bola zvolená možnosť nepriamej detekcie prírodných/priesakových ciest vody do dilatačných škár. Tá spočívala v zistení stavu telesa hrádze v okolí štôľne. Úloha bola riešená geoelektrickými metódami ERT (elektrická odporová/rezistivná tomografia) a DEMP (dipólové elektromagnetické profilovanie). Na základe vyhodnotenia geofyzikálneho prieskumu sa zistilo, že v telese hrádze neboli zaznamenané žiadne anomálie v nameraných hodnotách merného odporu, ktoré by mohli byť interpretované ako priesaky a ani iné anomálie, ktoré by mohli indikovať prírodné/priesakové cesty vody do dilatačných škár na vzdušnej strane hrádze. Na základe uvedeného zistenia sa dospelo k záveru, že priesaková voda zaznamenaná v dilatačných škárach prúdi na rozhraní železobetónovej štôľne a ílovito-piesčitého telesa hrádze.

Sanácia [1] bola vyhotovená pomocou iniektáží, ktoré vytvorili bariéry, prepojujúce dve nepriepustné časti telesa hrádze a to železobetónovú konštrukciu štôľne s hlinitoílovým homogénnym telesom. Vzhľadom na výsledky geofyzikálneho prieskumu, bolo zastavenie presakovania vody do priestoru štôľne realizované zhotovením vejárovitých clôn. Clona, ktorá previazala nepriepustný materiál t.j. železobetónovú konštrukciu štôľne s nepriepustnou vrstvou homogénnej hrádze vyhotovenej z hlinotoílové-

ho materiálu zabraňuje prúdeniu vody v medzerách medzi týmito dvomi vrstvami a eliminuje sa riziko vyplavovania jemných častí z homogénneho telesa hrádze. Pre realizáciu iniektážnych prác boli vybrané iniektážne zmesi MasRoc MP367 a MasRoc MP355. Zmes zohľadňuje miestne geologické a stavebné podmienky. Technologický postup realizácie iniektáže bol realizovaný tak, aby dostatočne zabezpečil rozptyl materiálu a vytvorenie požadovaných bariér a výplne okolitého prostredia.

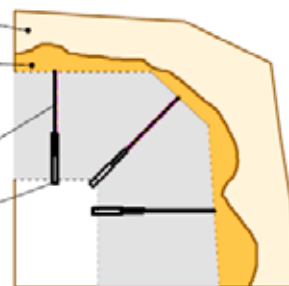
DETAIL "A"

TELESO HOMOGENNEJ
HRÁDZE

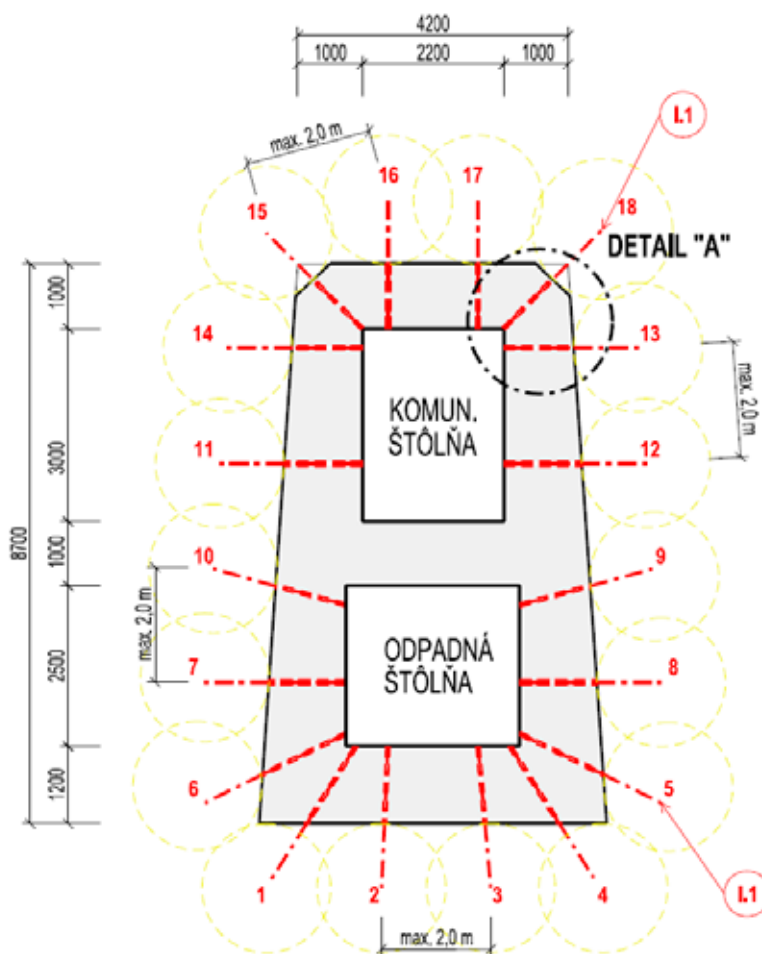
INIEKTÁŽNA HMOTA

VYVŔTANIE OTVOROV - Ø 10 mm,
DĹŽKA 1,0 - 1,4 m

OSADENIE INIEKTÁŽNEHO PAKRA
DO VYVŔTANÉHO OTVORU



Obrázok 6. Priečny rez štôľňami
Detail „A“



Obrázok 5. Priečny rez štôľňami
s naznačenými iniektážnymi clonami

SO 04 – Strojovňa

V rámci opravy objektov [1] VS Ružiná došlo aj k oprave celého armatúrneho a strojného vybavenia strojovne. V minulosti boli armatúry a potrubia v zlom stave podliehajúce korózii na povrchu vplyvom vlhkosti prostredia. Z toho dôvodu boli vymenené všetky armatúry ako uzávery, klapky, kužeľové uzávery. Všetky obnovené potrubia boli mechanicky očistené od hrdze a následne bola na celom ich povrchu zrealizovaná obnova náterov. V rámci tohto objektu boli ďalej nainštalované nové zábradlia, schodiská, rebríky a plošiny z kompozitného materiálu, ktoré sú kotvené cez chemické kotvy do betónových povrchov.



Obrázok 7. Objekt strojovne po oprave

SO 05 – Výmena provizórneho hradenia

Stavebný objekt SO 05 [1] rieši obnovu provizórneho hradenia, hrablic a hrablicového krytu nachádzajúce sa pred vtokovými kusmi na vypúšťacom potrubí. Provizórne hradenie slúži v prípade potreby na uzavretie vtokových kusov v čase poruchy, havárie alebo výmeny časti vypúšťacieho potrubia nachádzajúceho sa v strojovni ZFO. Takéto hradenie je nainštalované na obidvoch vtokových kusoch. Pred hradením sa nachádzajú hrablice zamedzujúce vtiahnutie väčších predmetov do vypúšťacích potrubí. Priamo nad hradiacimi tabuľami provizórneho hradenia [1] sa nachádza montážny otvor, ktorý je prekrytý hrablicovým krytom. Tieto zariadenia boli nefunkčné alebo v zlom technickom stave, preto bola potrebná jeho výmena. Pred začatím prác

na výmene provizórneho hradenia a hrablic bolo potrebné odťažiť časť dnových nánosov nachádzajúcich sa v tomto priestore aby mohli byť bezproblémovo osadené navrhované konštrukcie. Hradenie vtokového otvoru je zabezpečené pomocou ocelevej hradiacej tabule, ktorá sa pohybuje pomocou sústavy kladiek a navijaku. Obnova tohto zariadenia spočívala v celkovej výmere všetkých častí provizórneho hradenia (stavidlová tabuľa, zdvíhacie zariadenie, navijak s lanom, kryt, reťaz a hrablice) okrem častí, ktoré sú pevne ukotvené do železobetónovej konštrukcie. Všetky novo inštalované časti, ktoré pôvodne boli oceleové boli nahradené nerezovými.



Obrázok 8. Nové tabule provizórneho hradenia

SO 06 – Vývar

Účelom vývaru je zabezpečiť tlmenie kinetickej energie vody vypúšťanej z nádrže. Oprava vývaru [2] prebehla v rozsahu: demontáž zábradlia, zosekanie nadmurovky na korune vývaru, odstránenie poškodeného betónu vo vývare, celoplošným otryskaním vysokotlakým vodným lúčom (min. 500 bar) a nadbetónovaním koruny vývaru. Na opravu bol použitý vodostavebný železobetón C 30/37 XC2, XF3 a s hrúbkou cca 100 mm. Finálna hydroizolácia a zjednotenie povrchovej úpravy koruny, zvislých a šikmých plôch vývaru pružnou cementovou 1K izoláciou SIKALASTIC 1K 8. Na záver osadenie nového zábradlia. Do opráv v rámci tohto stavebného objektu bola zahrnutá aj oprava vstupného portálu do komunikačnej štôlne. Reprofilácia existujúcej betónovej konštrukcie a ochrana viditeľnej časti podhľadu betónových prefabrikátov prekrytia portálu sa vykonala na báze sanačného systému SIKA. Na objekte vývaru bolo pôvodné zábradlie vymenené za nové z kompozitu s UV ochranou.

SO 07 – Stavebná elektročnosť

Stavebná elektročnosť rieši výmenu stavebných elektrorozvodov, nové káblivé trasy v ZFO, istené vývody pre napájanie uzáverov, klapiek a provizórneho hradenia, napájanie vonkajšieho osvetlenia, napájanie k elektrickým bránam na hrádzi a pripojenie ZFO z náhradného zdroja ASVaV.



*Obrázok 9. Nové elektrorozvody
s osvetlením v komunikačnej štôlni*

Záver

Náklady na opravy v zmysle zmluvy o diele predstavujú sumu 2,608 milióna eur bez DPH. Predmetom projektu bola oprava existujúcich objektov v nevyhovujúcom technickom stave, ktorá v podstatnej miere rešpektovala a zohľadňovala architektonické, výtvarné a funkčné riešenie pôvodného stavu. V prípade, že by na nádrži neprebehli opravné práce, hrozilo, že vodná stavba by nebola funkčná a prevádzkyschopná. Realizáciou stavebných prác nedošlo k negatívnym zmenám v okolitom prostredí, skôr naopak – zvýšila sa celková estetická hodnota a atraktivita riešenej stavby i územia. Dosiahnutie maximálnej prevádzkovej hladiny bude závisieť od hydrologických podmienok avšak dĺžka plnenia sa v prípade štandardných hydrologických podmienok odhaduje približne do dvoch rokov.

Literatúra

- [1] HARAGA, R; Dokumentácia skutočného realizovania stavby (SO 03, SO 04, SO 05) - Technická správa; Banská Bystrica, 2021.
- [2] MOTYKA, T; Dokumentácia skutočného realizovania stavby (SO 01, SO 02, SO 06) - Technická správa; Banská Bystrica, 2021.
- [3] PREVÁDZKOVÝ PORIADOK pre vodnú stavbu Ružiná na vodnom toku Budinský potok, v r.km 1,773.

VODNÁ STAVBA KRÁĽOVÁ, STABILIZÁCIA KORYTA POD STUPŇOM

Ján Kováč¹, Jozef Kemenský²

¹Správa povodia dolného Váhu, Dolná 16, 927 00 Šaľa, tel. 0903 412 182, jan.kovac@svp.sk

²Správa povodia dolného Váhu, Dolná 16, 927 00 Šaľa

Abstrakt

Výstavba vodného diela Kráľová bola zahájená v rovinatom území v roku 1975. Od 19. apríla 1985 sa začalo s prvým plnením vodného diela na predpísanú hladinu. Zameraním podhatia v roku 2006 bolo zistené, že za opevnením dna odpadného koryta sa vytvorili hlboké výmole. Stabilizácia koryta pod stupňom sa zahájila v roku 2021. Takmer všetky práce sú realizované z vodnej hladiny. Logistické zabezpečenie prepravy lomového kameňa je značne náročné, nakoľko je potrebné zosúladiť plavebné podmienky na dvoch vodných tokoch.

Abstract

Construction of the Kráľová Dam was initiated on flat land in 1975. The first filling of the impoundment to the prescribed level began on April 19, 1985. In 2006, measurements showed deep potholes formed behind the dam downstream stilling basin. Stabilization works have begun in 2021. Almost all works are carried out from the water surface. The logistic of quarried stone is significantly challenging due to the synchronization of sailing conditions on two watercourses.

VD Kráľová

V roku 1975 bola zahájená výstavba VD Kráľová a prebiehala do roku 1985. S plnením na kótu určenú v povolení pre dočasnú prevádzku sa začalo 19. apríla 1985. Počas výstavby bola vodná stavba VD Kráľová najnižšie položená vodná stavba Vážskej kaskády. Nachádza sa na toku Váh v rkm 63,150 medzi obcami Kráľová nad Váhom a Váhovce. Svojím vzdutím a objemom slúži pre energetické využitie, zmierňuje účinky povodní, zabezpečuje vodu pre závlahy, vytvára podmienky pre plavbu a v nepodstatnej miere vytvára vhodné podmienky pre rekreačné využitie.

Vodná stavba Kráľová je postavená na rovinatom území. Celý objem zdrže mimo objemu vyťaženého štrkopiesku je nad terénom ohrádzaný pravostrannou a ľavostrannou hrádzou o celkovej dĺžke až 20,300 km, ktoré prepájajú objekty vodného stupňa, hať, vodnú elektrárňu a medziobjektové zemné násypy. Celková zaplavená plocha vodného diela je 10,89 km², pričom maximálna šírka je 2,2 km a dĺžka až 10,0 km. Maximálna prevádzková hladina sa nachádza na kóte 124,00 m n.m. a okolitý prirodzený terén je pri stupni v priemere na kóte 117,00 m n.m. Minimálna prevádzková hladina sa nachádza na kóte 122,00 m n.m. Celkový objem zdrže medzi kótami 100,4 až 124,0 m n.m. je 65,47 mil. m³ vody.

Samotná hať sa skladá zo štyroch haťových polí, každé o svetlosti po 16,0 m, s pohyblivým hradením segmentami s klapkami. Dĺžka hate kolmá na smer toku je 84,0 m. Celková výška hradiacej konštrukcie je 9,60 m z toho hradiaca výška segmentu je 6,3 m, hradiaca výška klapky je 3,3 m. Prevýšenie hradiacej konštrukcie nad max. prevádzkovou hladinou je 0,3 m. Pevný prah hate je na kóte 115,00 m n.m. Vývar má dĺžku 41,4 m, dno vývaru sa nachádza na kóte 104,00 m n.m. Prah ukončujúci vývar je na kóte 107,50 m n.m.[1].

Obr. č. 1 VS Kráľová, pohľad na haťové polia a VE



Z dôvodu predpokladaného nerovnomerného rozdelenia merných prietokov na začiatku odpadného koryta a nepriaznivých prúdových pomerov vo vývare a prilahlom úseku odpadného koryta upresnenie tvaru vývaru a opevnenia odpadového koryta riešil v rámci modelového výskumu Výskumný ústav vodného hospodárstva Bratislava. Na základe dispozičného usporiadania a technického riešenia objektov bola úloha riešená na hydraulickom modeli, tak aby vyhovoval kritériám Froudeovho zákona mechanickej podobnosti. Výskumom na hydraulickom modeli bolo zistené, že pri stanovených podmienkach a funkčnom usporiadaní objektov, rôznych prietokoch, rôznych hladinách hornej hladiny dochádza k poškodeniu prilahlého úseku odpadného koryta. Z tohto dôvodu Výskumný ústav vodného hospodárstva Bratislava odporučil vykonať opevnenie koryta Váhu za vývarom nahádzkou z lomového kameňa o dĺžke 11,0 m, do hĺbky 7,0 m o veľkosti zrna Ø 50 až Ø 70 cm resp. min. hmotnosti 300 kg a kamenný koberec v dĺžke 25,0 m pozostávajúci z troch vrstiev zaklinených kameňov [2].

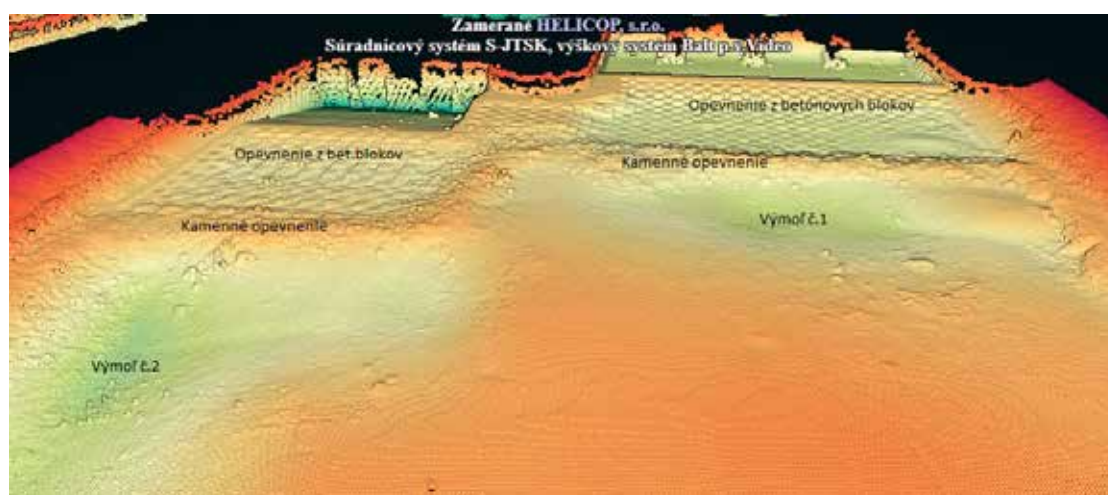
Na základe odporúčaní a poznatkov z výskumu bol prechodový úsek medzi prahom vývaru pod haťovými poľami a dnom koryta Váhu opevnený v dĺžke 38,0 m. Opevnenie je vybudované z betónových blokov rozdielnej výšky uložených v sklone od 107,40 m n.m. po 105,00 m n.m. ukončených kamennou nahádzkou na dĺžke 14,0 m a v sklone 1:6. Hmotnosť jedného kusa kameňa min. 300 kg. Betónové bloky sú uložené do tvaru výmoľu pre nespvené dno, zisteného výskumom na modeli vytvorenom VÚVH Bratislava.

Koryto Váhu pod výtokmi vodnej elektrárne bolo taktiež opevnené betónovými blokmi o dĺžke 38,0 metra rozdielnej výšky a ukončené kamennou nahádzkou na dĺžke 5,0 m. Hrúbka nahádzky je 1,80 m a hmotnosti jedného kusa kameňa min. 300 kg.

Po povodňových prietokoch v roku 2006 sa vykonalo podrobné zameranie podhatia. Zameraním boli identifikované celkom štyri výmole. Prvý výmoľ sa nachádzal pod haťovými poľami tesne za kamennou nahádzkou. Druhý výmoľ sa nachádzal pod výtokmi vodnej elektrárne taktiež tesne za kamennou nahádzkou. Poškodenie betónových blokov a kamennej nahádzky nebolo zistené ani pod haťovými poľami a ani pod výtokmi vodnej elektrárne. Tvar a rozsah poškodenia je možné vidieť na obrázku č.2.

Tretí výmoľ sa vytvoril v úseku medzi haťovými poľami a vodnou elektrárnou cca 180 m od piliera. Štvrtý výmoľ sa vytvoril cca 70 m od prahu vývaru výtokov vodnej elektrárne. V rámci monitorovania stavu a vývoja výmoľov sa merania vykonávali v približne rovnakých profiloch v ročnom intervale. Zároveň sa vykonávalo porovnanie údajov so základným meraním a predchádzajúcimi meraniami. Výraznejšie prehĺbovanie výmoľov nebolo zaznamenané.

Z dôvodu pretrvávajúceho nepriaznivého stavu odpadného koryta a predpokladu ďalšieho prehĺbovania výmoľov s ohľadom na geologický profil, správca VS Kráľová zadal v roku 2017 požiadavku na vypracovanie projektovej dokumentácie „VS Kráľová, stabilizácia koryta pod stupňom“. Projektovú dokumentáciu vypracoval Hydroinvest spol. s r.o. Bratislava. Analýzou meraní a záznamov z prevádzky VE a hate VS Kráľová dospel projektant k názoru, že prvotnou príčinou tvorby výmoľov bolo dlhodobé enormné zataženie koryta pod stupňom počas povodne v roku 2006. Nakoľko kamenné opevnenie pod prahom opevnenia odpadného koryta pod výtokmi VE a pod prahom opevnenia odpadného koryta pod haťou nebolo takmer poškodené, projektant navrhol sanáciu výmoľov lomovým kameňom s veľkosťou stanovenou v pôvodnom projekte a to jeden kus o hmotnosti min. 300 kg (mocnosť vrstvy 200 cm). V priestore medzi vrstvou piesku štrkovitého a lomovým kameňom navrhol projektant vybudovať prechodovú vrstvu makadamu frakcie 63–125 mm, ktorá má zabrániť poklesu kameňov zaborením do menej únosnej vrstvy a zlepšiť ochranu pred vyplavovaním jemných frakcií. Zásyp výmoľov makadamom bol navrhnutý po kótu 107,00 m n.m. a následne sa má vykonať uloženie lomového kameňa po kótu 108,50 m n.m. Na sanáciu všetkých štyroch výmoľov je naprojektovaných 5651,08 m³ makadamu a 17741,18 m³ lomového kameňa. Celkom bude sanovaná plocha o výmere 15944,04 m². Vzhľadom k tomu, že došlo k vytvoreniu lavíc medzi výhonmi, tieto lavice sa musia odstrániť na úroveň kóty 108,50 m n.m. Jedná sa o štrkový materiál o množstve 7007,44 m³. Projektant navrhol dve alternatívy realizácie stavby. Prvá alternatíva spočíva v dovoze makadamu a lomového kameňa z kameňolomu Pohranice po ceste nákladnými vozidlami na dočasnú skládku. Následne sa z dočasnej skládky mal materiál na zabudovanie previezť k prístavnej hrane a naložiť do plavidla a dnovým výsypníkom (makadam) a drapákom sa mal uložiť do projektom určeného priestoru. V druhej alternatíve projektant uvažoval s dovozom makadamu z lomu v Pohraniči nákladnými vozidlami a dovoz lomového kameňa z lomu Devín plavidlami po toku Dunaj a Váh s následným priamym zabudovaním s drapákom umiestneným na plaváku[3].



Obr. č. 2 Zameranie podhatia (HELICOP, s.r.o. [4])

Lom Devín je vybavený prístavnou hranou s možnosťou nakládky lomového kameňa cez násypník. Lom je vo vlastníctve a prevádzke SVP š.p. Remorkéry, šlepy, dno výsypný šlep, drapák umiestnený na plavidle a ďalšie pozemné mechanizmy a prepravné vozidlá sú taktiež vo vlastníctve SVP š.p. Z tohto dôvodu sa pristúpilo k realizácii stavby vo vlastnej réžii. Prípravné práce súvisiace s opravou dno výsypného šlepu sa zahájili v roku 2020. Následne bol šlep preplavený pod stupeň VS Kráľová. Práce na stabilizácii koryta pod stupňom sa zahájili v roku 2021 dovozom makadám z lomu Devín. Makadám sa vyložil na prístavnú hranu a pracovným strojom UDS 215 sa nakladal do dno výsypného šlepu. Následne sa makadám sypal do projektom určených výmoľov, pričom ako prvý sa zasypal výmoľ č. 1 nachádzajúci sa pod haťovými poľami. Pri vyplňaní výmoľu č. 2 bolo v predstihu potrebné zabezpečiť výluk v prevádzke VE Kráľová aby nedošlo k prípadnej kolízii plavidla s brehovým opevnením. V roku 2021 boli výmoľe č. 1 a č. 2 vyplnené makadámom na projektom predpísanú kótu 107,00 m n.m.



Obr. č.3 Zásyp výmoľov makadamom dno výsypným člnom

Z dôvodu nepriaznivých plavebných podmienok na Dunaji sa v roku 2021 nemohol zahájiť dovoz lomového kameňa plavidlami. V roku 2022 sa zahájil zásyp výmoľov č. 3 a č. 4 makadamom. Zároveň sa zahájila preprava lomového kameňa z lomu Devín po Dunaji do Komárna o celkovej dĺžke 114 km. Na vplávanie do Váhu je potrebná hladina vody na vodočte v Komárne min. 200 cm zároveň pre plavbu po toku Váh bolo potrebné zabezpečiť nadlepšenie prietoku z VS Kráľová o veľkosti $300 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ na dobu 11 hodín. Až pri splnení oboch podmienok bolo možné vplávať do Váhu a preplaviť lomový kameň pod stupeň VS Kráľová. Dĺžka plavby po Váhu predstavuje 63,150 km. Na druhý deň sa priamo z nákladného člna ukladal lomový kameň do výmoľa č. 1. Z dôvodu nepriaznivej hydrologickej situácii na toku Dunaj a taktiež na toku Váh sme dňa 27.6.2022 ukončili plavbu a ukladanie lomového kameňa do výmoľu č. 1. Celkom bolo zabudovaných $3558,17 \text{ m}^3$ lomového kameňa.



Obr. č. 4 Ukladanie lomového kameňa do výmoľu č. 1

Na jeseň 2022 sa predpokladá opätovné zahájenie plavby a s tým súvisiace uloženie lomového kameňa do výmoľu č. 1 a č. 2. V prípade nepriaznivých hydrologických pomerov sa zásyp výmoľov lomovým kameňom zaháji až v roku 2023 pri využití prietokov jarných vôd. Zahádzka makadamom pokračuje nakoľko doprava tejto frakcie sa vykonáva nákladnými vozidlami a zabudovanie nie je ovplyvnené hydrologickou situáciou na tokoch Váh a Dunaj. Do výmoľov č. 3 a č. 4, ktoré sú vzdialené od vývaru viac ako 100 metrov sa lomový kameň nahradil makadamom. Táto zmena bola odsúhlasená projektantom stabilizácie koryta pod stupňom. Doposiaľ bolo zabudovaných $7171,97 \text{ m}^3$ makadamu. V roku 2022 predpokladáme zabudovanie všetkého makadamu do výmoľov č. 3 a č. 4. V roku 2023 predpokladáme zabudovanie lomového kameňa do výmoľov č.1 a č.2 a ukončenie celej stavby.

Literatúra

- [1] Manipulačný poriadok VS Kráľová, 2017, s. 14–20
- [2] Výskumný ústav vodného hospodárstva (1975): Vodné dielo Kráľová, výskum hydrouzla, záverečná správa, Bratislava, 1975, s. 28
- [3] HYDROINVEST spol. s r.o., Smolenická 2, Bratislava, 2018: VS Kráľová, stabilizácia koryta pod stupňom, projektová dokumentácia pre stavebné povolenie a realizáciu stavby
- [4] Helicop s.r.o, 2017: Zameranie podhatia VS Kráľová

PORUCHY MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ - PŘÍČINY, NÁSLEDKY A NÁVRH OPATŘENÍ

Stanislav Žatecký

VODNÍ DÍLA-TBD a.s., pracoviště Brno, Studená 2, 638 00 Brno
mob: 777 769 437, email: zatecky@vdtbd.cz

Abstrakt

Poruchy malých vodních nádrží, výpusti, potrubí, způsob opravy, poruchy a jejich sanace.

Klíčová slova: Spodní výpusti, malé vodní nádrže.

Abstract

Failures of small dams, repair methods, failures and their rehabilitations.

Keywords: Bottom outlets, small dams.

Úvod

Poruchy hrází malých vodních nádrží mohou vzniknout vlivem různých příčin. Ty lze rozdělit na několik skupin, které se však v průběhu od výstavby přes trvalý provoz vyskytnout na vodním díle i kumulovaně:

- nedostatky v projektové dokumentaci
- podceněný geologický průzkum
- závažné a nedodržení technologické kázně při provádění stavby
- nedostatečná kapacita bezpečnostních přelivů (zvláště u historických vodních děl)
- stárnutí vodních děl a jejich technologických částí
- vliv špatné údržby porostů, nebo působení živočichů
- nesprávná manipulace

Nedostatky v projektové dokumentaci

Nevhodné řešení bezpečnostního přelivu

Příkladem nevhodného řešení bezpečnostního přelivu je vodní dílo Černý potok v k.ú. Návsí. Po poškození původního bezpečnostního přelivu byla provedena jeho oprava podle schválené projektové dokumentace. Byl navržen přímý přeliv u pravého zavázání hráze z betonových panelů uložených na geotextilii a šterkový podsyp bez oddělovacího prahu na návodní straně hráze. Boční stěny skluzu byly vytvořeny z betonových L profilů. Oprava byla provedena v roce 2019 a v roce 2020 při povodňových průtocích došlo k havárii přelivu a sesuvu svahu nad pravým zavázáním hráze.



Obrázek 1. Skluz bezpečnostního přelivu – výstavba 2019



Obrázek 2. Protržení hráze v místě bezpečnostního přelivu



Obrázek 3. Odplavené opevnění skluzu a sesuv pravého svahu

Sdružené objekty – nebezpečí promrzání, vznik poruchy na kontaktu beton – zemina

Riziko promrzání je významným faktorem při vzniku poruchy zvláště o sdružených objektech, nebo průchodu skluzu od bočních přelivů s hlubokým spadištěm. Dodržení sklonů betonových stěn 10 : 1, hladkosti povrchu a hlavně využití zavazovacího žebra v ose, nebo v zemním těsnění hráze je zárukou zabránění vzniku průsakové cesty. Žebro není vhodné umísťovat pod potrubí, hrozí nebezpečí vzniku prasklin při hutnění násypu hráze.



Obrázek 4. Porušení hráze po silných mrazech a následném tání při absenci žebra

Podceněný geologický průzkum

Geologický průzkum malých vodních nádrží je často podceněn. Potom narazíme buď již při výstavbě, nebo při prvním napouštění s výskytem průsakových poruch. Při výstavbě se může zjistit nedostatečně únosné podloží, nebo prameny v prostoru budoucího tělesa hráze. Nejsou v dostatečném množství zajištěny vhodné zeminy v dostupné dovozové vzdálenosti. Při dotvarování břehů zátopy nádrže dochází k odtěžení těsnicí vrstvy zeminy a následném obtoku tělesa hráze kolem zavázání. Nedostatečný průzkum tak může ve výsledku vést ke zdražení stavby, následným sanačním pracím a v nejhorším případě i k vývoji poruchy ohrožující vodní dílo.

Závady a nedodržení technologické kázně při provádění stavby

Při stavbách malých vodních nádrží se můžeme setkat s nedodržením projektové dokumentace a zjednodušením konstrukcí objektů na příklad použitím tvárníc ztraceného bednění při výstavbě bezpečnostního přelivu, nebo nedostatečně obetonovaného potrubí. Dalším příkladem nedodržení technologické kázně je ponechání bednění u konstrukcí, na které přiléhá násyp zeminy. Obdobný vliv na vývoj průsakových cest na kontaktu beton – zemina jsou nezarovnané přetoky betonu při nedokonalém provedení bednění. Často je podceněna kvalita podkladních betonů, které by měly být stejné, jako ostatní betonové konstrukce nejlépe C 30/37 XC4 XF3, Cl – 0,2, Dmax 22 – S3.



Obrázek 5. Boční přeliv vybudovaný z tvárníc ztraceného bednění



Obrázek 6. Špatně obetonované potrubí spodní výpusti



Obrázek 7. Špatně provedené bednění, přetoky betonu

Nedostatečná kapacita bezpečnostních přelivů (zvláště u historických vodních děl)

Bezpečnostní přelivy zvláště historických vodních děl vybudovaných v minulém století, případně i dříve, nevyhovují svou kapacitou současným návrhovým průtokům. Často se jedná o vodní díla, která s ohledem na změny v území pod vodním dílem jsou zařazena do III. kategorie podle §61 zákona 254/2001 Sb. v platném znění. Většinou se jedná o hrazené přelivy, jejichž kapacita je závislá na včasné manipulaci. Mnoho těchto objektů v současné době nemá v pořádku zdvihací mechanismy, nebo vlivem deformací vodících prvků a táhel není manipulovatelná. U nových objektů jsou často prováděna opatření proti úniku ryb a na přelivné hrany jsou osazovány česle, nebo mříže, se kterými nebylo při návrhu objektů uvažováno. To snižuje kapacitu přelivů při převádění povodně a může dojít i k přelití hráze.



Obrázek 8. Hrazený přeliv, při povodni nevyhrazený



Obrázek 9. Mříže na bezpečnostním přelivu

Stárnutí vodních děl a jejich technologických částí

Stárnutí vodních děl se projevuje vývoje různých typů poruch. Původní dřevěná výpustná potrubí u historických rybníků podléhají hnilobě při neudržování trvalého zatopení podtrubní jámy na vzdušní patě hráze. Obdobná porucha se vytvoří při nahrazení uzávěru dřevěného potrubí (čapu, nebo ponořeného požeráku) modernějším betonovým objektem hrazeným dlužemi. Pokud není trvale zatopené dřevěné potrubí i ze strany nového

objektu dochází k vývoji poruch, vytvoření kaverny na návodní straně hráze a při vypouštění nádrže může dojít k rozvoji kaveriny až propadu. U novějších typů objektů vyzděných z kameniva dochází k vývoji průsakových cest podél rubu zdi a k borcení zdiva po rozpadu malt ve spárách zdiva. U betonových objektů dochází k rozpadu betonů zvláště v oblasti kolísání hladiny, dále k vývoji trhlin na špatně provedených pracovních spárách a snížení pevnosti vlivem koroze výztuže.



Obrázek 10. Propad kaverny na návodní straně hráze



Obrázek 11. Rozpad kamenného zdiva skluzu a zdi

Vliv špatné údržby porostů, nebo působení živočichů

Porosty na hrázích

Převážná většina hrází postavených v minulých stoletích je v současné době porostlá neudržovanými náletovými porosty. K tomu došlo převážně vlivem špatné údržby v druhé polovině minulého století. Na některých hrázích došlo v minulosti i k řízené výsadbě stromů na korunu hráze. Zdravé a hluboce kořenné stromy na sypaných hrázích, které mají dostatečné parametry, mají významnou krajinnotvornou, estetickou, historickou a přírodní hodnotu, nesmí však stavbě škodit. Většinou jde o vzrostlé staré stromy, někdy chráněné i podle zvláštních předpisů, které, pokud jsou vhodného druhu, zdravé a ve vhodných rozestupech, nepůsobí výrazně nepříznivě na stabilitu sypané hráze a zastínění chrání její povrch před vysycháním. Souvislý povrch keřů nebo výmladků však často brání volnému přístupu obsluhy vodní-

ho díla a řádné kontrole povrchu sypané hráze a omezuje vývin travního pokryvu. Travní porost pod souvislým zápojem dřevin v důsledku zastínění hyne a neplní pak protierozní funkci při dešti nebo při přelití sypané hráze. Kmeny dřevin na vzdušném svahu hráze v případě jejího povrchového přelévání pak tvoří nežádoucí místní překážku, za kterou dochází k místní intenzivní povrchové erozi. Mezi nevhodné dřeviny vysázené, nebo z náletu patří topoly, smrk a jiné mělce kořenící, měkké dřeviny. Hrozí jednak vývraty a jednak otevření průsakových cest kořenovým systémem, případně jeho vyhníváním. Problematika porostů na hrázích je řešena v metodickém pokynu MZe č.1/2010 vydaným pod č.j. 37380/2010-15000. v kap. C je řešena problematika vegetace na sypaných hrázích. Ve smyslu tohoto pokynu, lze uvažovat s výsadbou dřevin při šířce koruny hráze větší jak 4 m a na vzdušném svahu při sklonu 1 : 2 a mírnějším. Na návodní straně je výsadba nežádoucí. Dále je zakázána výsadba blíže než 6 m od objektů. U dlouhodobě neošetřovaných a zdravotně špatných poškozených porostů na hrázích vodních děl je nutné posoudit rizika spojená s jejich okamžitým odstraněním bez současné sanace násypu tělesa hráze. Ponechat je možno zdravé vzrostlé stromy, které na sypaných hrázích rostou po delší dobu, a nebyl pozorován jejich škodlivý vliv. Při posuzování stavu vegetace je nutné, vzhledem k významu hráze a možnost jejího ohrožení a možných způsobených škod, posoudit nutnost a způsob odstranění nežádoucích porostů. Kácení a odstraňování náletu, pokud nelze odstranit úplně včetně kořenového systému, je nutno provádět úrovnově, při zemi s ponecháním co nejnižšího pařezu, případně ještě jej překrýt zeminou. Je nutné potlačovat pařezové výmlady.



Obrázek 12. Vývrat smrků na vzdušném svahu hráze

Závěr

Výčet jevů a příčin, které by mohly při provozu vodního díla zapříčinit poruchu a v horším případě i havárii hráze vodního díla je velmi stručný. Projekční chyby, případně vady výstavby lze ovlivnit důkladnou kontrolou, nebo dozorem při výstavbě. Poruchy, které se mohou vyvinout v průběhu provozu mohou být eliminovány řádnou údržbou jak tělesa hráze, tak objektů. Hodně jevů signalizujících nepříznivý vývoj lze odhalit při obchůzkách a prohlídkách v rámci technickobezpečnostního dohledu.

Působení živočichů

Stále častěji se setkáváme s činností bobra evropského (*Castor fiber*), který postupně osidluje stále větší množství toků a vodních nádrží. Nory v hrázích se vstupem pod provozní hladinou v rybníku, hnízdo v tělese hráze a další cesty na vzdušnou stranu, případně ventilační chodby způsobí při zvýšené hladině vývoj kaveren a propad hráze. V současné době začínají být rovněž problémy s nutrií - Nutrie říční (*Myocastor coypus*), která se začíná neřízeně množit, patří k významným invazivním druhům a způsobuje škody na březích toků a nezpevněných hrázích.



Obrázek 13. Provizorně sanovaná bobří nora po propadu koruny hráze

Nesprávná manipulace

Kromě výše uvedených příkladů možného vzniku poruch nelze zapomenout na nevhodné zásahy člověka. Jednak velké množství malých vodních děl není vybaveno Manipulačním řádem a vlastník potom není řádně seznámen s postupy, jak reagovat při zjištěných jevech signalizujících možný počátek vývoje poruchy. Neví také jak správně reagovat při dnes stále častějších epizodách přívalových dešťů a z nich vzniklých přívalových povodních. Nástup těchto povodní bývá velmi rychlý a včasná reakce může zabránit vzniku škod jak na díle, tak hlavně pod vodním dílem v případě jeho porušení. Proto považujeme za velmi nutné doplňovat dokumentaci zvláště těch vodních děl u kterých chybí a prověřovat zabezpečení vodních děl při příchodu povodně. S ohledem na současný stav zastavěnosti území v okolí toků, vybavenosti území je stále důležitější zajištění bezpečnosti vodních děl.

Literatura

- [1] Archivní materiály - archiv VODNÍ DÍLA - TBD a.s.

VN KUCHYŇA – NÁVRH REKONŠTRUKCIE VODNEJ STAVBY

Albert Kőszeghy, Iveta Simanová

Slovenský vodohospodársky podnik, š. p., Povodie Dunaja, odštepny závod, Karloveská 2, 842 17 Bratislava,
tel. +421260292232, albert.koszeghy@svp.sk

Abstrakt

Vodné dielo Kuchyňa, zaradené do III. kategórie vodných stavieb, bolo vybudované pod sútokom Maliny (Modranského potoka) a jeho prítoku Javorinka. Vodná nádrž sa využíva na zachytenie povodňových prietokov, nadlepšovanie prietokov na toku pod nádržou a pre extenzívny chov rýb. Technicko-bezpečnostný dohľad (TBD), v zmysle ustanovení vyhlášky MŽP SR č. 119/2016 Z.z. v znení vyhlášky MŽP SR č. 265/2020 Z.z., vykonáva správca vodnej stavby SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, š.p., Povodie Dunaja, odštepny závod. Na základe záverov z TBD sa na vodnej stavbe trvalo udržiava znížená hladina vody v nádrži z dôvodu podmáčania lavičky vzdušného svahu hrádze. Preto bola vypracovaná projektová dokumentácia na rekonštrukciu vodnej stavby, ktorá pozostáva z realizácie podzemnej tesniacej steny metódou tryskovej injektáže, rekonštrukcie bezpečnostného priepadu, doplnenia pozorovacieho systému sond a z rekonštrukcie koruny hrádze.

Kľúčová slova: VN Kuchyňa; rekonštrukcia; podzemná tesniaca stena.

Abstract

The water reservoir Kuchyňa is classified as III. Category water structure and it was built under the junction of two rivers – river Malina and river Javorinka as Malina's tributary. Water reservoir Kuchyňa is used for flood protection, improvement of discharge in river flowing under the reservoir and extensive fish farming. The technical safety supervision is administered by Slovak Water Management Company, as enacted by the Slovak republic ordinance no. 119/2016 as amended by Slovak republic ordinance no. 265/2020. On the ground of results from the technical safety supervision, water level in reservoir is permanently decreased due to filtration anomaly which resulted in underflooding on the front slope of the dam. Project documentation of water structure reconstruction was executed on the ground of mentioned filtration anomaly. Project documentation consists of design of sealing wall by jet grouting method, reconstruction of overflow channel, replenishment of new monitoring wells and reconstruction of dam crest.

Keywords: Kuchyňa reservoir; reconstruction; sealing wall.

Úvod

Vodné dielo Kuchyňa bolo vybudované pod sútokom Maliny (Modranského potoka) a jeho prítoku Javorinka na akumuláciu vôd, zachytenie povodňových prietokov, nadlepšovanie prietokov na toku pod nádržou a pre extenzívny chov rýb.

Z orografického hľadiska patrí územie vodnej stavby VN Kuchyňa k pohoriu Malých Karpát. Z hľadiska geologických pomerov je riešené územie a jeho okolie budované sedimentmi

neogénu tvorené prevažne hrubými štrkami a zlepenkami striedané s jemnejšími štrkami, príp. hrubými pieskami a kvartéru tvorené komplexom ílovitých, siltovitých a štrkovitých sedimentov. Vodná stavba skladá zo zemnej hrádze, združeného funkčného objektu, bezpečnostného priepadu a odvodňovacieho systému.

Zemná hrádza je heterogénna – tesniaca časť je zo strednoplastického ílu a stabilizačná časť je zo siltovitého štrku. Dĺžka hrádze v korune je 348,50 m, výška nad terénom je 10,4 m. Koruna hrádze na kóte 263,40 m n. m. má šírku 4,0 m. Návodný svah hrádze je od koruny po lavičku na kóte 259,40 m n. m. v sklonе 1:3 a v tomto sklonе pokračuje až po dno údolia. Po úrovni maximálnej hladiny je svah opevnený betónovými panelmi IZT 150/100/10 uloženými do štrkopieskového filtra, pod ktorým sa nachádza geotextília Tatrutex. Maximálna hĺbka vody pri hrádzi je 9,0 m. Vzdušný svah má od koruny po lavičku so šírkou 3,0 m na kóte 259,00 m n. m. sklon 1:2, ďalej po terén údolia 1:2,2.

Združený funkčný objekt je situovaný kolmo na os hrádze v km 0,176 meraného v osi hrádze. Dnový výpusť je tvorený potrubím Ø 1000 a slúži na ovládanie stavu vôd v nádrži, prípadné vypustenie vody z nádrže a na zabezpečenie zaručeného minimálneho odtoku. Potrubie dnovej výpuste je zaústené do vývaru na vzdušnej päte telesa priehrady.

Na ľavej strane hrádze je vybudovaný bočný bezpečnostný priepad. Bočný priepad slúži na bezpečné odvádzanie veľkých vôd z priestoru nádrže do toku pod nádržou. Kóta koruny bezpečnostného priepadu je 261,60 m n. m., výška prepádového lúča je 40 cm pri maximálnej retenčnej hladine 262,00 m n. m. Dĺžka priepadovej hrany je 27,0 m. Celý objekt pozostáva z bočného priepadu so spádoviskom, zo sklzu a vývaru, ktorý ústi do toku Malina.

Odvodnenie hrádze a zachytenie priesakov podloží a telesom hrádze je riešené kombináciou pätného drénu a drenážneho koberca, ktorý je vytvorený z drveného kameniva a chránený zo všetkých strán obráteným filtrom z piesku a štrkopiesku. V pätnom dréne sú uložené dve drenážne rúrky Ø 20 cm a tieto odvádzajú priesakové vody do vývaru pod dnovým výpusťom. Do vývaru sú z bokov zaústené odtoky z pätných drénov, z každej strany dve rúry Ø 20 cm. Na kontrolu jednotlivých úsekov je vybudovaných 8 drenážnych šachiet. Pätný drén je obojstranne vyústený do vývaru.



Obrázok 1. Zemná hrádza VN Kuchyňa

Správcom vodnej stavby je Slovenský vodohospodársky podnik, š.p., Povodie Dunaja, odštepny závod, Správa povodia Moravy Malacky.

Požiadavka vypracovať projekt rekonštrukcie vodnej stavby VN Kuchyňa vznikla na základe konštatovania, že teleso hrádze VN Kuchyňa je v priestore pri združenom funkčnom objekte (FO) netesné. Prejavuje sa to stálym zamokrením lavičky na vzdušnej strane hrádze pri vodnej hladine v nádrži na úrovni kóty bezpečnostného prepadu, resp. 30 cm nižšie. Hladina vody v nádrži je kvôli tejto anomálii z dôvodu bezpečnosti trvalo udržiavaná na úrovni 50 cm pod bezpečnostným prepadom. Veľkosť zamokrenia sa časom zväčšuje, najprv sa vyskytovalo len vľavo od FO v dĺžke cca 15 m, v súčasnosti sa pri maximálnej hladine prejavuje filtračná porucha aj vpravo od FO v dĺžke cca 10 m. Potvrdené je aj obtekanie pravostranného zaviazania hrádze.

Tieto javy boli vyhodnotené ako poruchy hrádze, ktoré je potrebné navrhovanou rekonštrukciou odstrániť.

Metodika

Návrh projektu „VS Kuchyňa – rekonštrukcia telesa hrádze – projektová dokumentácia“ [1], je riešený ako samostatná stavba. Navrhované riešenie má charakter vodohospodárskej stavby. Stavba sa delí na nasledujúce stavebné objekty:

- SO-01 Prípravné práce
- SO-02 Podzemná tesniaca stena
- SO-03 Rekonštrukcia koruny hrádze
- SO-04 Doplnenie pozorovacích a meracích zariadení
- SO-05 Rekonštrukcia objektu bezpečnostného prepadu

SO-01 Prípravné práce

Stavebný objekt SO-01 Prípravné práce rieši úpravu existujúcej koruny hrádze pre potreby budovania ďalších objektov, a to SO-02 Podzemná tesniaca stena, SO-03 Rekonštrukcia koru-

ny hrádze a SO-04 Doplnenie pozorovacích zariadení. Samotný objekt SO-01 Príprava územia predstavuje: odstránenie cestných panelov z koruny hrádze v celej dĺžke, odstránenie obrubníkov z oboch strán koruny hrádze, odstránenie betónu pod obrubníkmi, odhumusovanie svahov, odkop štrkodrvy spod cestných panelov, úprava pláne. Celková dĺžka koruny hrádze na ktorej sa realizujú prípravné práce je 351 m.

SO-02 Podzemná tesniaca stena

Rozsah utesnenia hrádze bol stanovený na základe Inžiniersko geologického prieskumu zrealizovaným v období február 2019 až máj 2019 firmou AQUIFER s.r.o. [2].

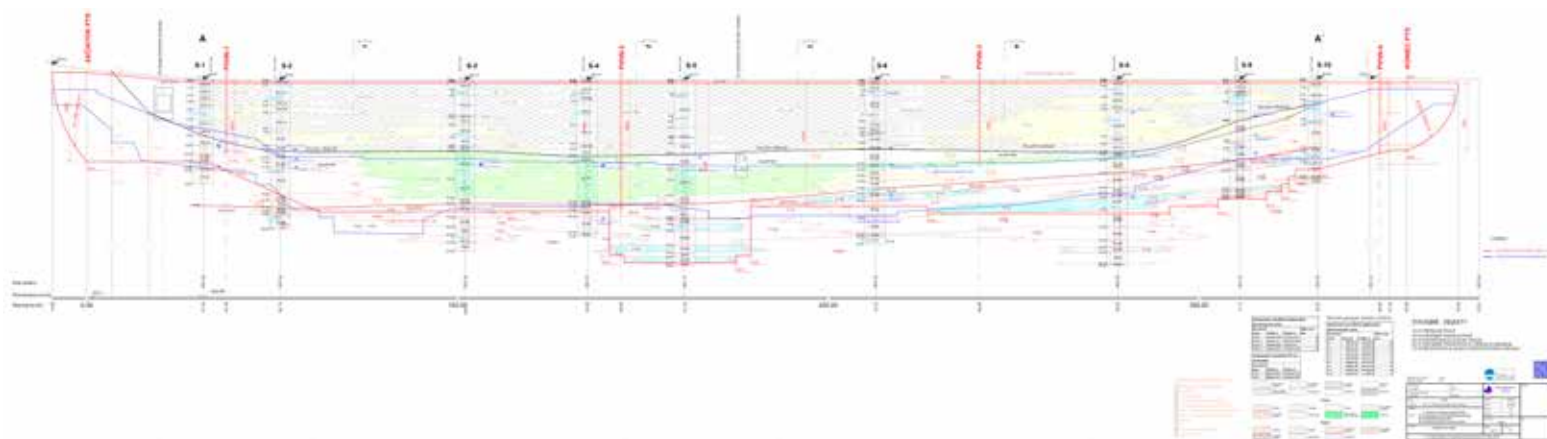
Navrhnutá hĺbka utesnenia sa pohybuje v rozmedzí od 9,10 m do 24,30 m od úrovne pracovnej plošiny 263,00 m n. m. Navrhnutý rozsah je od rozhrania vozovky asfaltovej cesty v ľavostrannom zaviazaní v staničení 0,00 po staničenie 355,98 m v pravostrannom zaviazaní. Tesniaci prvok je potrebné vytvoriť aj pod dnovým výpusťom a sklzom od bezpečnostného prepadu. Celkový navrhnutý rozsah tesniaceho prvku je 6 308 m²; dĺžka je 370,00 m; hrúbka tesniaceho prvku vzhľadom na geologickú stavbu bude rozdielna – v nesúdržných materiáloch bude hrúbka min. 0,30 m a v súdržných materiáloch bude mať hrúbku 0,15 m.

Návrh tesniacej steny

Na základe vyhodnotenia inžiniersko-geologických prieskumov ako aj dostupných technológií vyhotovenia tesniaceho prvku, bola ako optimálna technológia navrhnutá podzemná tesniaca stena (PTS) vyhotovená prúdovou (tryskovou) injektážou.

PTS bude budovaná lamelovým spôsobom, v miestach napojenia na betónové objekty a pod nimi budú použité kruhové a polkruhové stĺpy podľa potreby tak, aby zabezpečili spoľahlivé napojenie PTS na betónové objekty.

V pravostrannom zaviazaní je navrhované predĺženie podzemnej tesniacej steny injekčným vejárom, tak ako je to znázornené na obrázku 2. „Pozdĺžny profil PTS VN Kuchyňa“.



Obrázok 2. Pozdĺžny profil PTS VN Kuchyňa

Trysková injektáž

Trysková injektáž je bezvýkopová technológia, ktorá zabezpečí v celom výškovom rozsahu preinjektovanie preferovaných priesakových ciest. Hlavným princípom tejto bezvýkbovej technológie je, že sa pôvodná zemina preinjektováva resp. premiešava so samotvrdnucou suspenziou (bezvýkopové zmiešanie pôvodnej zeminy s cementom, bentonitom a vápencovou múčkou pod vysokým tlakom vrátane vyplnenia preferovaných priesakových ciest). Výhodou tejto metódy je tiež, že suspenzia vytvára tesniacu stenu nie len v osi hrádze, ale tlakom sa dostáva aj do malých trhlín, ktoré sa v telese hrádze účinkom poveternostných podmienok za obdobie existencie hrádze vytvorili.

Požadované parametre odobratých vzoriek suspenzie po 28 dňoch sú nasledovné:

Koeficient filtrácie:	
preukazné skúšky	min. 5,0 x 10 ⁻⁸ m/s
realizačné skúšky	min. 1,0 x 10 ⁻⁷ m/s
Pevnosť v prostom tlaku po 28 dňoch	min. 0,30 MPa

SO-03 Rekonštrukcia koruny hrádze

Stavebný objekt SO-03 Rekonštrukcia koruny hrádze rieši konečnú úpravu koruny hrádze po vybudovaní podzemnej tesniacej steny a zároveň rieši aj obnovenie a doplnenie kontrolných výškových bodov, ktoré sa v rámci prípravných prác odstránili.

Po vybudovaní PTS sa na teleso hrádze osadia obrubníky ABO 1/15/30, uložené do suchého betónu. Nakoľko sklon povrchu cestných panelov v priečnom smere bude 2 % smerom ku návodnej strane, obrubníky pri návodnej strane budú osadené nižšie, tak aby voda mohla odtekať do nádrže. Podsyp pod panely sa zriadi v hrúbke cca 150 mm z kameniva frakcie 0-32 mm, tak aby konečná koruna hrádze bola v úrovni 263,40 m n. m. Štrkový podsyp bude zhutnený na relatívnu uľahlosť $I_d = 0,9$ vibračným valcom a vypáduje sa v sklone 2 % smerom na návodnú stranu. Na takto upravenú korunu hrádze sa osadia cestné panely KZD 300×200×15 mm. Úprava koruny hrádze v mieste napojenia na svah na návodnej aj vzdušnej strane je dosypaním zeminou, zahumusovaním a osiatím trávovým semenom.

Celková dĺžka takto upravenej koruny je 351,00 m.

SO-04 Doplnenie pozorovacích a meracích zariadení

Doplnenie pozorovacích sond si vyžiadalo vyhodnotenie predchádzajúcich meraní filtračných rýchlostí na existujúcich pozorovacích sondách a požiadavky prevádzkovateľa vodnej stavby. Jedná sa o 4 ks pozorovacích sond, situovaných na vzdušnej strane koruny hrádze, označené ako PVHN-1 až PVHN-4. Dve sondy, PVHN-1 (hĺbka 9,70 m) a PVHN-3 (hĺbka 10,50 m) sú navrhnuté vybudovať s perforáciou v telese hrádze a dve sondy PVHN-2 (hĺbka 18,15m) a PVHN-4 (hĺbka 10,0m) sú s perforáciou v rozsahu podložia až po rozhranie kvartéru a neogénu.

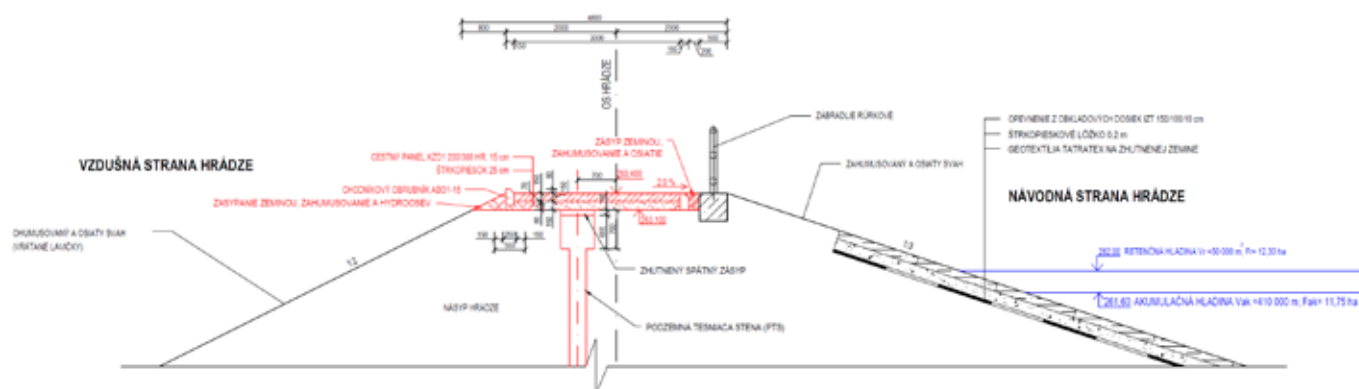
Sondy, určené pre meranie hladiny v telese hrádze, je potrebné zrealizovať tak, aby perforovaná časť nebola ovplyvňovaná viac priepustným podložím kvartéru. Preto tieto sondy sú zaviazané dnom kalníka do podložia (kvartéru) cca 1,0 m (pre spoľahlivé overenie pri vŕtaní) a vrch kalníka vyvedený nad kvartér cca 1,0 m (celková hĺbka kalníka je 2 m).

Zárubnice sond budú z PE potrubia s vonkajším priemerom 110 mm s hrúbkou steny min. 4 mm. Minimálny priemer vrtu bude 180 mm. Horná časť sondy bude utesnená zálovaním na dĺžke 1,0 až 2,0 m. Dolná časť sondy bude v dĺžke 1,0m bez perforácie ako kalník.

Perforácia sond bude vŕtaná, priemer otvorov 10 mm. Percento perforácie bude min. 12 %. Zárubnica bude obalená silonovou sieťovinou s okami 1,5 × 1,5 mm s dostatočným presahom. Sieťovina bude fixovaná medeným drôtom, prípadne iným nehrdzavejúcim materiálom. Obsyp bude štrkom z triedeného materiálu frakcie 3,0 mm. Materiál obsypu musí byť inertný, ktorý s časom nemení svoje vlastnosti. Pred zabudovaním vrtu musí byť po dno vyčistený od kalu.

Sondy budú ukončené oceľovou chráničkou, ukončenou 1,0 m nad úroveň terénu. Dĺžka chráničky bude 2,0 m. Priemer chráničky bude cca 140–160 mm. Chránička bude chránená poklopom, upevnená ku chráničke skrutkou. Skrutka bude chránená krytom. Poklop chráničky bude ku chráničke pripevnený reťazou dĺžky cca 300 mm. Chránička bude v teréne obetónovaná betónovou pätkou s priemerom 0,50 m hĺbkou cca 0,50 m pod terénom a vyvýšenou cca 0,15 m nad terénom alebo nad upravenou korunou hrádze. Oceľové časti budú opatrené antikoroziou a krycím náterom a jednotlivé sondy budú označené kontrastnou farbou.

KONEČNÁ ÚPRAVA HRÁDZE PO ZREALIZOVANÍ PTS



Obrázok 3. Priečny profil koruny hrádze VN Kuchyňa

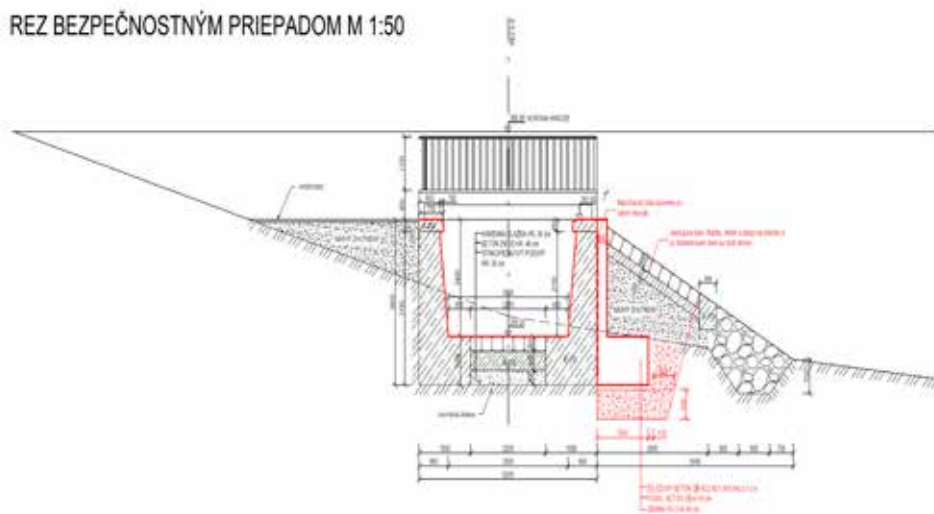
SO-05 Rekonštrukcia objektu bezpečnostného prepadu

Železobetónová konštrukcia bezpečnostného priepadu (BP) je netesná – pri prevádzkovej hladine voda presakuje cez pracovné a dilatačné škáry v zimnom období dochádza k namrzaniu vody (hrúbka ľadu zvykne mať hrúbka cca 1,0 m) a znižovaniu kapacity bezpečnostného priepadu a sklzu, viď obrázok 3. „Namrzanie BP VN Kuchyňa“. Po zhodnotení charakteru poškodenia, konzultácii so zástupcami výrobcov v oblasti stavebnej chémie a vyhodnotení rizík, je navrhnutá sanácia železobetónovej konštrukcie stien a dna bezpečnostného priepadu zo vzdušnej strany aj z návodnej strany.

Na základe priesakov a poškodenia železobetónovej konštrukcie bolo dohodnuté sanáciu na vzdušnej strane zrealizovať na železobetónovej konštrukcii bezpečnostného prepadu v časti od konca priepadu po svah telesa hrádze s tým, že cca 2,0 m sa bude sanovať aj pod prestupom priepadu pod korunou hrádze v celkovej dĺžke 27,5 m. Sanácia sa zrealizuje na oboch stenách priepadu, dne a na korune priepadu v potrebnom rozsahu.



Obrázok 4. Namrzanie BP VN Kuchyňa



Obrázok 5. Rez BP VN Kuchyňa

Literatúra

- [1] GCE s.r.o.; VS Kuchyňa – rekonštrukcia telesa hrádze – Dokumentácia pre stavebné povolenie. Zvolen, 2019.
- [2] AQUIFER s.r.o.; VS Kuchyňa – rekonštrukcia telesa hrádze – inžiniersko-geologický prieskum – Záverečná správa,

Záver

VN Kuchyňa sa prevádzkuje s obmedzeným hladinovým režimom na základe konštatovania, že teleso hrádze je v priestore pri združenom funkčnom objekte (FO) netesné. Prejavuje sa to stálym zamokrením lavičky na vzdušnej strane hrádze pri vodnej hladine v nádrži na úrovni kóty bezpečnostného prepadu, resp. 30 cm nižšie. Hladina vody v nádrži je kvôli tejto anomálii z dôvodu bezpečnosti trvalo udržiavaná na úrovni 50 cm pod bezpečnostným priepadom. Potvrdené je aj obtekanie pravostranného zaviazania hrádze a priesaky cez stenu bezpečnostného priepadu. Realizácia rekonštrukcie VN Kuchyňa, ktorá pozostáva z budovania podzemnej tesniacej steny, rekonštrukcie koruny hrádze, vybudovania nových pozorovacích a meracích zariadení a rekonštrukcie poškodeného bezpečnostného priepadu, zabezpečí, aby nežiadúce javy ohrozujúce bezpečnosť vodnej stavby VN Kuchyňa boli eliminované.

Bratislava, 2019.

- [3] SIMANOVÁ, Iveta; KŐSZEGHY, Albert; Vodné dielo Kuchyňa – Etapová správa o dohľade počas trvalej prevádzky za obdobie rokov 2016-2019, Bratislava, 2020.

HISTORICKÝ VÝVOJ ZANÁŠENÍ HORNÍ NÁDRŽE VODNÍHO DÍLA NOVÉ MLÝNY

Zbyněk Zachoval

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb,
Laboratoř vodohospodářského výzkumu, Veveří 331/95, 602 00 Brno, tel. +420 541 147 290, zachoval.z@fce.vutbr.cz

Abstrakt

Příspěvek pojednává o historickém vývoji zanášení horní části horní nádrže vodního díla Nové Mlýny. Uvedeny jsou digitální modely terénu nádrže k roku 1978, 2008 a 2018 určené z měřených dat a historických map. Digitální modely terénu byly použity pro vyhotovení jednorozměrného numerického modelu simulujícího historický vývoj nánosů usazenin v nádrži včetně ovlivněných úseků toků Jevišovky a Dyje. Z digitálních modelů terénu byly stanoveny objemy nánosů usazenin v jednotlivých obdobích. Objemy nánosů sloužily ke kalibraci modelu. Numerický model simulující transport splavenin umožnil vyhodnotit změnu kapacity úseku nádrže a ovlivněných úseků toků v čase. Prezentovaná práce je dílčím výsledkem projektu INTERREG ATCZ28 – SEDECO.

Klíčová slova: horní nádrž VD Nové Mlýny; nános usazenin; numerický model; změna kapacity v čase.

Abstract

The contribution discusses the historical development of sediment deposition in the upper part of upper reservoir of the Nové Mlýny dam. Digital terrain (elevation) models of reservoir for years 1978, 2008 and 2018 determined from measured data and historical maps are presented. Digital terrain models were used to create a one-dimensional numerical model describing the historical development of the sediment deposition in the reservoir, including the affected sections of the Jevišovka and Dyje rivers. The volumes of sediment deposits in individual periods were determined from the digital terrain models. Deposit volumes were used to calibrate the model. A numerical model simulating the transport of sediments made it possible to evaluate the change in the capacity of the reservoir section and the affected river sections. This presented work is partial result of the project INTERREG ATCZ28 – SEDECO.

Keywords: upper reservoir of Nové Mlýny dam; deposition of sediments; numerical model; change of capacity in time.

Úvod a cíl

Vodní dílo (VD) Nové Mlýny (NM) se skládá ze tří nádrží, konkrétně se jedná o dolní, střední a horní nádrž (HN). HN VD NM je rozdělena na dvě části mostem (a jeho násypem) spojujícím Brod nad Dyjí a Pasohlávky (most Brod nad Dyjí). Dolní část je vymezena hrází HN VD NM a mostem Brod nad Dyjí, horní část je vymezena mostem Brod nad Dyjí a profilem soutoku Dyje s Jevišovkou. Právě až do profilu soutoku zasahuje vzduť nádrže při zásobní hladině. Celá horní část HN VD MN je bočně ohrazovaná. Dolní část nádrže je relativně široká a relativně hluboká a z hlediska transportu splavenin není do ní zaústěn žádný významný tok. Naopak horní část nádrže je relativně úzká a mělká a z hlediska transportu splavenin jsou do ní zaústěny dva významné toky Dyje a Jevišovka. Geometrický tvar horní

části nádrže a významný přísun splavenin přítoky předurčují její náchylnost k relativně rychlému zanášení.

Projevy zanášení dolní části HN VD NM nejsou zatím opticky patrné, ale projevy zanášení horní části nádrže jsou na první pohled viditelné. Nejvýznamnějším projevem je zarůstající série tří ostrovů (čtvrtý se postupně formuje) vzniklá z nánosů usazenin v úseku pod mostem spojujícím Drnholec a Novosedly (most Drnholec) (Obrázek 1). Nánosy se však tvoří v podstatně větším rozsahu, než je opticky pozorovatelné.

Nánosy způsobují zmenšení průtočného profilu a vyrostlá vegetace způsobuje zvětšení odporu pro proudící vodu. Uvedené má za následek, že se zmenšuje ochrana území za hrázemi nádrže. Nános navíc zmenšuje objem nádrže a látky v něm obsažené napomáhají ke zhoršení jakosti vody.

Cílem bylo vyhotovit digitální modely terénu (DMT), které by umožnily popsat postupný vývoj nánosů v horní části HN VD NM, pomocí jednorozměrného (1D) numerického modelu simulovat historický vývoj zanášení a kvantifikovat postupnou změnu míry ochrany území za hrázemi způsobenou zanášením nádrže a zarůstáním nánosů. Uvedené cíle byly součástí řešení projektu INTERREG ATCZ28 – SEDECO, z jehož zpráv [1–3] bylo čerpáno.

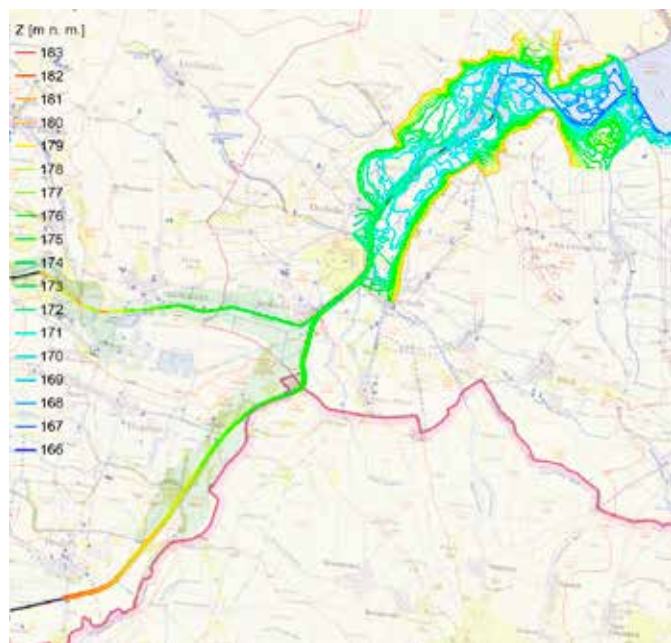


Obrázek 1. Zarůstající nánosy v horní části HN VD NM mezi mostem Brod nad Dyjí a mostem Drnholec (PM, 2015)

Metodika

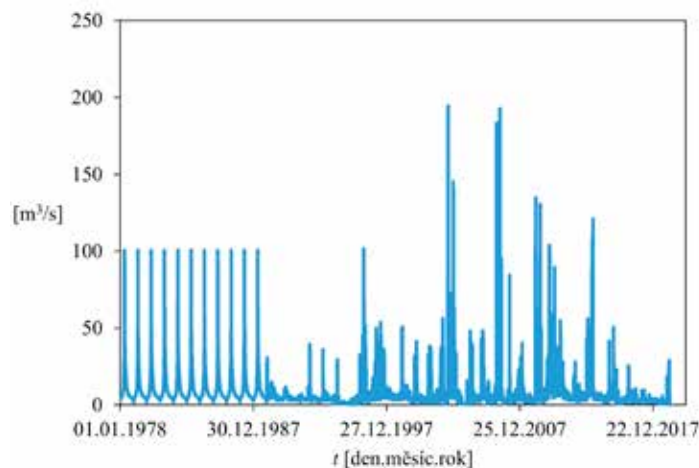
Pro vyhodnocení vlivu vývoje nánosů a jeho zarůstání vegetací bylo třeba vytvořit 1D numerický model simulující proudění vody a transport splavenin. Model vycházel z geometrických dat získaných z DMT, hydrologických dat a materiálových dat usazenin. Použita byla data Českého hydrometeorologického ústavu (CHMÚ), Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního (ČÚZK), Povodí Moravy, s.p. (PM), firmy VARS BRNO a.s. (VARS) a Vysokého učení technického v Brně (VUT).

Podkladovými daty pro vyhotovení DMT byly: digitální model reliéfu páté generace (DMR5G) (ČÚZK, 2018), historické mapy S-1952 (ČÚZK, 1952), fotografie současných nánosů (PM, VUT, 2015), letecké snímky (ČÚZK, 2008), podélný profil Dyje (PM, 1975), zaměření profilů koryta Dyje a nádrže (PM, 2008), zaměření koryta Jevišovky (PM, 2008), zaměření profilů v konci vzdutí (VUT, 2018) a zaměření povrchu dna nádrže (VARS, 2018). Reference zde nejsou z důvodu rozsahu příspěvku uvedeny. K vyhotovení DMT byl použit program SMS. Použity byly především DMR5G, historické mapy a zaměření, ostatní podklady sloužily k vymezení terénních hran. Jelikož byla zdrojová data prostorově a časově velmi proměnná, bylo nutné přijmout zjednodušující předpoklady pro jejich slučování a časové vymezení. Slučování probíhalo s definováním priority dle oblasti při zachování triangulace sítě. Časová proměnnost umožnila vyhotovení pouze tří DMT. Prvním byl DMT k roku 1978, kdy byla HN VD NM uvedena do provozu, což lze považovat za počátek zanášení a vztažný stav. Použity byly historické mapy S-1952 k popisu dna nádrže (digitalizace vrstevnic), podélný profil Dyje k popisu dna (generování dna koryta trasováním), zaměření koryta Jevišovky a DMR5G k popisu bočních ochranných hrází (předpoklad časové neměnnosti). Druhým byl DMT k roku 2008, který byl sestaven s pomocí zaměření příčných profilů koryt přítoků a nádrže a DMR5G popisující boční ochranné hráze. Mezi zaměřenými příčnými profilem bylo koryto vyhotoveno jejich interpolací s trasováním dle osy koryta. Třetím byl DMT k roku 2018, který byl sestaven ze zaměření profilů v konci vzdutí, zaměření povrchu dna nádrže a DMR5G. Vzhledem k rozsahu příspěvku je na Obr. 2 jako příklad uveden pouze sestavený DMT k roku 2018.



Obrázek 2. Digitální model terénu roku 2018

Hydrologická data byla převzata z hlásných profilů Božice, Hevlín a Trávní dvůr (ČHMÚ, 2019), denních průtoků v profilech Božice a Trávní Dvůr (ČHMÚ, 2018) a záznamů měření průtoků v profilech Hevlín a Hrušovany (PM, 1989 až 2019). Z důvodu absence změřených dat před rokem 1989 byly pro období 1978 až 1988 vygenerovány náhradní roční průtokové vlny [3] z čáry dosažení a překročení denních průtoků. Příklad hydrogramu Dyje je uveden v Grafu 1.



Graf 1. Hydrogram Dyje

Materiálové vlastnosti usazenin byly určeny z odběrů usazenin ze dna koryt toků (3 vzorky) a nádrže (5 vzorků) (VUT, 2018). Model byl zpracován v softwaru HEC-RAS. Použita byla usazovací rovnice Report 12, Thomasův model třídění částic v krycí vrstvě a kombinace transportní rovnice Meyer-Petera a Müllera (dnové splaveniny) s rovnicí Toffaletiho (plaveniny) [4].

Kalibrace modelu byla řešena dvoustupňově, zvláště pro proudění vody a zvláště pro transport splavenin. Ke kalibraci proudění vody byly použity změřené úrovně hladiny v hlásných profilech při známých průtocích (PM) a dříve kalibrovaný 1D model PM. Ke kalibraci transportu splavenin byl použit historický vývoj nánosů v nádrži daný zhotovenými DMT, dlouhodobé měření průtoku plavenin na Dyji v profilu Trávní Dvůr (ČHMÚ), zrnitost nánosů v nádrži (VUT) a měření průtoku splavenin na Jevišovce (VUT, 2019).

Simulace historického vývoje byla provedena ve dvou obdobích, prvním bylo období 1978–2008 a druhým 2009–2018. Pro vyhodnocení vývoje nánosů v nádrži byly zhotoveny rozdílové mapy DMT a z nich byly určeny objemy nánosů.

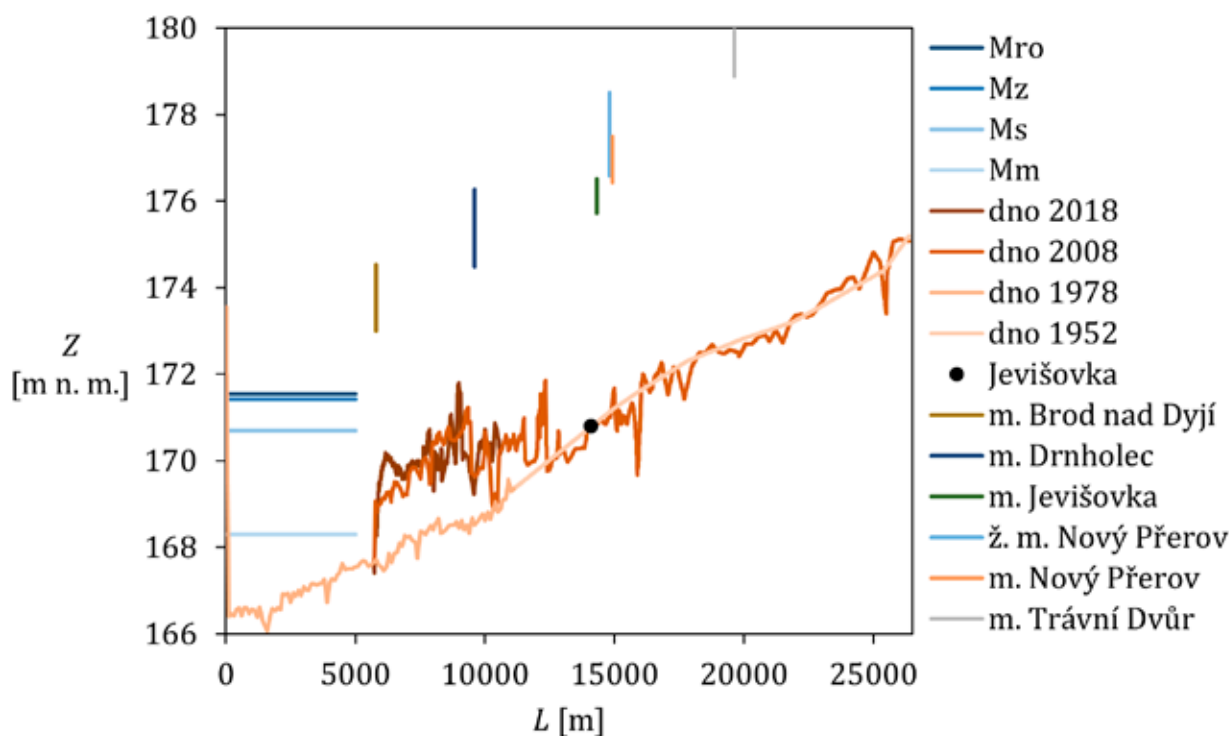
Výsledky

Hlavním výsledkem z měření je kvantifikace změny objemu nánosů v nádrži stanovená z DMT. Za období 1978–2008 se v horní části nádrže usadily splaveniny, které vytvořily nános usazenin o objemu 202 806 m³, což je průměrně v daném období 6 760 m³/rok. Za období 2009–2018 to byl objem 202 515 m³, což je průměrně 20 252 m³/rok. Vzhledem k relativně nízké přesnosti stanovení objemu nánosů v prvním období (značné zjednodušení při zhotovení DMT k roku 1978 a nahrazení skutečného hydrogramu v daném období průměrným), je třeba na tyto výsledky pohlížet jako na orientační. Přesnost stanovení objemu nánosů ve druhém období je významně větší. Uváží-li se pórovitost usazenin v nádrži hodnotou 0,4, pak průměrný roční objem splavenin transportovaný toky do horní části nádrže v období 2009–2018 byl 12 151 m³/rok. Numerický model simuloval hodnotu s 1% chybou oproti hodnotě stanovené z měření.

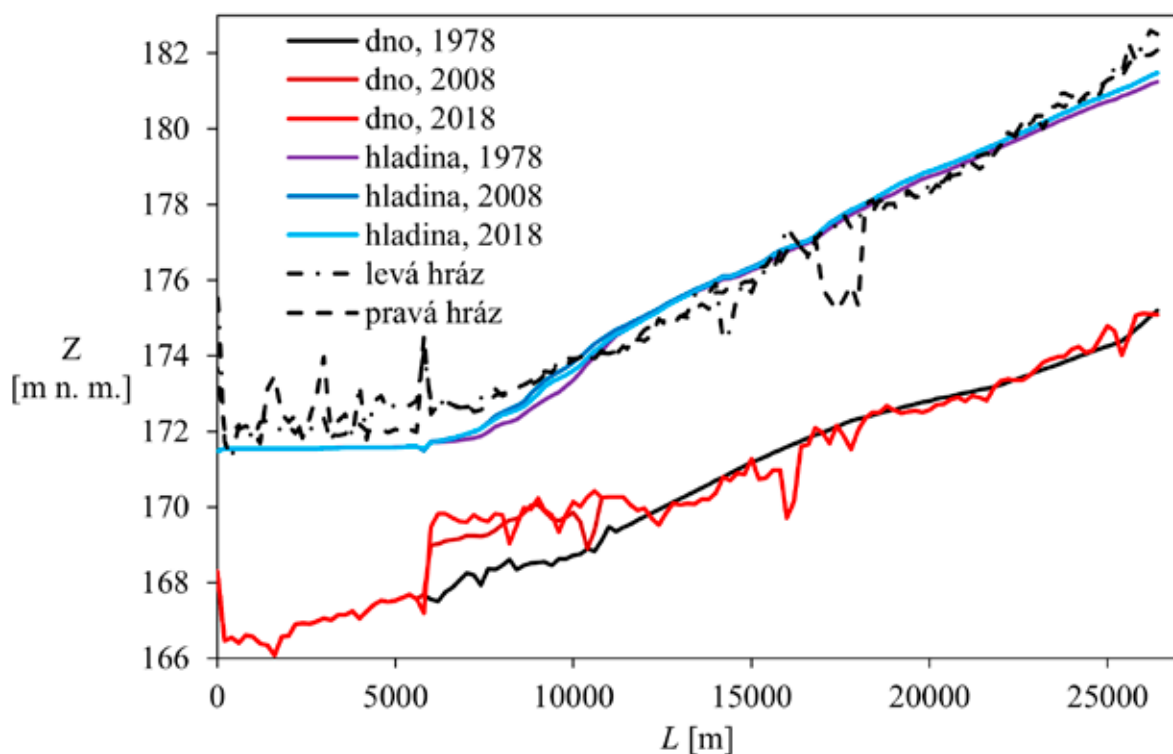
Mezi hlavní výsledky z měření lze považovat podélný profil vedený v ose koryta z roku 1952 s počátkem staničení v hrázi HN VD NM, který zobrazuje Graf 2. V něm Z značí úroveň (Balt po vyrovnání) a L lokální staničení, v legendě pak Mro je hladina

ovladatelného retenčního prostoru, Mz hladina zásobního prostoru, Ms hladina stálého nadržení a Mm hladina mrtvého prostoru. Graf je z důvodu přehlednosti doplněn mostovkami a přítokem. Z grafu vyplývá, že se tvoří charakteristický tvar nánosů delty. Nános v roce 2018 byl v rozsahu od mostu Brod nad Dyjí až po soutok s Jevišovkou. Sklon čela nánosů je poměrně strmý, což je dáno především existencí zúženého profilu mostu Brod nad Dyjí. Plošina nánosů má přibližně poloviční sklon oproti sklonu dna v daném úseku koryta před zřízením nádrže. Uvedené charakteristiky odpovídají běžným charakteristikám nánosů delt [4].

Hlavním výsledkem simulací je změna úrovně hladiny způsobená zanášením nádrže a zarůstáním nánosů. Pro představu je pro korytový model (model bez možnosti rozlití do inundačního území) vyobrazen v podélném profilu vývoj úrovně hladiny při střetu průtoku Q_{100} v Dyji s průtokem Q_{100} v Jevišovce (Graf 3.). Z něj vyplývá, že zásadní změny se odehrávají v úseku, kde se vytváří nános. Maximální změna úrovně hladiny je v okolí mostu Drnholec a dosahovala v roce 2008 0,54 m.



Graf 2. Vývoj úrovně dna v ose koryta z roku 1952, podélný profil



Graf 3. Vývoj úrovně hladiny stanovené 1D numerickým modelem, podélný profil

Závěr

Příspěvek dokumentuje historický vývoj nánosů usazenin v horní části HN VD NM. Uveden je postupný nárůst objemu usazenin v nádrži a podélný profil vyobrazující úroveň dna nejhlubší části nádrže při jejím uvedení do provozu. Určen byl průměrný roční průtok splavenin ve dvou sledovaných obdobích. Kvantifikována byla i změna úrovně hladiny z níž vyplývá, že se postupně zmenšuje míra ochrany území za hrázemi v úseku vzniku nánosů. Předpokládá se pokračování zanášení a snižování ochrany chráněného území.

Poděkování

Článek vznikl za podpory projektu ATCZ28 SEDECO „Sedimenty a ekosystémové služby ve vzájemném působení s povodněmi a suchem v pohraniční oblasti AT-CZ“, který je financován Evropským fondem pro regionální rozvoj INTERREG V-A AT-CZ.

Literatura

- [1] ZACHOVAL, Zbyněk. Periodická zpráva. MO4. Brno: VUT, FAST, ÚVST, LVV, 2018.
- [2] ZACHOVAL, Zbyněk. Monitorovací zpráva. MO5. Brno: VUT, FAST, ÚVST, LVV, 2019.
- [3] ZACHOVAL, Zbyněk. Monitorovací zpráva. MO6. Brno: VUT, FAST, ÚVST, LVV, 2020.
- [4] ZACHOVAL, Zbyněk. Splaveniny ve vodních tocích. Modul 01. Brno: VUT, FAST, 2017.

VYBRANÉ KVALITATIVNÍ UKAZATELE SEDIMENTŮ (PAU) VS LEGISLATIVOU NASTAVENÉ LIMITY

Jana Šulcová¹, Marek Baxa¹, Petr Hanzlík¹, Iva Baxová Chmelová¹, Jan Potužák²

¹ENKI, o.p.s., Třeboň, 379 01

²Povodí Vltavy, státní podnik, E. Pittera 1622/1, 370 01 České Budějovice 7

Abstrakt

Roku 2021 vešla v platnost nová vyhláška 273/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, která nahrazuje původní vyhlášku 294/2005 Sb. Přestože většina limitů umožňujících aplikaci sedimentu na povrch terénu, nově na zavážení, zůstala nezměněná, došlo k výraznému snížení limitu v případě koncentrace Polycyklických Aromatických Uhlovodíků (PAU). Porovnali jsme tedy data z 505 lokalit v rámci celé ČR s limitní hodnotou PAU stanovenou ve staré a aktuálně platné vyhlášce (starý limit 6 mg.kg⁻¹ v suš. vs. nový limit 0,05 mg.kg⁻¹ v suš.). Z provedené analýzy vyšlo, že více než 82 % hodnot překračuje nový limit 0,05 mg.kg⁻¹ v suš. PAU. Takto nízko postavený limit způsobuje řadu problémů týkajících se například zvýšení nákladů na rozbor sedimentů (požadavek na doplnění o testy ekotoxicity), prodloužení doby analýz a tím i komplikace v rámci následné těžby sedimentů.

Klíčová slova: PAU; sedimenty; legislativa; limity.

Abstract

Since 2021 the new decree 273/2021 was applied, which replaces the original decree 294/2005. Most of the limits remained unchanged. Significant reduction of the limit was in the case of the concentration of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons – PAH(s). We therefore compared data from 505 locations throughout the Czech Republic with the PAH limit value set in the old and currently valid decree (old limit 6 mg.kg⁻¹ DW vs. new limit 0.05 mg.kg⁻¹ DW). More than 82 % of values exceed the new limit 0.05 mg.kg⁻¹ DW. Such a low limit causes a number of problems. For example: an increase in the costs of sediment analyses (requirements for additional ecotoxicity tests) or an extension of the analysis time.

Key words: PAH(s); sediments; legislation; limits

Úvod a rešerše

Sedimenty jsou nedílnou součástí vodních ekosystémů – povrchových stojatých i tekoucích vod. V souvislosti s postupným zanášením toků a nádrží nabývají na významu. Nejvýznamnější cestou, kterou se sedimenty do vodních toků a nádrží dostávají je vodní eroze. Dle statistické ročenky VÚMOP [1] je u 18 % zemědělsky obhospodařovaných ploch dlouhodobá průměrná ztráta půdy vodní erozí nad 10t z 1ha za rok a pouze u 31 % ploch je ztráta menší než 1t/ha/rok. Transportované půdní částice a na nich vázané látky znečišťují vodní zdroje a zanášejí akumulární prostory nádrží, snižují průtočnou kapacitu toků, vyvolávají zakalení povrchových vod, zhoršují prostředí pro vodní organismy, zvyšují náklady na úpravu vody a těžbu usazenin [2]. Například objem sedimentů v českých rybnících se odhaduje na přibližně 200 mil. m³ [3]. O tento objem je snížena jejich akumulární schop-

nost. Sedimenty mají obecně velmi silnou schopnost vázat na sebe různé nežádoucí látky. To významně sťžuje možnosti s jejich nakládáním, případně následným využitím. Právní rámec ČR v zásadě nabízí čtyři možnosti využití sedimentů. Jedná se o uložení na ZPF (zemědělský půdní fond), na povrch terénu (zavážení), na skládku a jako vstupní surovina do kompostace.

V prvním případě musí sediment svojí kvalitou vyhovět vyhlášce č. 257/2009 Sb., o používání sedimentů na zemědělské půdě, která je součástí zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd. V zákoně č. 334/1992 Sb., Zákon České národní rady o ochraně zemědělského půdního fondu - § 3 - Používání sedimentů na zemědělské půdě jsou uvedeny podmínky, za jakých může být sediment na pozemky ZPF aplikován.

V druhém a třetím případě musí sediment svojí kvalitou vyhovět vyhlášce č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadu na skládky a jejich využívání na povrchu terénu, která je v současné době novelizována vyhláškou č. 273/2021 Sb. resp. vyhláškou 78/2022 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady (poslední novelizace se nedotkla podmínek nakládání se sedimenty z koryt vodní toků a nádrží).

Méně využívanou možností je ještě použití sedimentu jako vstupní suroviny do kompostů dle ČSN 46 5735.

Rozhodujícím ukazatelem pro možnost využití sedimentů je míra jejich kontaminace rizikovými prvky a organickými polutanty. Dlouhodobá data ukazují, že nejčastějšími polutanty, díky kterým sedimenty kvalitativně nevyhovují, jsou polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) [4]. Jedná se o velmi širokou skupinu látek vyznačujících se přítomností aromatických jader v molekule, které nenesou žádné heteroatomy a substituenty. Čisté sloučeniny jsou bílé nebo nažloutlé krystalické pevné látky. Převážná většina těchto látek je velmi málo rozpustná ve vodě, ale snadno se rozpouštějí v tucích a olejích [5]. Degradaci PAU popisuje řada publikací (např.: [6], [7]).

Polycyklické aromatické uhlovodíky jsou látky, které se ve většině případů cíleně nevyrábějí, snad až na výjimky, které jsou spojené s laboratorními výzkumy a analýzou (např. příprava standardů).

Polycyklické aromatické uhlovodíky pochází převážně z černouhelného dehtu. Vznikají jako meziprodukty při výrobě barviv, používají se jako slabě těkavá organická rozpouštědla. Jedná se tedy o látky obsažené v celé řadě běžných produktů dnešního průmyslu, vznikají též v rámci spalovacích procesů jakýchkoli materiálů obsahujících uhlík, pokud spalování není dokonalé. Tyto látky se velmi silně adsorbují na sedimenty ve vodách a ty proto působí jako určité rezervoáry. Problémy způsobují především v sedimentech návesních rybníků nebo rybníků pod čistírnami OV.

Polycyklické aromatické uhlovodíky patří mezi rizikové složky životního prostředí – pro vodu, půdu i ovzduší. Je to skupina látek, které mohou vyvolat rakovinu, poškození dědičných vlastností, mohou poškodit reprodukční schopnosti organismů, mohou poškodit plod v těle matky [8]. Jsou vysoce toxické pro vodní organismy a obecně mohou vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí [9].

Legislativa zabývající se možnostmi ukládání vytěženého sedimentu se neustále mění a sediment se stává velmi kontroverzním produktem, na který se hodí Nerudovská otázka „Kam s ním?“ Příspěvek si klade za cíl poukázat na potenciální důsledky nově nastaveného legislativního limitu u PAU v novelizované vyhlášce č. 273/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady.

Metodika

Příspěvek prezentuje výsledky vlastního dlouhodobého monitoringu sedimentů (převážně stojaté vody) realizovaného v letech 2011–2022 v rámci celé České republiky. Ve výsledkové databázi společnosti ENKI je doposud zařazeno 382 lokalit. Pro doplnění informací o kvalitě sedimentů byla navázána spolupráce se státním podnikem Povodí Vltavy (dále PVL), který poskytl soubor dat o kvalitě sedimentů z dalších 123 lokalit vzorkovaných v letech 2019–2021.

Výsledková databáze byla vedena v programu MS Excel. Grafické zobrazení výsledků (Column bar a Scatter plot graph [10]) bylo zpracováno v programu MS Excel a GraphPad PRISM [11]. Vyhodnoceny a porovnávány byly popisné statistiky – průměr a maximální hodnoty.

Hlavní otázky pro hodnocení byly následující:

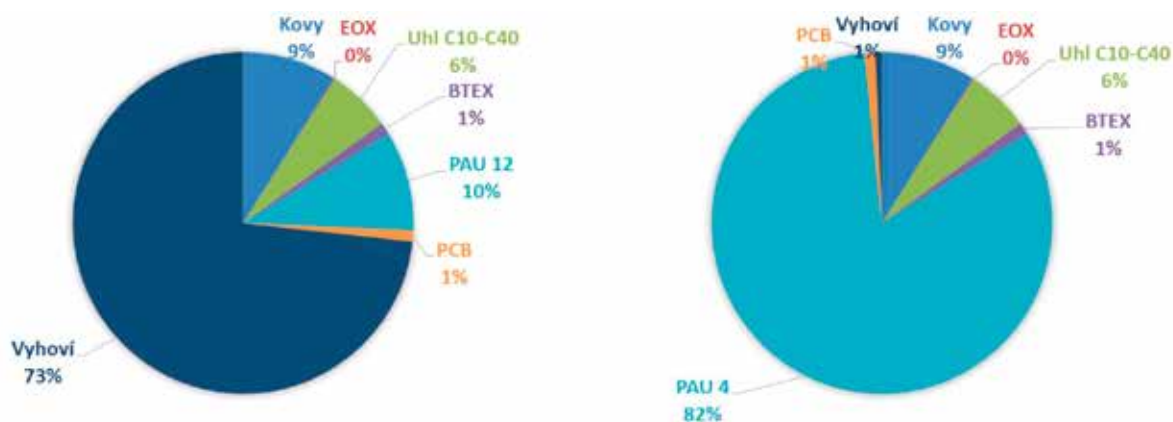
- 1) Jsou PAU typem polutantů, které nejčastěji překračují legislativní limity?
- 2) Nová legislativa zařazuje do hodnocení nově pouze čtyři kongenery, namísto původních dvanácti. Jsou tyto kongenery nejrizikovější, tj. nejčastěji nalézané?
- 3) Zvýší se procentuální míra překročení nevyhovujících vzorků po zavedení nového limitu 0,05 mg.kg.sušiny PAU.
- 4) Je prokazatelný rozdíl průměrných hodnot PAU mezi tekoucími a stojatými vodami?
- 5) Je prokazatelný rozdíl průměrných hodnot PAU mezi horním a dolním úsekem toku?

Výsledky a diskuze

Námi prezentované výsledky ukazují poměr mezi vyhovujícími a nevyhovujícími výsledky analýz sedimentů dle platné legislativy z celkem 505 lokalit. V grafech představujeme rozdíly u jednotlivých parametrů sedimentů stanovovaných dle vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a dle vyhlášky a nové vyhlášky č. 273/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady. Od roku 2005 byla v platnosti vyhláška č. 294/2005 Sb., která byla v roce 2016 novelizována vyhláškou č. 387/2016 Sb. Tato vyhláška upravovala podmínky pro další nakládání s vytěženým sedimentem (ukládání na povrchu terénu, využití k zavážení podzemních prostor, využití při uzavírání skládky k vytváření ochranné vrstvy kryjící těsnící vrstvu skládky a jako svrchní rekultivační vrstva skládky, nebo k rekultivaci vytěžených povrchových důlních děl – povrchové doly, lomy, pískovny).

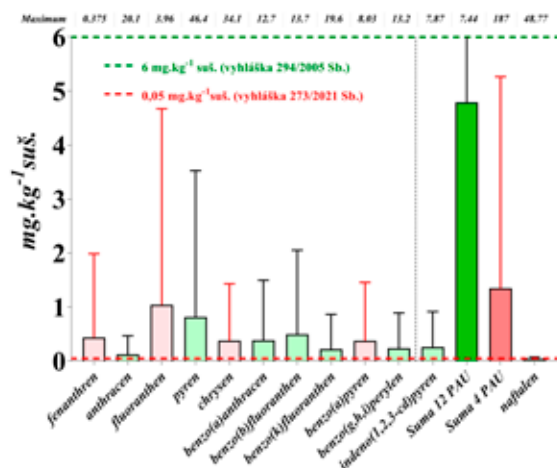
V novele z roku 2016 byl sediment oddělen od ostatního odpadu a byly pro něj vytvořeny speciální tabulky – tabulka č. 10.3 - požadavky na obsah škodlivin v sedimentech využívaných na povrchu terénu a tabulka č. 10.2 - požadavky na výsledky ekotoxikologických testů a stanovena podmínka použití: „sedimenty mohou být využity na povrchu terénu, pouze pokud obsahy škodlivin v sušině sedimentu nepřekročí nejvyšší přípustné hodnoty anorganických a organických škodlivin uvedené v tabulce č. 10.3 přílohy č. 10, s výjimkou případů, kdy jsou překročeny nejvyšší přípustné hodnoty anorganických a organických škodlivin u nejvyšší tří ukazatelů. V těchto případech mohou být sedimenty využity na povrchu terénu, pokud ve zkouškách akutní toxicity prováděných ekotoxikologickými testy v souladu se zvláštními právními předpisy, jsou splněny požadavky stanovené v příloze č. 10 tabulce č. 10.2 nebo č. 10.4.“

V roce 2021 vešla v platnost vyhláška č. 273/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, která upravila limitní hodnoty pro parametr PAU z 6 mg.kg⁻¹ v suš. na 0,05 mg.kg⁻¹ v suš. Ostatní parametry zůstaly stejné. V původní vyhlášce bylo sledováno celkem dvanáct kongenerů PAU a v současné legislativě jsou sledovány pouze čtyři kongenery. Pravděpodobným důvodem změny pouze u těchto polutantů byla skutečnost, že PAU se na nevyhovujícím výsledku podílí největší měrou (obr. 1).



Obrázek 1. Porovnání podílů vyhovujících a nevyhovujících vzorků (databáze ENKI, N = 505). Distribuce míry překročení limitních hodnot jednotlivých skupin polutantů vyhláška 294/2005 Sb. (levý graf – původní vyhláška) a vyhláška 273/2021 Sb. (pravý graf – nová vyhláška) podélný profil

S otázníky lze nahlížet na výběr 4 kongenerů a na výši nově stanoveného limitu. S nejvyššími průměrnými a maximálními hodnotami se z 12 kongenerů v sedimentech vyskytují fluoranthen a pyren (průměr 1,0417 a 0,818; max 46,4 a 34,1 mg.kg⁻¹ v suš.). Naopak nejnižší hodnoty jsou zjišťovány u naftalenu a anthracenu (průměr 0,04 a 0,126; max 0,375 a 3,96 mg.kg⁻¹ v suš.). Žádný z uvedených kongenerů se v sumě kongenerů, které jsou v novelizované vyhlášce posuzovány, (obr. 2). Domníváme se, že výběr kongenerů PAU v novelizované vyhlášce pravděpodobně více reflektoval počas jejich rozpadu nežli rizikovitost jejich výskytu. Suma 4 kongenerů je tak tvořena vysokomolekulárními PAU s polčasem rozpadu až 2 měsíce [7].



Obrázek 2. Porovnání 12 kongenerů a jejich podíl na celkové sumě PAU 12, řazeno dle počtu benzenových jader.

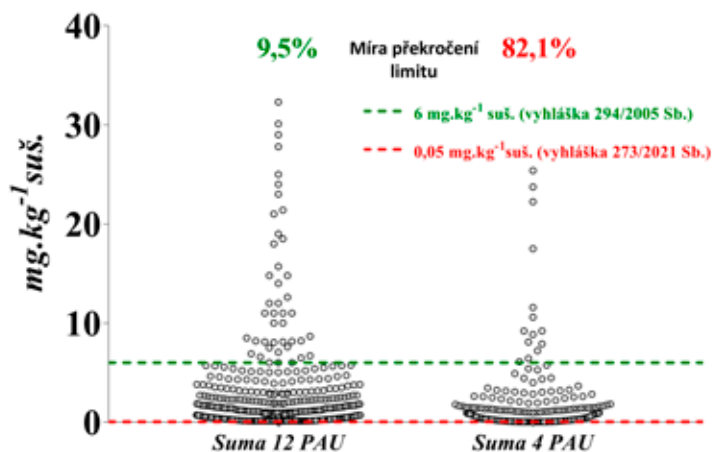
Červeně jsou označeny 4 kongenery PAU po novelizaci vyhlášky. Výška sloupce = průměr, výška úsečky = směrodatná odchylka, zelená čárkovaná čára = limit dle 294/2005 Sb., červená čárkovaná čára = limit dle 273/2001 Sb. (Data ENKI a PVL)

Nově nastavený limit 0,05 mg.kg⁻¹ v suš. je o dva řády nižší v porovnání s předchozím limitem. Grafické srovnání datového souboru (obr. 3) jednoznačně ukazuje, že míra překročení limitní hodnoty, i u nově nastavených 4 kongenerů, je vyšší než 80 %. To v konečném důsledku znamená, že v naprosté většině případů bude zapotřebí rozšířit analýzy o testy toxicity. Tím se zvyšuje jak časová, procesní tak i finanční náročnost rozborů.

Z nastaveného limitu logicky vyplývá ptát se na případné rozdíly v jednotlivých typech vodních ekosystémů, a zda lze tedy limit uplatňovat/vyžadovat plošně.

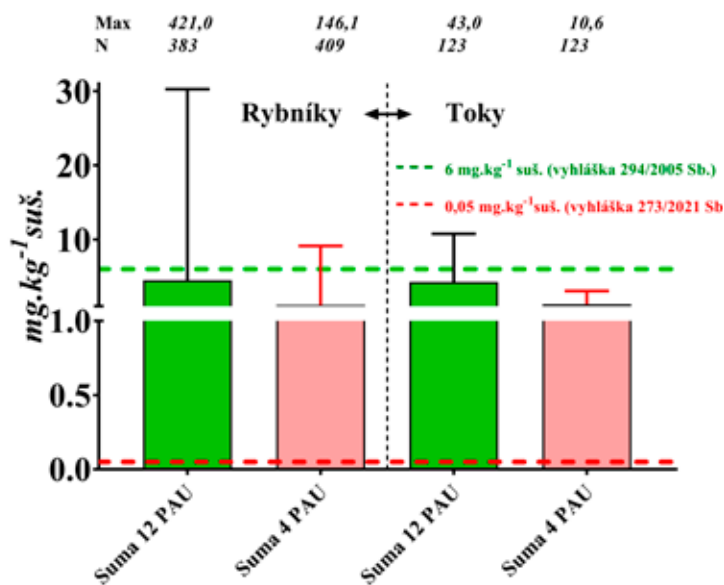
Jak ukazuje obrázek 4 mezi stojatými a tekoucími vodami nebyl v datovém souboru prokazatelný rozdíl. Totožné hodnoty vykazují sumy 12 i nově 4 kongenerů. Data jsou opět proložena konkrétními limity. Průměrné hodnoty sumy PAU 12 i PAU 4 na rybnících ani na tocích původní limit (6 mg.kg⁻¹ v suš.) nepřekračují, zatímco nový limit 0,05 mg.kg⁻¹ v suš. přesahují ve všech případech.

Obrázek 5 prokazuje, v porovnání s ostatními typy, nejvyšší míru zátěže na návesních rybnících. Ty bývají zpravidla vystaveny zátěži komunálního znečištění, případně neevidovaným historickým zaústením vod různého původu, případně atmosférickou depozicí (typicky lokální topeniště). Při snahách o revitalizaci/odbahnění většiny nádrží návesního charakteru tak lze s vysokou mírou pravděpodobnosti očekávat nadlimitní zatížení PAU.



Obrázek 3. Procentuální porovnání míry překročení limitních hodnot PAU 12 dle 294/2005 Sb. (zeleně) vs PAU 4 dle 273/2011 Sb. (červeně) Data ENKI a PVL (N = 505)

V novelizované vyhlášce byla zachována možnost využití testů ekotoxicity (v případě maximálně tří nevyhovujících parametrů). V případě testů ekotoxicity však došlo ke změně, kdy namísto testovaného organismu – ryba (*Poecilia reticulata*) byl zařazen testovaný organismus – bakterie (*Aliivibrio fischeri*) a salát (*Lactuca sativa*). Tato změna se promítla do zvýšení nákladů na prováděné testy ekotoxicity. Vypovídací schopnosti nově zařazených testovaných organismů je také diskutabilní.



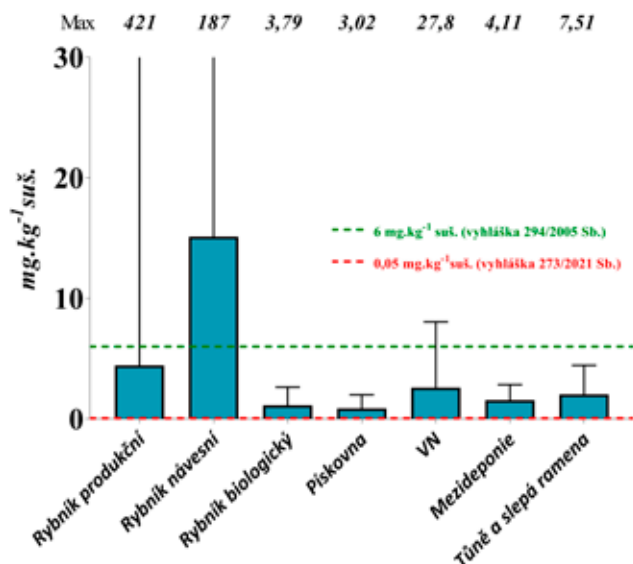
Obrázek 4. Rozdíl míry překročení limitních hodnot ve stojatých a tekoucích vodách. Data ENKI a PVL.

Závěr

Z výsledků je zřejmé, že polycyklické aromatické uhlovodíky jsou jednou z látek nejčastěji překračující limitní hodnoty výše uvedených vyhlášek, čímž způsobují problémy v oblasti dalšího nakládání s vytěženým sedimentem.

Nastavení limitních hodnot pro parametr PAU dle nové vyhlášky č. 273/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady způsobuje, že u převážné většiny vzorků je nutné provádět testy toxicity (až 80 % vzorků), což významně prodražuje chemické analýzy vzorků (téměř o 70 %, dle cenové kalkulace zkušební laboratoře ENKI, o.p.s.). Významné je také prodloužení doby provedení chemických analýz (minimálně o další dva týdny).

Tyto skutečnosti způsobují nemalé problémy především u zakázek vyžadujících sledování kvality průběžných vzorků, kde se potýkáme ještě navíc s problémem prostorovým v místě realizace stavby (uložení vytěženého a odvodněného materiálu do doby než budeme znát jeho kvalitativní složení a mít tak možnost s ním dále nakládat).



Obrázek 5. Rozdíl míry překročení limitních hodnot pro parametr PAU v různých typech stojatých vod. Data ENKI.

Literatura

- [1] *Statistická ročenka Půdní služby* [online]. [vid. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://statistiky.vumop.cz/?core=account>
- [2] KAPIČKA, Jiří, Daniel ŽÍŽALA, Jan LANG a Ivan NOVOTNÝ. *Monitoring eroze zemědělské půdy* [online]. Závěrečná zpráva. Praha: VÚMOP, SPÚ. 2021. Dostupné z: https://me.vumop.cz/docs/ZZ_monitoring_2021.pdf
- [3] GERGEL, Jiří, L. KOLÁŘ, V. ŠEDIVÝ a J. HŮDA. *Rybniční sedimenty, geneze, posuzování, odstraňování a další nakládání s nimi*. 2002.
- [4] BAXA, Marek, Jana ŠULCOVÁ, Lenka KRÖPFLOVÁ, Jan POKORNÝ a Jan POTUŽÁK. The quality of sediment in shallow water bodies – Long-term screening of sediment in Czech Republic. A new perspective of nutrients and organic matter recycling in agricultural landscapes. *Ecological Engineering* [online]. 2019, 127, 151–159. ISSN 0925-8574. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoleng.2018.11.009
- [5] MACKAY, Donald, Wan Ying SHIU, Kuo Ching MA a Sum Chi LEE. *Handbook of Physical-Chemical Properties and Environmental Fate for Organic Chemicals* [online]. 2. 2006. ISBN 978-0-429-15007-4. Dostupné z: <https://doi.org/10.1201/9781420044393>
- [6] GHOSAL, Debajyoti, Shreya GHOSH, Tapan K. DUTTA a Youngho AHN. Current State of Knowledge in Microbial Degradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs): A Review. *Frontiers in Microbiology* [online]. 2016, 7 [vid. 2021-05-28]. ISSN 1664-302X. Dostupné z: doi:10.3389/fmicb.2016.01369
- [7] HOLOUBEK, I. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs) v prostředí (translated to English: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the environment). *Czech Environmental Institute, Prague*. 1996.
- [8] CANCER, International Agency for Research on a OTHERS. Polynuclear aromatic compounds, part 1, chemical, environmental, and experimental data. *IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Man, IARC Scientific Publications*. 1983, 32, 33–451.
- [9] VELÍŠEK, Josef, Zdeňka SVOBODOVÁ, Jana BLÁHOVÁ, Jana MÁCHOVÁ a Alžběta STARÁ. *Vodní toxikologie pro rybáře*. 2. vyd. 2018. ISBN 978-80-7514-069-2.
- [10] WEISSGERBER, T. L., N. M. MILIC, S. J. WINHAM a V. D. GAROVIC. Beyond Bar and Line Graphs: Time for a New Data Presentation Paradigm. *PLoS Biol* [online]. 2015. Dostupné z: doi:10.1371/journal
- [11] PRISM. *GraphPad Prism* [online]. Windows. La Jolla California USA: GraphPad Software. 1992. Dostupné z: www.graphpad.com

POSOUZENÍ PODÍLU SEDIMENTŮ NA EUTROFIZACI NÁDRŽÍ A MOŽNOSTI NÁPRAVNÝCH OPATŘENÍ – PŘEDSTAVENÍ PROJEKTU

Jakub Borovec¹, Jiří Jan¹, Josef Krása², Barbora Jáchymová²

¹Biologické centrum AVČR, v.v.i., Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice, tel: +420387775877, jakub.borovec@bc.cas.cz

²České vysoké učení technické, fakulta stavební, Thákurova 2077/7, 166 29 Praha 6

Abstrakt

Cílem projektu je vytvoření moderního metodického přístupu ke stanovení vlivu sedimentů na jakost vody v nádržích. Cílem výzkumu je zjistit, které sedimenty, a ze kterých míst v nádrži ovlivňují zejména ve vegetačním období jakost vody nejvíce. Propojením oddělených přístupů v oborech hydromorfologie, hydrodynamiky, chemie a ekologie ekosystémů, včetně zjištění o imobilizaci železa organickými látkami, chceme docílit efektivního stanovení podílu sedimentů na živinovém znečištění vody.

Klíčová slova: eutrofizace, přítoková zóna nádrží, koloběh živin.

Abstract

The aim of the project is to create a modern methodological approach to determine the effect of sediments on water quality in reservoirs. The research aim is to designate, what kind of sediments and their placement, affect water quality the most, esp. in the growing season. By combining approaches in the fields of hydromorphology, hydrodynamics, chemistry, ecosystem ecology, incl. determination of immobilization of iron by organic substance, we want to determine the sediments share in nutrient pollution.

Keywords: eutrophication, inflow part of the reservoir, nutrient cycle

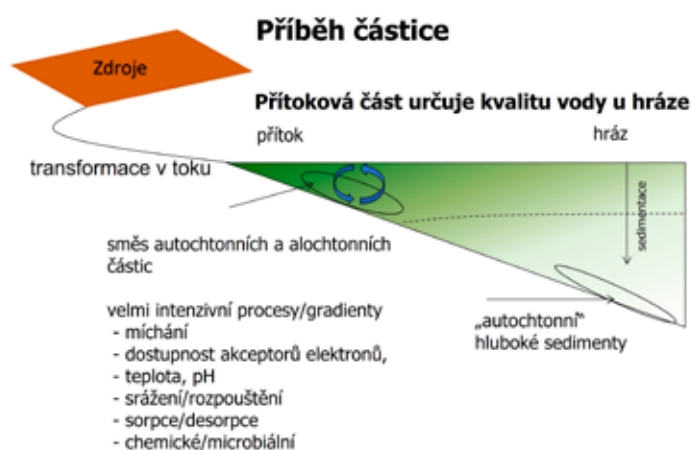
Úvod a rešerše

Sedimenty jsou jako úložiště allochotných i autochotných částic známy už téměř 100 let. Problematika sedimentů bývá řešena buďto z pohledu jejich objemu, pak jsou středem zájmu přítokové oblasti a ústí řek, nebo z pohledu uložených živin a znečištění, a tehdy jsou studovány sedimenty v hrázových/nehlubších částech nádrží a jezer. Na rozdíl od tradičních prací právě sedimenty z mělkých přítokových částí, které se dostávají do styku s produkční vrstvou vodního sloupce budou v tomto projektu nově považovány za klíčové. Význam sedimentů v nádrži je možné rovněž posuzovat v rámci celoroční látkové bilance, kdy negativní bilance značí zadržení látek, naopak pozitivní bilance uvolnění látek ze sedimentů. Tento způsob je vhodný pro dlouhodobá (řádově desetiletí) sledování vodních ekosystémů s dlouhou dobou zdržení vody, ale díky tomu, že nepostihuje sezónní ani místní detaily, není vhodný pro návrh opatření ke zlepšení. Navíc, z hlediska jakosti vod je zpravidla klíčové letní a pozdně letní období, kdy zejména v přítokových částech dochází k rozvoji řas a sinic a s tím spojenými negativními projevy eutrofizace (kyslíkové deficity, snížená upravitelnost vody). Nově proto navrhujeme vyvinout a otestovat přístup založený na porovnání stavu sedimentů z jarního období (sedimenty přes zimu stabilizované s malým přísunem čerstvé organické hmoty), se sedimenty z letního

období, které budou ovlivněny vyššími teplotami, čerstvou organickou hmotou, případným zaklesnutím hladiny nebo lokálními anoxiemi. Navíc se pokusíme částice sedimentu trasovat od místa jejich vzniku (eroze), přes případné obohacení živinami z bodových zdrojů v toku, až po jejich uložení v nádrži. Díky manipulačním experimentům bude možné nasimulovat efekt případných nápravných opatření, která budeme směřovat do oblasti zvýšení mineralizace sedimentů a zadržení živin (dodání akceptorů elektronů nebo přirozených vazebných partnerů pro retenci fosforu).

Postup prací

Jako stěžejní živina, ovlivňující procesy eutrofizace v podmínkách ČR, byl identifikován a snad již většinou odborné veřejnosti i akceptován, fosfor (P). Řešení projektu se zaměřuje na ropojení teoretických znalostí o jeho chemismu v sedimentech s reálnými podmínkami v různých typech nádrží s cílem jednotně popsat hodnocení rizik jeho uvolnění ze sedimentů zpět do vodního sloupce. Projekt kombinuje více přístupů, postihujících různé časové a prostorové škály, kdy snahou je postihnout jak dlouhodobé (geologické) „trendy chování“ sedimentů, vyplývající z mineralogického složení částic a jejich nabohacení fosforem například z komunálních ČOV, tak i krátkodobé události, které mohou v sedimentech způsobit odbourání retenčních bariér pro P, a zapříčinit tak jeho jednorázové (pulzní) uvolnění (Obrázek 1).



Obrázek 1. Schéma uspořádání procesů probíhajících na částicích v nádrži.

Z mineralogického hlediska je schopnost sedimentů zadržet P dána množstvím jeho přirozených vazebných partnerů, zejména železa (Fe), hliníku (Al) a vápníku (Ca). Z odborné literatury lze odvodit poměry vazebného partnera/P (Fe/P, Al/P,...) v různých rozsazích (např. pro Fe 2/1 až 40/1, mol/mol), ale není možné stanovit jednotnou hranici poměru, od které již k uvolňování nedochází. Jednou z příčin jsou jednak krátkodobě proměnlivé podmínky v systému sediment/voda a dále organická hmota různého složení, která buďto podporuje/přispívá k mikrobiální mineralizaci/stabilizaci sedimentu nebo ji „blokuje“. Z našeho dosavadního výzkumu vyplývá, že v závislosti na geologii povodí lze očekávat první nebo druhou variantu (data připravena k publikaci) a rozdíl mezi oběma krajními variantami je markantní.

Mezi krátkodobé události lze zařadit známé spouštěče uvolňování P jako jsou vyčerpání kyslíku nebo vyčerpání dusičnanů, nebo už méně často popisované mechanické disturbance, jako zaklesnutí hladiny nebo resuspenze sedimentů, doprovázené zvýšeným vyplavením látek z pórové vody sedimentů. Význam

těchto epizod závisí na době trvání, na jejich plošném rozsahu a „geologickém“ typu sedimentů (viz předchozí odstavec). Z uvedeného nicméně vyplývá, že být ve správný čas na správném místě je nezbytnou podmínkou úspěšného podchycení krátkodobých událostí, což je zpravidla možné při detailním hodnocení pouze jedné nádrže. V projektu bude tato skutečnost vyřešena provedením laboratorními manipulativními experimenty pomocí intaktních kórů sedimentů, při kterých budou simulovány podmínky vyčerpání kyslíku a/nebo dusičnanů a budou sledovány rychlosti uvolňování látek ze sedimentu a změny složení pórové vody.

Výsledkem takto uspořádaného sběru dat bude maximálně standardizovaný set údajů, které umožní zobecnění zjištěných informací na předpokládaném gradientu nádrží (vazebný partner, geologie, nadmořská výška, užití povodí, apod.). V tomto bodě naše snaha směřuje k možnosti extrapolace zobecněných zjištění i na další nádrže alespoň podobných vstupních vlastností jaké měly nádrže sledované.

Tabulka 1. Seznam vybraných nádrží.

Hodnoty pH a Ca pocházejí z databáze AZPP (UKZUZ, Brno), nadmořská výška představuje kótu zásobního prostoru, HRT je hydraulická doba zdržení převzatá z Metodiky hodnocení ekologického potenciálu HMWB a AWB – kategorie jezero

Nádrž	pH	Ca	Nadm. výška	HRT
		µg/g	m n.m., B.p.V.	rok
Seč I	5.2	1393	487	0.21
Hamry	5.3	1275	580	0.06
Lučina	5.4	1520	533	0.13
Stanovice	5.5	1588	513	0.24
Vír I	5.5	1606	465	0.42
Římov	5.5	1498	471	0.23
Boskovice	5.6	1758	430	0.63
Hracholusky	5.6	1599	354	0.14
Vranov	5.7	1773	349	0.42
Žlutice	5.7	1840	507	0.29
Vrchlice	6.0	1928	324	0.59
Ludkovice	6.0	1977	284	0.31

V podmínkách ČR je pravděpodobně nejlepším zdrojem plošných dat pro odhad „mineralogického“ chování částic v povodí databáze AZPP udržovaná Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským (UKZUZ). V součinnosti s MZe byla pro přípravu projektu poskytnuta data za poslední šestiletí, na základě kterých, byly klasifikovány podmínky v povodí vodních nádrží, jež by teoreticky přicházely v úvahu pro řešení. Dále byly požádáni zástupci podniků Povodí o vytipování nádrží, které by mohly „mít problémy se sedimenty“, nebo u kterých předpokládají jejich významný vliv. Průnikem obou množin nádrží je výběr 12 nádrží (Tabulka 1), které zohledňují jednak pomyslnou škálu přirozených vazebných partnerů (Fe/Al – Ca), dále nadmořskou výšku, s ní spojené i využívání povodí, složení organické hmoty a zpravidla i nároky na nádrž z hlediska odběru vody.

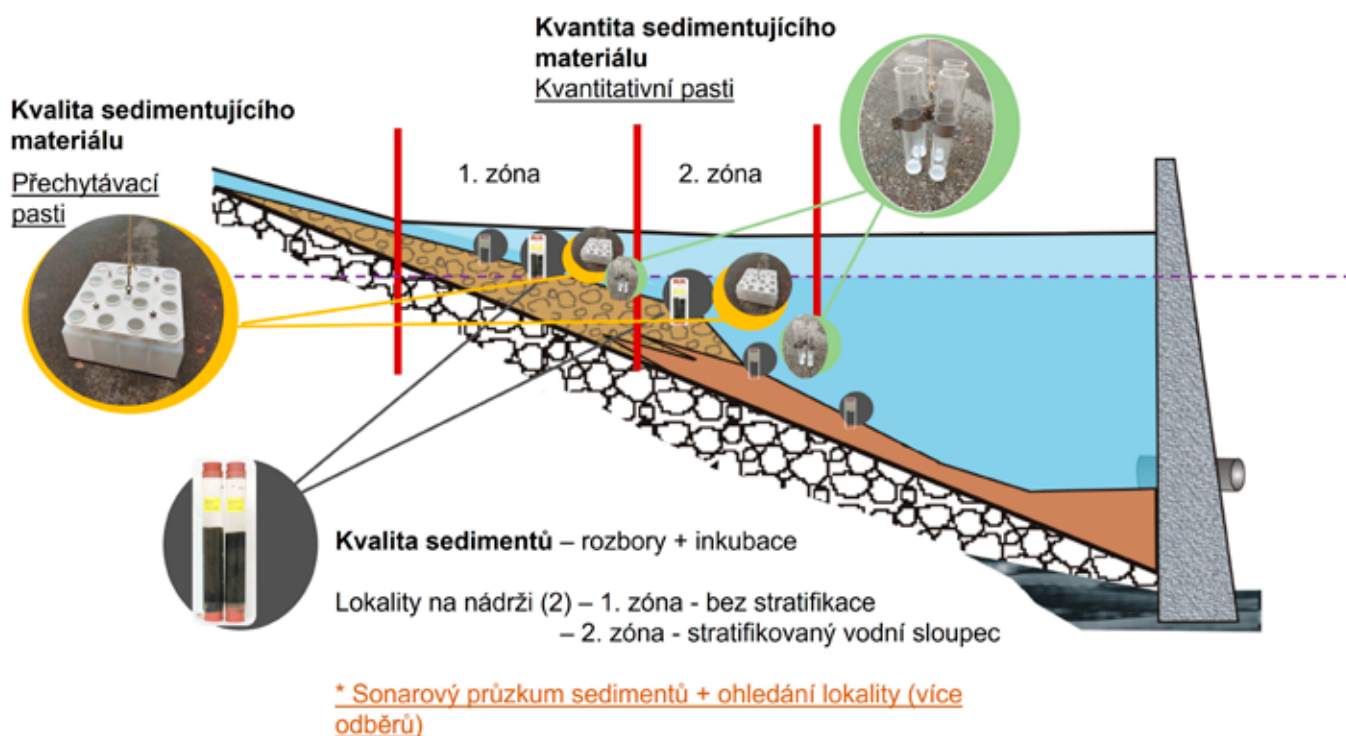
Na vybraných nádržích budou paralelně probíhat čtyři typy sledování:

1) Změny složení částic na gradientu zdroj (pole) – transformace (řeka/tok) – usazení (nádrž). Za tímto účelem budou záhy po zahájení projektu instalovány do přítoků (co nejbližší ke vzduť) dnové sedimentační pastě, s frekvencí sběru vzorků 1 měsíc. V přítokových částech nádrží budou na základě kolísání hladiny z předchozích let a na základě teplotní stratifikace vodního sloupce (ať už od hráze nebo lépe z podélných profilů) identifikovány dvě zóny (bez a se stratifikací) pro instalaci přechytávacích sedimentačních pastí s krátkou expozicí pro seston, a pro odběr vzorků sedimentů k analýzám a manipulativním experimentům (Obrázek 2). Instalaci a sběr pastí předpokládáme v intervalu 1 měsíc s expozicí 24 hodin. Odběry sedimentů v jarním období (před rozvojem fytoplanktonu) a v průběhu léta. Pro doplnění cesty částic budou v průběhu léta odebrány a analyzovány částice ze zdrojových oblastí povodí, identifikovaných na základě detail-

ního erozní/sedimentačního modelu (Watem/SEDEM). Ze změn složení částic bude možné jasně identifikovat zda, a v jaké míře dochází k nabohacení částic fosforem (například z bodových zdrojů), zda a v jakém okamžiku dojde k překročení „limitního“ poměru vazebný partner/P, jaký je rozdíl mezi složením sestonu a svrchní vrstvy sedimentu (seston je zpravidla bohatší na P než sediment a rozdíl je uvolněn do vody).

2) Změny složení částic a pórové vody ve vertikálním profilu sedimentů. Ze složení částic, zejména pak zastoupení jednotlivých frakcí P, Fe a Al, zjištěných metodou postupné frakcionace, lze odvodit jednak množství potencionálně uvolnitelného P, a dále ze změn zastoupení jednotlivých frakcí i procesy probíhající uvnitř sedimentů. Nově zavedeným a důležitým parametrem zde

bude složení organické hmoty extrahované do jednotlivých frakcí a rozdělení pomocí FTIR na látky „aromatické“ (širokou skupinu podporující sorpci P a stabilizaci sedimentů) a „alifatické“ (skupina látek bránící Fe účastnit se oxidačně-redukčních a sorpčních procesů). Složení pórové vody je na pracovišti navrhovatele zjišťováno DET (diffusive equilibration thin gel) metodou, při kterém se složení získává jejím „difúzním otiskem“ na proužek polyakryamidového gelu. Díky dvojí extrakci, nejprve do vody, následně do kyseliny, lze získat spolehlivou informaci o množství P okamžitě uvolnitelného ze sedimentů a zároveň o přítomnosti a množství Fe uvolnitelného společně s P. Nedílnou součástí stanovení jsou i informace o vertikálních profilech akceptorů elektronů (NO_3^- , SO_4^{2-}) nebo koncentracích amonných iontů jakožto indikátoru rozkladných procesů.



Obrázek 2. Schéma uspořádání odběrů a instalace odběrných zařízení

3) Inkubační experimenty intaktních kórů pro zjištění rychlosti uvolňování/spotřeb látek za in-situ podmínek a pro provedení manipulativních experimentů simulujících například vyčerpání kyslíku nebo dusičnanů. V případě jejich nízkých koncentrací už v nádrži bude simulována opačná situace. V průběhu experimentů budou sledovány změny koncentrací P a forem dusíku ve vodě nad sedimentem a po skončení experimentu budou zjištěny změny ve složení pórové vody.

4) Identifikace a kvantifikace významu zdrojových oblastí erozních částic. Součástí řešení bude upřesnění dříve publikovaného vztahu (odvozeného řešitelským kolektivem) mezi fosforem dostupným v půdě dle dat AZPP a rizikovostí sedimentů pocházejících z ploch s vyššími/nížšími koncentracemi P rovněž v závislosti na fyzikálně/chemickém složení daném geologií řešených povodí a dlouhodobé koncentraci rozpuštěných forem fosforu z komunálních a jiných zdrojů. Analýza sedimentů zachycených během nejvýznamnějších epizodních událostí v průběhu sledování nádrží v porovnání se sedimentem transportovaným do nádrží při „běžných hydrologických průbězích“, monitorova-

ních sezón napomůže odhalení významu konektivity sedimentu v řešených povodích a efektivním návrhům na ochranu zejména před rizikovější formou sedimentu (viz předchozí odstavce).

Shora uvedené čtyři skupiny sledování a modelování budou v průběhu prvních dvou let prováděna vždy na jedné šesti nádrží, kdy, při realizaci předpokládáme i částečnou technickou asistenci ze strany hrázných (lodě, přístupy). Ve třetím roce budou na základě zjištěných skutečností navrženy a provedeny experimenty se sedimenty zvyšující jejich schopnost biochemickou stabilitu a schopnost lépe zadržovat P. K experimentům budou vybrány sedimenty, u kterých bude zjištěn nejvyšší podíl obohacení P oproti zdrojovým plochám a také ty sedimenty, u kterých bude sorpční funkce Fe jeho vazbou s „alifatickými“ sloučeninami. V experimentech předpokládáme využít mechanismus vnosu akceptorů elektronů do sedimentu, například vnosem sloučenin Fe a/nebo dusičnanů do homogenizovaného materiálu a sledování kinetiky změn frakčního složení. Jednou z variant bude rovněž vysušení a prokysličení vzdušným kyslíkem.

Seznam metod/přístupů, které budou v rámci projektu použity, i když doposud nebyly zmíněny v textu:

Terénní měření a odběry

- fyzikálně chemické vlastnosti v přítoku a vody nad sedimentem – svislice multiparametrickou sondou v místech odběru sedimentů.
- odběry vzorků vody v přítoku, hladina, dno v místech odběru sedimentů. Na základě předběžné domluvy předpokládáme aktivní zapojení zaměstnanců Povodí (odběr vzorků, technická asistence).
- bathymetrie dna sonarem a mocnost sedimentů vpichovací sondou
- fotogrammetrické vyhodnocení sedimentačních zón a mocností sedimentu
- podrobné modely povrchu sedimentu na vtoku do nádrží (v závislosti na stavu hladiny)
- instalace pastí – přítok + 2x nádrž
- odběry vzorků sedimentů 2x nádrž
- odběry půd ze zdrojových ploch

Sedimenty, pastí, zdrojové částice

- granulometrie
- celkové obsahy vody, organické hmoty a vybraných makroprvků ve vertikálním profilu
- postupná frakcionace P, Fe, Al, C
- výluh dle Mehlicha 3
- výluh destilovanou vodou oxickou/anoxickou
- sorpční isoterma pro P v horní vrstvě sedimentu a pastech
- složení pórové vody metodou DET gelových minipeeperů

Inkubační experimenty – in-situ podmínky a varianty (viz text)

- rychlosti uvolňování stanovené na základě změn koncentrací látek ve vodě nad sedimentem
- změny složení pórové vody metodou DET gelových minipeeperů a výpočet rychlostí uvolňování dle 1. Fickova zákona

Manipulativní experimenty

- celkové obsahy vody, organické hmoty a vybraných makroprvků ve vertikálním profilu
- postupná frakcionace P, Fe, Al, C
- výluh dle Mehlicha 3
- výluh destilovanou vodou oxickou/anoxickou
- sorpční isoterma pro P v horní vrstvě sedimentu a pastech

Poděkování

Príspevek a s ním související práce je možné realizovat díky podpoře projektu NAZV: QK22020179 „Posouzení podílu sedimentů na eutrofizaci nádrží a možností nápravných opatření“.

OSUD FOSFORU Z KOMUNÁLNÍCH ZDROJŮ NA PŘÍKLADU POVODÍ VN ŠVIHOV

Daniel Fiala

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Podbabská 30, 160 62 Praha 6,
tel. +420 220 197 348, daniel.fiala@vuv.cz

Abstrakt

V letech 2018–19 jsme kromě produkce fosforu v deseti vybraných obcích v povodí VN Švihov měřili jeho retenci bezprostředně pod nimi. Posledním článkem v řetězci bylo měření retence na třech vybraných tocích (úseky 1,5 km) od bodových zdrojů značně vzdálených, kde byla měřena doba dotoku za různých průtoků. Tím jsme získali reálnou představu o čase, který mají „k dispozici“ všechny důležité fyzikální, chemické i biologické procesy, tj. sedimentace, adsorpce i uptake. Odlišná velikost a vodohospodářská infrastruktura (přítomnost septiků nebo ČOV) má významný vliv na emise fosforu, rozhodující jsou ale hydrologické podmínky, kdy sledování probíhá. Měření ve 24-h schématu provedená v různých částech hydrologického roku doplněná o měření retence ve „volné přírodě“ tak podrobně mapují osud fosforu v povodí. Získané výsledky jsou *in concreto* vstupem do bilančního modelu zatížení VN Švihov fosforem s možným zobecněním pro ČR. *In abstracto* jsou ale smutným dokladem, jak málo jsme za půl století pokročili při řešení eutrofizace vodních ekosystémů klíčovým prvkem - fosforem.

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

Abstract

During the 2018–2019 we measured phosphorus production in ten municipalities within three 24h period of diverse discharge. Together with production, we also measured retention in the immediate surrounding downstream. In the final task for budget model, we measured phosphorus retention in free flowing streams (1.5 km long stretches). Differences in population size and wastewater treatment infrastructure as a village or town predictable characteristic affect daily and specific production of phosphorus. But determining factor remains discharge or hydrological conditions in general. Our results provide in concreto basic dataset of emission range and dispersion for further modeling. In abstracto they clearly show our swelling debt we have in the solution of eutrophication problem over the half of century

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

Úvod

Fosfor je klíčová živina, která v podmínkách ČR určuje míru negativních důsledků eutrofizace vod. Z dlouhodobého výzkumu biogeochemických procesů a mnoha bilančních studií jednoznačně plyne, že hlavní podíl na eutrofizaci vod má fosfor z komunálních, resp. bodových zdrojů. Zdejší dlouhodobě praktikovaný přístup zdánlivé benevolence až ignorování této rozhodující role

fosforu vede nejen k formálnímu selhávání v neplnění hlavních environmentálních cílů Rámcové směrnice pro vodní politiku, ale hlavně k setrvalému a dlouhodobému zatěžování a poškozování vodních ekosystémů, tj. našich potoků, řek, rybníků a přehrad. Nejmutnější a hlavně tragickým symbolem tohoto společenského postupu je opakovaně hynoucí společenstvo ryb na dolní Dyji, tedy v jednoznačně nejteplejším a téměř nejsušším a koutě státu. Chronickou, ale celoplošnou manifestací našeho zjevného selhání jsou každoroční masové květy sinic s kyslíkovými deficity na stojatých vodách. Dokladem téhož na tekoucích vodách jsou rozsáhlé povlaky sirných bakterií sycené nedostatečně čistěnými odpadními vodami a hlavně málo zředěnými splašky pod stovkami drobných obcí. Bohužel tyto úseky vlasečnic a potoků jsou systémově mimo pozornost vzorkování. Jevem zřejmě nejvíce přehlíženým, a stále máme na paměti fosfor, je postupné a dlouhodobé vyhnívání organické hmoty v nespočetných nadezech malých i velkých řek.

Na rozdíl od uhlíku a dusíku, které si mohou najít a také nacházejí cestu do atmosféry, ať řízeně v čistírně odpadních vod nebo samovolně v sedimentech, tak fosforu, který se jednou do vody dostane, se takto snadným způsobem nezbavíme. Jedinou technologickou cestou je tedy jeho odstranění z vodního cyklu buď ve formě čistírenského kalu, nebo tradičním vyvážením septiků, pomineme-li suchý záchod. Jakmile jednou vstoupí do toku, bude dříve či později účasten krátkého a rychlého transferu mezi vodou a sedimenty a bude také střídat rozpuštěnou a partikulovanou formu. Zkrátka se stane předmětem tvorby a rozkladu biomasy, která je ale v této míře řekám škodlivá. Tato retence v širším smyslu je zcela přehlížený parametr a absence jejího měření může podstatným způsobem ovlivnit naše rozhodování o nakládání s odpadními vodami obecně a s fosforem zvláště.

V našem výzkumu odehrávajícím se v jednom z nejlépe obhospodařovaných a také nejdůkladněji sledovaných povodí, neboť v něm leží největší vodárenská nádrž v ČR, jsme sice primární pozornost věnovali farmakům a pesticidům, ale problematiku eutrofizace jsme rozhodně nepominuli. Tento příspěvek navazuje na předchozí části a jeho hlavním cílem je doplnit výsledky z bilančování produkce bodových zdrojů prohloubením o měření retence fosforu v navazujících partiích říční sítě.

Cílem práce bylo v rámci 24-h sledování změřit a vypočítat bilanci fosforu na úsecích potoků bezprostředně navazujících na sídla a dále odhadnout retenci v přirozených úsecích tří větších potoků nebo říček, ale již značně vzdálených od bodových zdrojů znečištění.

Materiál a metody

Protože článek navazuje na předchozí práci [1] a uplatňuje stejné postupy, bude zde metodika uvedena jen v nejstručnější formě. Tři série vzorkování (2018-19) pokryly hydrologickou a termální variabilitu roku (jaro, léto, podzim). V deseti obcích (15 000–65 obyvatel) byly sledovány profily na kanalizaci. V přítomnosti ČOV (5 obcí) to znamenalo přítok a odtok na ČOV,

v případě obce vybavené pouze septiky a jímkami (5 obcí) to znamenalo pouze výustí VK. V přítomnosti biologického rybníku (5 obcí) byl zařazen další profil na jeho odtoku. Pod každou obcí v jakémkoli uspořádání byl poslední profil měření umístěn na potoku (10) pod obcí tak, abychom měli k dispozici co nejdelší úsek a zároveň, aby byl bez významného přítoku z boku, tj. bez ředění. Výjimkou je Pelhřimov, kde dva biologické rybníky pod ČOV ústí přímo do říčky Bělá a nebylo tak technicky proveditelné retenci v toku měřit stejnou metodou.

Vzorkování pomocí autosamplerů (ISCO 6712) probíhalo v režimu 4x15' na jednu vzorkovnici z 24 celkem. Směsný 24-h vzorek byl sléván rovným dílem ze všech vzorkovnic. Vzorkování bylo spojeno s automatickým měřením konduktivity (5') a výšky hladiny na měrném přelivu (1') po celou 24h periodu. V dílčích a směsných vzorcích byl krom jiných parametrů stanoven celkový fosfor a amoniakální dusík. Analýzy (ZCHR) byly provedena v akreditované laboratoři VÚV T.G.M.

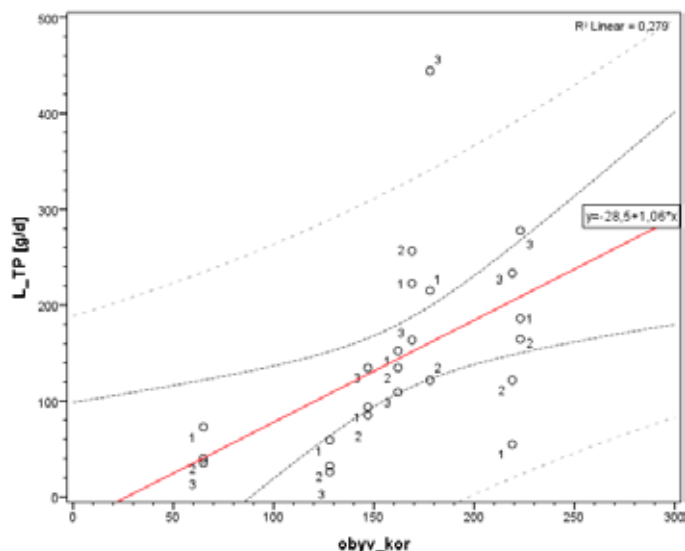
V roce 2019–20 jsem měřil retenci fosforu na tocích ve „volné přírodě“, tj. co nejvíce vzdálených od rozhodujících bodových zdrojů. S ohledem na primární cíl projektu, tedy farmaka, kdy jsme mapovali situaci pod třemi největšími sídlami v povodí, resp. v tocích pod nimi se nalézajícími, tj. pod Pelhřimovem, Pacovem a Čechticemi, byly k měření vybrány tři toky, tj. Bělá, Kejtovský a Čechtický potok. Provedl jsem pět opakovaní odběrů prostých bodových vzorků (začátek a konec úseku) doprovozených paralelním měřením doby dotoku pomocí roztoku NaCl a to v období 5. IX. 2019 – 26. VI. 2020. Snahou bylo zachytit toky za co nejrůznějších vodních stavů. Na všech třech potocích byly vymezeny stejně dlouhé úseky (1,5 km), aby došlo ke sjednocení v předem dostupném parametru. Vodivost byla měřena na třech až pěti profilech, včetně pozadí pomocí sond HACH s automatickým ukládáním dat (HQ40d, interval 1'). Spolu s bodovým odběrem vzorků a měřením doby dotoku proběhlo podle možností i měření průtoku hydrometrováním (FlowTracker®, pouze

3x) na začátcích a na koncích úseků. Během měření byla sledována hladina pomocí tlakových čidel a získaná data byla podle možnosti porovnávána se záznamy z nejbližších limnigrafických stanic. Protože odběr vzorků byl kvůli farmakům a z časových důvodů prováděn jinou skupinou, probíhal přednostně a naráz, tj. časově nezávisle na měření doby dotoku, které se protáhlo někdy až do druhého dne nebo výjimečně i třetího dne.

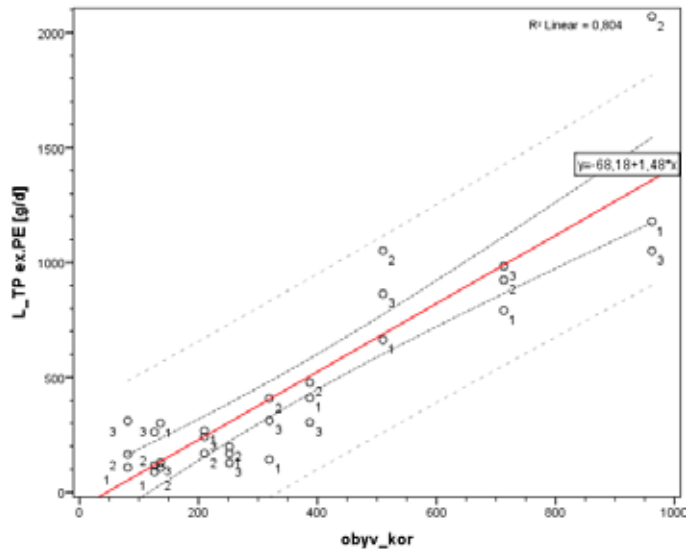
Vzhledem k překvapivě dlouhým dobám dotoku při nejnižších průtocích jsem se rozhodl, že alespoň dodatečně přímo proměřím doby dotoku také na úsecích potoků pod devíti dříve sledovanými obcemi, tedy vyjma Pelhřimova. Měření proběhlo pouze dvakrát v období 5.–7. VIII. a 2.–4. XII. 2020. Vzhledem k malé vzdálenosti byly konduktometry HACH (interval 5'' až 1') instalovány pouze na začátku a na konci sledovaného úseku. Zároveň s tlakovými sondami byly průtoky na obou koncích několikrát bodově proměřeny.

Výsledky a diskuse

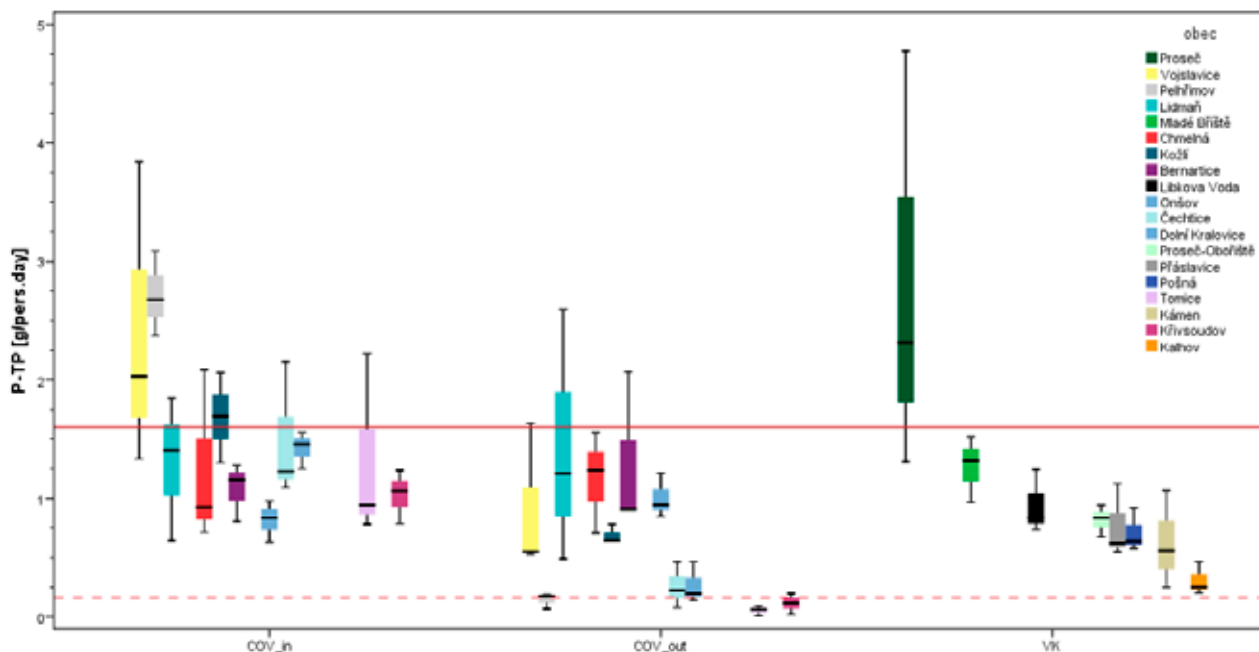
Z předchozích výsledků (2017) měření denní produkce obcí vybavených pouze septiky (VK) je sice závislost na velikosti obce (65–219 obyv.) dobře patrná (graf 1), ale značný rozptyl dat musí vést k opatrnosti při modelování velkého počtu neměřených obcí. Vedle toho stejná analýza ukazuje jasnou a překvapivě úzkou závislost u obcí vybavených čistírnou (ČOV). Z analýzy (graf 2) sice musel být vyloučen Pelhřimov (15410 obyv.), který by jako velikostní extrém regresní rovnici i korelační koeficient neúměrně ovlivňoval, resp. zlepšoval, ale obsažené rozmezí velikostí (100–1000 obyv.) umožňuje suverénní interpolaci i v obcích mimo povodí, ne-li v celé ČR. Uvedený rozptyl by se měl stát předmětem samostatného modelování např. havarijních scénářů nebo v rámci tzv. zátěžových testů.



Graf 1. Denní produkce fosforu v závislosti na velikosti sídla v obcích s VK, data 10 obcí z 2017



Graf 2. Denní produkce fosforu v závislosti na velikosti sídla v obcích s ČOV (bez Pelhřimova), data 9 obcí z roku 2017



Graf 4. Specifická denní „produkce“ fosforu v obcích na přítoku a odtoku z ČOV a VK.
Vyznačená konstanta 1,6 gP/os.den (plná čára) a hypotetická 90% účinnost odstranění fosforu (přerušovaná čára)

ve „volné přírodě“, došlo k rozhodnutí „alespoň paralelně s odběrem vzorků změřit dobu dotoku“.

Z měření retence na 1,5 km dlouhých úsecích Bělé, Kejtovského a Čechtického potoka můžeme pouze předběžně vyvodit, že odběrem prostých bodových vzorků v jednom okamžiku nelze dospět k uspokojivě přesným hodnotám retence v rozmezí takto nízkých koncentrací. Pravděpodobným důvodem je násobný rozdíl v době dotoku, zatímco koncentrace se na daném úseku mění výrazně méně, resp. chyba ve stanovení je téměř stejně velká jako naměřený rozdíl. Tato chyba v předpokladu se mj. naplno projevila při orientačních pokusech změřit retenci farmak na třech vybraných rybnících, kdy výsledkem párových vzorků z několika „stejných dnů“ byl naprosto chaotický souběh zjevně nesouvisejících „koncentrací“.

Z opakovaných měření, a to jak na dlouhých úsecích „volné přírody“, tak na krátkých úsecích ležících bezprostředně pod bodovými zdroji, jsme ale získali velmi cenné hodnoty rychlosti toku, resp. doby dotoku. Na úsecích pod obcemi jsme naměřili rychlosti toku v rozmezí 73 až 480 m/hod v první sadě a v rozmezí 88 až 521 m/hod ve druhé sadě měření. Jejich další vyhodnocení ovšem vyžaduje ještě doměření sklonu a drsnosti dna.

Na 1,5 km dlouhých úsecích třech vybraných potoků se rychlosti toku pohybovaly v rozmezí: 358 až 1337 m/hod na Bělé, 623 až 1412 m/hod na Kejtovském potoce a 86 až 676 m/hod na Čechtickém potoce. Transformace/transport P na větších tocích vyžaduje fundamentálně jiný přístup než bodové vzorkování. Pro spolehlivé změření retence mimo bezprostřední dosah bodových zdrojů tak bude nutné aplikovat specifické a řádově přesnější metody, např. umělého obohacení fosforem a vzorkování provádět synchronně s postupující vlnou [2].

Závěr

Při hodnocení produkce fosforu z bodových zdrojů a retence těsně pod nimi nesmíme opominout fakt, že absolutní koncentrace fosforu zůstávají až na vzácné výjimky stále velmi vysoké pod všemi obcemi bez rozdílu VH infrastruktury. Z pohledu evo-

lučního naladění organismů tvořících přirozený biofilm, bentos nebo složky na ně vázané, podle kterých je prováděno hodnocení ekologického stavu vodních útvarů, jsou nadbytečným fosforem doslova zaplaveny. Skrytým a neblahým důsledkem těchto dlouhodobých akumulací fosforu v tolika místech v povodí je další fakt, že pouze prohlubují hysterezní křivku při případném zlepšení na straně emisí, resp. oddalují projevy zlepšení na sledovaných profilech. Z pohledu nádrže je bohužel rozhodující celoroční nebo dlouhodobý odnos fosforu z celé plochy povodí bez ohledu na schopnosti našeho vzorkování či modelování. To znamená, že jakýkoli „hřích“ se podepíše na výsledném stavu nádrže, resp. kvalitě surové vody. Je potom méně podstatné, zda šlo o fosfor uvolněný do toku během havárie ČOV, nedbalostí při vyvážení septiků či „pouze“ díky příliš benevolentním limitům ve vyhlášce. A znovu musíme zopakovat, že fosfor z komunálních zdrojů, ať už je dočasně naakumulovaný v kanalizaci, pod obcemi nebo v sedimentech toků či nádrží, je při transportu oním klíčovým zdrojem eutrofizace. Fosfor odnášený z polí ve formě erodovaných partikulí hlíny a jílu obsahuje vysoké množství kovů (Fe a Al), které jsou schopny jej přirozeně vázat. Naproti tomu organické sedimenty, odtržené biofilmy či organický seston je velmi snadno dostupný dalším organismům nebo přímo jejich potravou.

Poděkování

Příspěvek byl zpracován za podpory MV ČR „Ochrana kritické infrastruktury - vodního zdroje Želivka - před účinky PPCP a pesticidů v podmínkách dlouhodobého sucha“ (projekt VI20172020097). Za pomoc v terénu děkuji Vojtovi Mrázkovi, Ladě Stejskalové, Anně Kólové a Jiřímu Kučerovi, personálu našich laboratoří pod vedením Lenky Smetanové děkuji za osobní nasazení. Za pomoc při měření doby dotoku děkuji Pavlu Koženému a Anně Kólové. Mirku Váňovi děkuji za organizaci a řízení odběrů a Pavlu Rosendorfovi za vedení celého projektu.

Literatura

- [1] FIALA, Daniel, Anna KÓLOVÁ, Lenka MATOUŠOVÁ, Pavel ROSENDORF, Lada STEJSKALOVÁ a Mirek VÁŇA (2019) Emise dusíku a fosforu v závislosti na velikosti obce, typu vodohospodářské infrastruktury a průtoku. In: Kosour, Dušan (ed.) *Vodní nádrže 2019*. Povodí Moravy, s.p. Brno, str. 80–84.
- [2] COVINO, T. P., MCGLYNN, B. L., MCNAMARA, R. A. (2010) Tracer Additions for Spiraling Curve Characterization (TASCC): Quantifying stream nutrient uptake kinetics from ambient to saturation. *Limnology and Oceanography: Methods* 8(9): 484–498.

VD BRNO – VYHODNOCENÍ OPATŘENÍ K OBNOVĚ ROVNOVÁHY KVALITY VODY

Antonín Tůma

Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno, tel. +420 541 637 221, tuma@pmo.cz

Abstrakt

Eutrofizace povrchových vod, jako důsledek zvýšeného přísunu živin, zejména fosforu, se stává zásadním problémem v oblasti kvality vod v posledních letech. Masový rozvoj vodního květu a toxických sinic je umocněn dopady klimatické změny (zvýšenými teplotami vody a sníženou vodností), poklesem průtoků v tocích a delší dobou zdržení v jezových zdržích a nádržích. Příspěvek hodnotí opatření realizovaná na Brněnské údolní nádrži a v jejím povodí k potlačení masového rozvoje sinic a udržení rovnovážného stavu nádrže z pohledu kvality vody vhodné pro koupání, rekreaci a další užívání vod. Opatření jsou realizovaná od roku 2009 a navazovala na přípravné a studijní práce z let 2003–2009. S ohledem na dopady klimatické změny na vodní režim – sníženou vodnost vodních toků, zvýšené teploty vody i nerovnoměrnost srážek v povodí Svatky, bylo před IV. etapou projektu (2023–2027) provedeno vyhodnocení efektu opatření, zejména aerace tak, aby byla zajištěna destratifikace celé jezerní části nádrže. Vedle intenzifikace aeračního systému bylo posouzeno i srážení fosforu na přítoku včetně vypracování tří nejlepších (nejvhodnějších) variant, a to z hlediska jejich účinnosti a ekonomické výhodnosti.

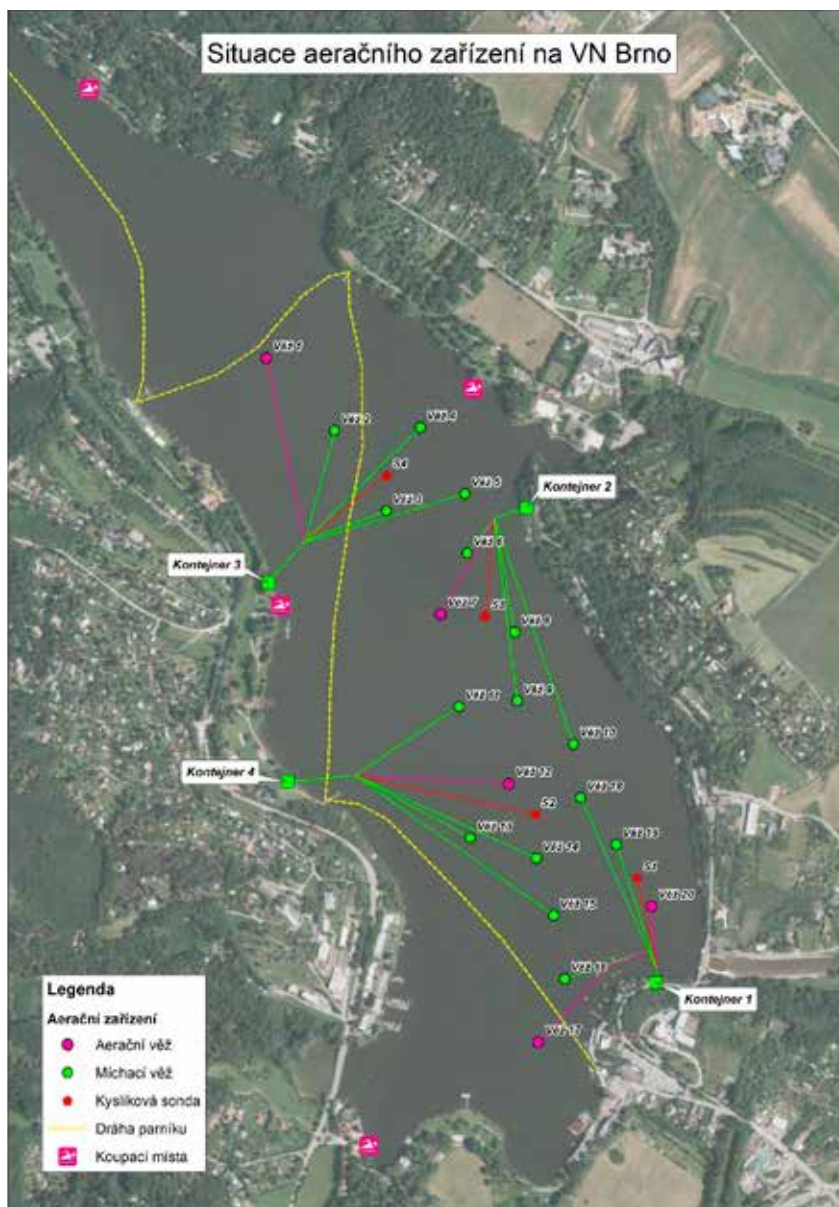
Klíčová slova: VD Brno, eutrofizace, klimatická změna, fosfor, aerace, destratifikace.

Abstract

Eutrophication of surface waters as a consequence of the increased supply of nutrients, especially phosphorus, has become a major water quality problem in recent years. The mass development of algal bloom and toxic cyanobacteria is intensified by the effects of climate change (increased water temperatures and reduced water availability), decreased stream flows and longer retention times in weirs and reservoirs. The paper evaluates the measures implemented in the Brno Water Reservoir and its catchment area to suppress the mass development of cyanobacteria and maintain the equilibrium of the reservoir in terms of water quality suitable for swimming, recreation and other water uses. The measures have been implemented since 2009 and build on preparatory and study work carried out between 2003 and 2009. Taking into account the impacts of climate change on the hydrological regime – reduced water flow, increased water temperatures as well as uneven rainfall in the Svatka Basin, an evaluation of the effect of the measures, especially aeration, was carried out before the fourth stage of the project (2023–2027) to ensure destratification of the entire lake section of the reservoir. In addition to the intensification of the aeration system, phosphorus precipitation at the inflow was also assessed, including the preparation of the three best (most suitable) options in terms of their efficiency and economic viability.

Keywords: VD Brno, eutrophication, climate change, phosphorus, aeration, destratification.

Povodí Svatky nad údolní nádrží Brno bylo v minulosti silně zatíženo vypouštěnými odpadními vodami a zejména živinami z nedostatečně čištěných či nečištěných odpadních vod. Společně s dalším přísunem živin ze zemědělsky obdělávaných pozemků byl v povrchových vodách odstartován proces eutrofizace povrchových vod, který na přelomu století díky masovému rozvoji sinic v letních měsících znemožnil rekreační využívání nádrže, způsobil toxicitu povrchových vod, odliv rekreace včetně devastace rekreačních zařízení a ubytovacích kapacit. Město Brno, Jihomoravský kraj i Povodí Moravy, s.p., jako správce nádrže, se proto dohodli na společných krocích k obnově nádrže z pohledu jejího rekreačního využití. Podrobný monitoring celého povodí, identifikace zdrojů znečištění, posouzení jejich vlivu na kvalitu vod a návrh celého spektra opatření se staly obsahem řady studií, hodnocení v rámci přípravných prací. Ty probíhaly v letech 2003–2009. Hlavním cílem bylo snížení vypouštěného znečištění do vod povrchových z obcí, měst i snížení eroze ze zemědělských pozemků. Ve spolupráci s Krajem Vysočina a Pardubickým krajem byly urychleny výstavby ČOV, doplněny třetí stupně čištění u stávajících čistíren, provedeny rekonstrukce kanalizačních systémů, podchyceno vypouštění nečištěných odpadních vod, ukončeno nelegální vypouštění odpadních vod z rekreačních objektů v blízkosti vodní nádrže Brno, a to vše na základě nespočtu jednání s obcemi, městy, provozovateli ČOV a kanalizací, jednotlivými vlastníky individuálních zdrojů, zemědělskými subjekty hospodařícími v povodí atd. Přesto koncentrace fosforu na přítoku do nádrže stále překračovaly limit pro masový rozvoj eutrofizace, a proto bylo přistoupeno k přípravě opatření na samotné nádrži, která by zajistila a udržela rovnovážný stav a požadovanou kvalitu pro koupací vody. Práce tedy vyvrcholily projektem „Realizační opatření na Brněnské údolní nádrži“. Projekt byl realizován v letech 2009–2012 a představoval snížení vnosu živin do nádrže cestou srážení fosforu na přítoku a úpravu vody v jezerní části provzdušněním s cílem zajistit destratifikaci – odstranit rozvrstvení vodního sloupce s přísunem kyslíku do spodních vrstev, znemožnit sinicím čerpat fosfor ze sedimentů a odstranit teplotní rozdíly v jednotlivých zónách nádrže.



Obrázek 1. Současné rozmístění aeračních a míchacích věží

Do přítokové části nádrže bylo osazeno dávkovací zařízení, do nádrže pak 15 míchacích a 5 provzdušňovacích věží napojených na kompresory. Těmito opatřeními předcházelo odstranění kontaminovaných sedimentů sinicemi při výrazném snížení hla-

diny v nádrži, ošetření sedimentů leteckým vápněním dolomitickým vápencem, odstranění vegetace a organické hmoty včetně úpravy rybí obsádky v nádrži s odlovem bílé ryby a doplnění dravců.



Obrázek 2. Situace srážení fosforu na přítoku do VN Brno

Na samotný projekt navazovala udržitelnost projektu v letech 2013–2017, která prokázala požadovaný efekt a splnění všech sledovaných parametrů. Na všech pěti koupacích profilech v nádrži bylo umožněno koupání dodržením limitů, na nádrž se vrátila rekreace, byly rekonstruovány hotely, ubytovací zařízení a obnovoeno užívání vody pro vodní sporty.

Projekt předpokládal, že postupná dostavba ČOV i v menších obcích a dostavby třetích stupňů čištění u stávajících ČOV zajistí dostatečné snížení vnosu živin (fosforu) do nádrže a bude ukončeno srážení fosforu na přítoku a omezena aerace na nádrži. Podrobný monitoring i studie vyhodnocení opatření po udržitelnosti projektu ukázaly nutnost pokračovat ve všech opatřeních na nádrži. Negativní vliv na vývoj kvality vody v nádrži začala mít narůstající teplota vzduchu, oteplování vody, snížení vodnosti/přítoků do nádrže a delší zdržení vody v nádrži. Naproti těmto nepříznivým faktorům dochází v povodí ke stále stejné produkci odpadních vod a zatížení nádrže bilančně stejným množstvím fosforu.

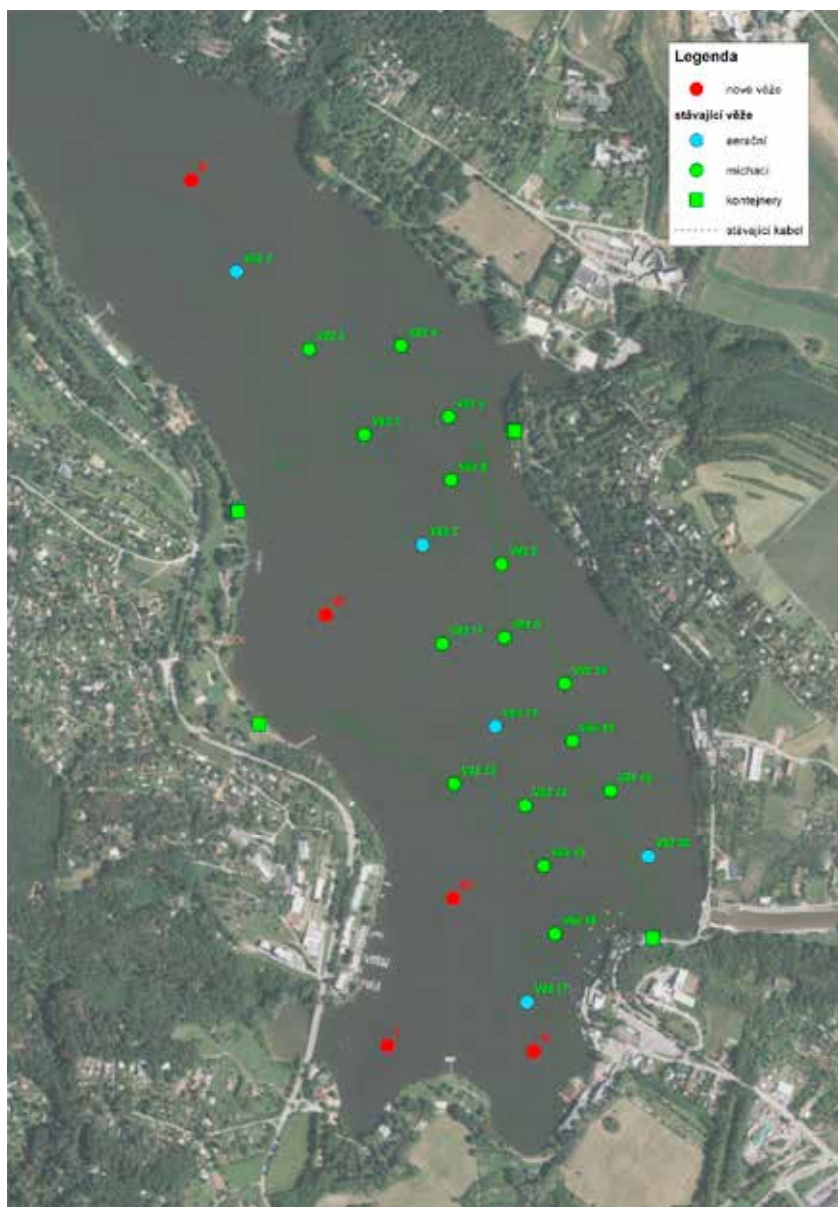
Projekt tedy pokračoval III. etapou od roku 2018 do letošního roku. V dostačeném předstihu však bylo přistoupeno (s ohledem na délku projektu) k podrobnému vyhodnocení dílčích opatření, k posouzení stavu nádrže, stavu povodí z pohledu zatížení nádrže živinami včetně vyhodnocení účinnosti opatření a jejich efektivnosti. Podrobně bylo vyhodnoceno i možné ovlivnění životního prostředí aplikací koagulantu – kvalita vody, ovlivnění sedimentů i zdravotní stav ryb. Dotace železa na přítoku aplikací srážedla kvalitu sedimentů neovlivnila – obsah železa se průkazně nevyvíjí a v podstatě odpovídá i období před aplikací. Stejných výsledků bylo dosaženo i u zdravotního stavu ryb a kvality povrchové vody. Výsledkem vyhodnocení byla i velice podrobná analýza provozu aeračního a dávkovacího zařízení s výsledným doporučením pro intenzifikaci těchto opatření v nejbližším období. Výsledkem je tedy návrh projektu „Realizace opatření na Brněnské údolní nádrži, IV. etapa 2023–2027. Zadavatelem bylo město Brno a zpracovatelem projektu firma AQUATIS, a.s. Brno.

Cílem projektu bylo navrhnout nejvhodnější variantu intenzifikace aeračního systému na Brněnské nádrži tak, aby byla zajištěna destratifikace celé jezerní části nádrže včetně lokalit zátok, kde dochází ke zhoršení kvality vody během koupací sezóny. V konečné fázi pak výslednou vybranou variantu rozpracovat do pod-

by projektové dokumentace pro územní řízení a dokumentaci technických podmínek pro zadávací řízení na dodávku zařízení. U dávkovacího zařízení koagulantu posoudit technickou úroveň ve vazbě na současný stupeň poznání s vazbou na neefektivnější dávkování a vyhodnocení čtyř povolených koagulantů a doporučení nejvýhodnějšího a neefektivnějšího koagulantu s vazbou na ochranu životního prostředí.

Aerační systém na Brněnské nádrži je provozován od roku 2010 vždy během vegetační sezóny od dubna do konce září. Jedná se o systém pěti aeračních věží, kdy je ke dnu vháněn kyslík, a patnácti míchacích věží, které mají za úkol čerpat okysličenou vodu z horních vrstev ke dnu, kdy zároveň dochází k destratifikaci (tedy je porušen teplotní rozdíl teplejších horních vrstev a studených spodních a dochází k rovnoměrnému rozvrstvení teplot vodního sloupce).

Celkový účinek aeračního systému na destratifikaci nádrže je významný. Na základě vyhodnocení dosavadního provozu věží vyplynulo, že aerátorové věže (včetně souvisejících kompresorů a produktovodů) jsou poruchovější a provozně náročnější než věže čerpadlové. Z hlediska vyčíslených potřebných nákladů na servis, provoz a údržbu jednotlivých zařízení jsou čerpadlové věže prokazatelně více efektivní. Rovněž míchací (destratifikační) a zřejmě i provzdušňovací účinek byl vyhodnocen u čerpadlových věží jako vyšší. Z těchto důvodů bylo konstatováno, že nákladová efektivita (poměr cena/výkon) je významně příznivější u čerpadlových věží ve srovnání s věžemi aerátorovými. Navržena byla tedy varianta postupného odstavení všech pěti aerátorových věží a jejich nahrazení věžemi čerpadlovými, které doplní stávajících patnáct čerpadlových věží. Ty bude možné osadit výkonnějšími čerpadly pro zvýšení celkového účinku aeračního systému. Zhotovitel rozpracoval 13 variant možných úprav současného aeračního systému a rámcové hodnocení jejich efektivity a ekonomické výhodnosti. Do užšího výběru byly z výsledků hodnocení vybrány tři varianty umístění míchacích věží. Nezbytné je posílit míchacími věžemi Rakoveckou zátoku, Rokli a Kozí Horku. I v případech, kdy se budou nejen nahrazovat stávající aerační věže míchacími, ale zejména i při náhradě stávajících 5 aeračních věží 5 míchacími věžemi za současného rozšíření celkového počtu o další 4 míchací věže, budou náklady na energie a další provozní náklady nižší, než při provozování stávajícího systému.



Obrázek 3. Návrh lokalizace umístění nových míchacích věží

Vyhodnocení dávkovacího zařízení koagulantu prokázalo požadovanou technickou úroveň a lze očekávat neefektivnější dávkování. Ze čtyř povolených koagulantů pro aplikaci byl na základě testů vyloučen pro nevhodnost pro úpravu povrchové vody síran železnatý (zelená skalice) a ze zbývajících byl doporučen, z pohledu dostupnosti a tuzemské produkce, síran železitý.

Závěr

Zatížení VN Brno sloučeninami fosforu, které jsou zde zásadní podmínkou pro dobrou jakost vody a rekreační využitelnost, je stále poměrně vysoké a pochází v naprosto převažujícím podílu z povodí nádrže. Proto i opatření realizovaná přímo na nádrži mají stále v péči o jakost vody své místo a bez opatření se kvalita vody využitelná k rekreačním účelům na nádrži udržet nedá.

Ze sledování samotné nádrže vyplývá, že provoz aeračního systému zásadně přispívá k destratifikaci jezerní části nádrže a vedle srážení fosforu na přítoku, který je hlavním prvkem pro rozvoj eutrofizace v nádrži, je zásadním opatřením na nádrži.

Dlouhodobé výsledky monitoringu ukazují, že nastavené schéma opatření na Brněnské nádrži (srážení fosforu na přítoku a provoz aeračního systému) je schopné udržet kvalitu vody v akceptovatelné kvalitě pro rekreační účely.

ÚLOHA RYBNÍKŮ PŘI SNIŽOVÁNÍ DOTACE FOSFORU DO VODNÍHO DÍLA ORLÍK

Filip Čejka¹, Stanislav Ryšavý²

¹Sweco Hydroprojekt a.s., Tábořská 31, 140 16 Praha 4, tel. +420 261 102 395, filip.cejka@sweco.cz

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

Abstrakt

Studie proveditelnosti opatření ke snížení dotace fosforu do vodního díla Orlík, která byla zpracována sdružením „Sweco + Aquatis“ pro Jihočeský a Středočeský kraj v letech 2019–2021, navrhuje opatření, jejichž realizace povede ve střednědobém horizontu k postupnému snížení vnosu fosforu do VD Orlík pod mez eutrofie.

V povodí VD Orlík se nachází na české i evropské poměry bezprecedentní množství rybníků a rybníčních soustav. Z těch se sice v současnosti do vodního prostředí uvolňuje nezanedbatelné množství fosforu, nicméně při správně nastaveném způsobu hospodaření a využití organizačních i technických aspektů (zejména tzv. dobré rybníkářské praxe) by bylo možné tuto rozsáhlou rybníční síť využít naopak pro snížení imisí fosforu do VD Orlík.

Tento příspěvek se soustředí na představení základních katalogových opatření na rybnících, která by při systematickém nasazení mohla pomoci jak se snížením lokálních emisí fosforu, tak se zlepšením přechodu k ekonomicky i environmentálně udržitelnému rybníkářskému hospodaření.

Klíčová slova: VD Orlík; eutrofizace; udržitelné rybníkářství.

Abstract

The Feasibility study of measures to reduce phosphorus inputs to the Orlík Reservoir, which was prepared by the consortium "Sweco + Aquatis" for the South and Central Bohemian Region in 2019–2021, proposes measures whose implementation will lead to a gradual reduction of phosphorus inputs to the Orlík Waterworks below the eutrophic limit in the medium term.

In the Orlík reservoir basin there is an unprecedented number of fish ponds and pond systems by Czech and European standards. Although a considerable amount of phosphorus is currently released from these fish ponds into the aquatic environment, with the right management practices and the use of organisational and technical aspects (in particular Good fish pond management practices), it would be possible to use this extensive pond network to reduce phosphorus immission into the Orlík Reservoir.

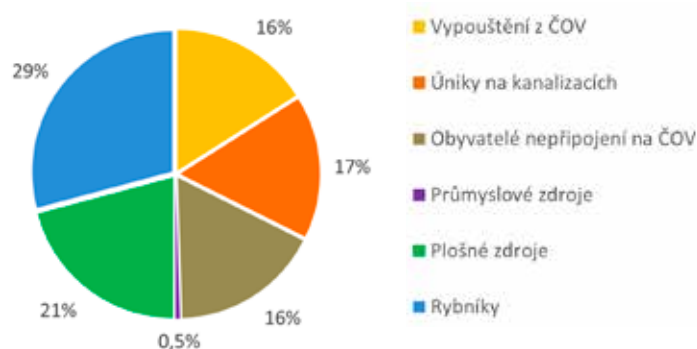
This paper focuses on the presentation of basic measures in the ponds, which, if systematically deployed, could help both to reduce local phosphorus emissions and to improve the transition to economically and environmentally sustainable fisheries management.

Keywords: Orlík reservoir; eutrophication; sustainable fish pond management.

Úvod do problematiky

Vlastní Studie proveditelnosti opatření ke snížení dotace fosforu do vodního díla Orlík (dále jen Studie proveditelnosti) poskytuje komplexní návrh 36 vzorových / katalogových opatření, která mají při koordinovaném nasazení potenciál dosáhnout vytčeného cíle Studie. Opatření byla v rámci snahy o dosažení komplexního podchycení řešené problematiky navrhována v široké škále oblastí od obecných opatření cílených na doplnění znalostní základny, přes legislativní a správní opatření pro optimalizaci procesního rámce až po vlastní technická opatření pro redukcí emisí fosforu zejména z komunálních a rybníčních zdrojů. Ve výsledku byla v rámci studie navržena opatření pro snížení vnosů fosforu ve finančním úhrnu investičních nákladů v objemu cca 32 miliard Kč, v souladu se zadáním Studie byl z těchto identifikovaných opatření sestaven mix efektivních opatření v celkovém finančním úhrnu cca 2,5 miliardy Kč.

Souhrn závěrů a doporučení Studie včetně stručné prezentace jednotlivých opatření byl již poskytnut v publikaci [1], popřípadě lze odkázat na kompletní text Studie, který je k dispozici na webových stránkách krajského úřadu Jihočeského kraje [2]. Z nejzásadnějších informací zopakujeme pouze, že celkový roční vnos fosforu do vodního prostředí v povodí Orlíka (emise) byl v rámci Studie proveditelnosti vyčíslen na bezmála 400 tun. Polovina z tohoto celkového emisního zatížení připadá na komunální zdroje, necelá třetina na rybníční hospodaření a zbylá pětina na plošné mimoe-rozní zdroje (viz Graf 1).



Graf 1. Porovnání emisí jednotlivých kategorií zdrojů P_{celk} v povodí VD Orlík

Do bilančního profilu Orlické nádrže následně ročně doputuje něco málo přes 300 tun fosforu (imise). Zde je důležité podotknout, že za rozdíl mezi emisními úhrny a imisí do Orlíka, který byl vyčíslen na 93 tun fosforu ročně, jsou plně zodpovědné právě rybníky a nádrže.

Cílem tohoto příspěvku je poskytnout čtenáři detailnější vhled do těch částí Studie, které se zabývají analýzou stavů a procesů probíhajících na rybnících v povodí VD Orlík (bilanční studie, emisně / imisní analýza) a následně též návrhem opatření, která by ve střednědobém horizontu mohla pomoci jak se snížením lokálních emisí a celkové imise fosforu, tak se zlepšením přechodu k ekonomicky i environmentálně udržitelnému rybníkářství.

Rybníky v povodí VD Orlík

Povodí VD Orlík je charakteristické intenzivním hospodařením na rybnících. Nachází se zde přibližně 15,5 tisíce rybníků s celkovou plochou kolem 22 500 ha. Při hospodaření na rybnících jsou často do vodního prostředí dodávány živiny pro intenzivnější růst ryb. Většinou se jedná o krmení v podobě pšenice, ale někde se rybníky i hnojí, a to většinou chlévskou mrvou nebo kejdou. Část těchto živin se z vodního prostředí dostává při výloveh ryb v jejich těle, ale při intenzivním chovu ve vodním prostředí zůstává přebytek fosforu.

Dalšími faktory, které často negativně ovlivňují stav vodních toků pod rybníky mohou být:

- výlovy, kdy je z rybníku upouštěna voda, která s sebou často nese sedimenty bohaté na živiny ve velmi vysokém množství
- časté projevy letních anoxických stavů, kdy se při vyčerpání kyslíku z vodního sloupce vytváří vhodné podmínky, při kterých je fosfor uvolňován ze sedimentu
- uvolňování zásoby fosforu, která se v rybnících vytvořila v historii (např. u rybníku pod obcí, která své nečištěné odpadní vody sváděla do tohoto rybníku se po výstavbě ČOV a snížení přítokových koncentrací do rybníka běžně vyskytují vyšší koncentrace P_{celk} na odtoku než na přítoku a to i tehdy, pokud rybník není rybářsky vůbec obhospodařován).

Toto uvolňování může trvat i mnoho let.

Rybníky ale mají také potenciál snižovat koncentrace P_{celk} svojí retenční funkcí, která se řídí vztahem:

$$R = \frac{1,84\sqrt{TRT}}{1 + 1,84\sqrt{TRT}}$$

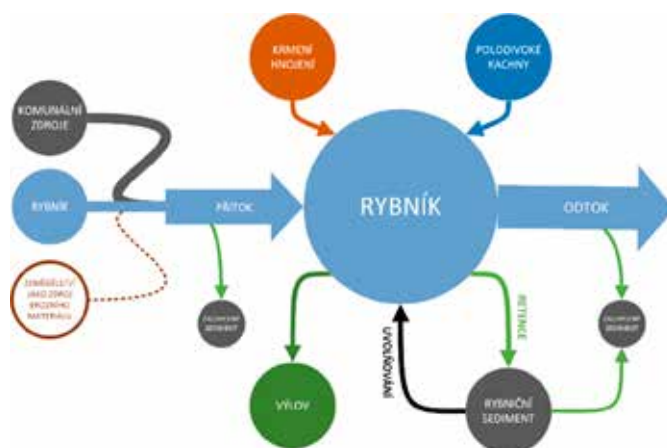
R – míra retence,

TRT – teoretická doba zdržení

Při měsíční době zdržení se tedy může podle tohoto vztahu uložit zhruba 35 % P_{celk} , při delší době zdržení se retence zvyšuje. Rybníky a vodní nádrže tedy dokážou zásadním způsobem snižovat množství fosforu ve vodních tocích. Zjednodušeně lze komplexitu pozice rybníků v transportu fosforu znázornit schématem na obrázku 1.

Bilanční studie

V publikaci *Bilance zdrojů fosforu a dusíku v povodí nádrže Orlík* [4], která sloužila jako jeden z podkladů pro zpracování Studie proveditelnosti se uvádělo, že bilanční přebytek na jednotlivých rybnících se pohybuje v rozmezí 0–9 kg P_{celk} /ha/rok. Konkrétní hodnoty zatížení P_{celk} pro jednotlivé rybníky se rovnaly kalibrované hodnotě tzv. bilančního salda vnosu a exportu živin. V bilanční fázi Studie proveditelnosti byla pro vyčíslení podílu hospodaření na rybnících na celkové zátěži P_{celk} zvolena střední hodnota ze studie [4], to jest 4,5 kg/ha/rok. V některých mezipodvodech mezi referenčními monitorovacími profily byla na základě bilance těchto profilů tato hodnota upravena tak, aby lépe odpovídala látkovým tokům P_{celk} v uzávěrovém profilu povodí. V oprávněných případech se tedy pro bilanci rybníků využívaly hodnoty bilančního přebytku P_{celk} v rozmezí 0–9 kg/ha/rok. Při využití tohoto postupu na všechny rybníky v povodí VD Orlík bylo pak souhrnné emisní zatížení z rybníčního hospodaření stanoveno na 117 tun P_{celk} za rok (5,2 kg/ha/rok). V celkové bilanci se tedy jedná o velmi podstatný zdroj.



Obrázek 1. Identifikace základních bilančních toků fosforu na úrovni rybníka

Těmito zdroji určujeme souhrnné působení rybníků na stav P_{celk} v tocích. Nejedná se tedy čistě o přebytky hospodaření, ale také o fosfor uvolňovaný za anoxií ze starých zátěží, případně sediment uvolňovaný při výloveh, v rybnících se také může propagovat erozní fosfor, který za určitých podmínek může být ze sedimentu uvolněn ve formě využitelné pro mikroorganismy. Zde je vhodné ještě jednou zopakovat, že proti této úhrnné emisí fosforu z rybníčních zdrojů se na celkové bilanci rybníky podílí také retencí fosforu ze všech nadřazených zdrojů s celkovým úhrnem vyčísleným na 93 tun P_{celk} za rok.

Emisně / imisní analýza

Jak vyplývá z výše uvedeného, dochází v povodí VD Orlík v důsledku vysokého počtu rybníků k nezanedbatelné retenci fosforu, která je v idealizované podobě kvantifikována pomocí vztahu [3]. Byť v rámci Studie proveditelnosti nebyl vypracován komplexní bilanční model, byla pro zpřesnění dopadů jednotlivých zdrojů fosforu na VD Orlík provedena analýza retenčního potenciálu povodí, následovaná emisně / imisní analýzou.

Do této úlohy vstupovalo zhruba 3 700 rybníků a nádrží (jednalo se o rybníky a nádrže s výměrou nad 0,5 ha). Tyto rybníky a nádrže byly hierarchizovány podle hydrologické posloupnosti a dále bylo určeno, které bodové zdroje se nachází nad konkrétním rybníkem či nádrží. Tímto způsobem byl vytvořen robustní strukturovaný základ – longlist – pro další práci.

V dalším kroku byla provedena hydrologická analýza, ve které byla pro každý rybník či nádrž z longlistu stanovena doba zdržení. Do hodnocení retenční kapacity povodí podle vztahu [3] pak vstupovalo přibližně 2000 rybníků či nádrží s dostatečnou dobou zdržení (shortlist).

Za účelem zpřesnění retenční analýzy bylo s úspěchem využito dat z dálkového průzkumu Země (DPZ) družicového systému Sentinel 2, provozovaného od roku 2015 Evropskou Kosmickou Agenturou (ESA) v rámci programu Copernicus. Spektrální satelitní data z vegetačních období (duben–říjen) z let 2015–2019 byla po prvotní validaci, atmosférické korekci a očištění od atmosférických vlivů přepočtena pomocí regresního modelu na koncentrace chlorofylu-*a* v rastru 10x10m u vodních nádrží v povodí VD Orlík s výměrou nad 0,5 ha (viz ukázka na obrázku 2).

Z těchto rastrových koncentrací byla pro jednotlivé rybníky a nádrže nádrže vypočtena statistická data, na jejichž základě následně proběhla kategorizace rybníků a nádrží z hlediska rizika eutrofizace. U většiny rybníků v zájmovém povodí se retence dle empirie pohybují v rozmezí 30–60 %. Průměrná míra retence je v těchto rybnících 47 %. Na základě hodnocení rizika eutrofizace rybníků byla však míra retence částečně redukována a vlivem této redukce došlo ke snížení průměrné míry retence rybníků v zájmové oblasti na hodnotu 37 %.

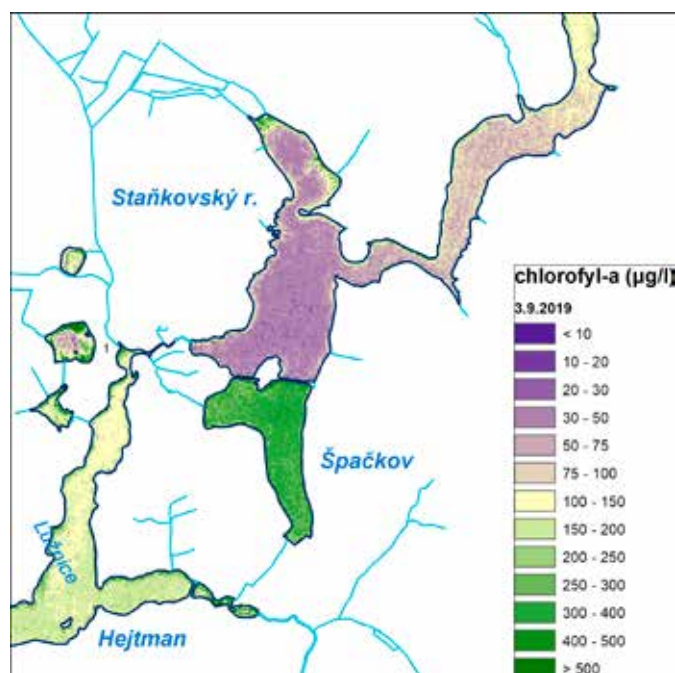
Z výše uvedeného je zřejmé, že rybníkářství v povodí Orlíka představuje nevyužitý potenciál pro zlepšení vodních poměrů a životního prostředí a může se významnou měrou spolupodílet na zadržování a využívání živin v povodí. O pozitivním potenciálu rybníků pro zadržování fosforu svědčí také fakt, že dnes z celkových téměř 400 tun fosforu uvolněných do povrchových vod v povodí Orlíka doputuje do bilančního profilu VN Orlík ročně pouze přes 300 tun.

Návrh opatření na rybnících

Ze schématu na obrázku 1 je zřejmé, že pro účinné omezení negativního dopadu rybníkářského hospodaření na vodní toky a pro posílení retenční funkce rybníků lze opatření navrhnout zejména v následujících 3 oblastech:

- 1) obecná opatření pro relevantní posílení informační, komunikační, znalostní a legislativní roviny,
- 2) zamezení nadměrného lokálního vnosu fosforu v rámci produkčního využití rybníka a zavedení udržitelného hospodaření pro posílení retence rozpuštěného fosforu s následnou aplikací opatření z oblasti 3,
- 3) přerušení živinového toku v povodí, tedy reálné zachycování a odstraňování fosforu vázaného na nerozpuštěné látky (částičky zemin či sedimentů), a to jak na odtoku z rybníka (zejména při výlovu), tak na přítoku (erozní materiál), popřípadě přímo z rybníka.

Opatření v první oblasti jsou navrhována zejména proto, že komplexní a koncepční opatření pro snížení emisí fosforu z rybníků budou logicky zasahovat i do produkční funkce rybníků a tím ovlivňovat ekonomiku hospodařících subjektů. Návrhy opatření je tedy třeba doprovodit i celospolečenskou diskusí a nastavením



Obrázek 2. Koncentrace chlorofylu-*a* v rastru 10x10m u vodních nádrží v povodí VD Orlík s výměrou nad 0,5 ha

konsensu na sociálním i ekonomickém ohodnocení **mimoprodukčních funkcí** nebo případně **ekosystémových služeb** rybníka.

V následujících kapitolách budou krátce popsána klíčová opatření z výše uvedených oblastí. Pro nedostatek prostoru nelze v tomto příspěvku věnovat patřičnou pozornost všem opatřením, která byla pro oblast rybníkářství v rámci Studie proveditelnosti navržena, zde tedy odkazujeme čtenáře opět na plný text Studie proveditelnosti [2] a zejména na Přílohu 3 – Katalog opatření.

Legislativní opatření

Pro zvýšení potenciálu rybníků pro zadržování fosforu je třeba přistoupit k vytvoření dotačního nástroje a úpravě legislativy, což bude motivovat rybníkáře k přechodu k udržitelnému hospodaření na rybnících ve vazbě na místní podmínky a v souladu s Dobrou rybníkářskou praxí (DRP).

Standardy Dobré rybníkářské praxe by se měly stát obdobou podmínek Dobrého zemědělského a environmentálního stavu aplikovaných v současnosti v oblasti hospodaření na zemědělské půdě.

Z ekonomických modelů Studie vyplývá, že pro výrazné posílení pozitivní funkce rybníků v oblasti bilančních toků fosforu v povodí Horní Vltavy by měly stačit dotační prostředky v ročním úhrnu 3 – 5 tisíc Kč na hektar vodní plochy. Pro srovnání – jednotné platby na plochu zemědělské půdy bez zahrnutí zemědělských postupů příznivých pro klima a životní prostředí činily v roce 2021 cca 3 300 Kč na hektar zemědělsky využívané půdy.

Dalším podpůrným nástrojem, který by mohl do určité míry také iniciovat přechod na režim DRP je vytvoření vyhlášky dle § 39 odst. 8 aktuálního znění Zákona o vodách (254/2001 Sb.). Ve znění dle zákona má tato vyhláška definovat *zásady pro stanovení podmínek pro použití závadných látek ... při nakládání s vodami za účelem chovu ryb nebo vodní drůbeže, popřípadě jiných vodních živočichů a vymezení kategorií rybníků z hlediska rybářského hospodaření.*

Přidruženým legislativním aspektem, který by v rámci hospodaření na rybnících také zasluhoval pozornost, je problematika používání sedimentů z rybníků na zemědělské půdě. Aktuální

legislativní předpisy totiž výrazně komplikují možnost následného využití sedimentu zachyceného při výlovech rybníků na okolní zemědělskou půdu, popřípadě využití v rámci principů cirkulární ekonomiky.

Strukturovaný geoinformační systém

Při hodnocení stavu rybníků a nádrží a návrhu cílených opatření byl řešitelský tým výrazně limitován tím, že informace o hospodaření na rybnících nejsou doposud evidovány v žádné strukturované geodatabázi a tudíž není možné provádět pokročilé hydrologické a prostorové GIS analýzy. S výhledem na navrhovaná legislativní opatření (zejména zavedení standardů DRP) je pro procesní zjednodušení agendy vodoprávních úřadů i rybářských subjektů navrhován vývoj informačního systému pro digitalizaci evidence a managementu malých vodních nádrží a rybníků.

Zamezení nadbytečného vnosu fosforu

Pro zamezení nadbytečného vnosu fosforu přímými bilančními toky do rybníka (na rozdíl od vnosů přítokem) je třeba cílit zejména na zajištění vyrovnané bilance fosforu v rámci chovu ryb. Cílem opatření je podpora přechodu hospodaření na rybnících do stavu, kdy jsou přímé rybníční bilanční vstupy (násaď, krmiva a hnojiva) a výstupy (produkce ryb) fosforu z rybářského hospodaření v rovnováze. Tohoto cíle lze dosáhnout při relativním krmném koeficientu (RKK) do hodnoty 2,0, což je maximální hodnota, na kterou by měl být nastaven management chovu. Navrhované opatření v sobě kromě shody na hodnotě RKK nese i další relevantní specifika, která bude třeba diskutovat při nastavování jednotných standardů DRP. Jedná se zejména o zavedení účinných způsobů omezení přemnožení plevných druhů ryb, podpora přirozeného rozvoje zooplanktonu, využívání více-druhových obsádek a práce s rybníčním sedimentem za využití opatření uvedených v další sekci. Zavedení standardů DRP povede pravděpodobně k poklesu hmotnostní produkce ryb v rybnících o 10–20 %. To je v rozporu s aktuálním Víceletým národním plánem pro akvakulturu, v rámci kterého je prioritou MZe ČR udržet rybníční produkci na stávající úrovni. Výpadek příjmu bude nutné krýt vhodně nastavenými dotacemi pro kompenzaci mimoprodukčních funkcí / ekosystémových služeb rybníků, které by měly být definovány v příslušných legislativních opatřeních popsaných výše.

Přerušení toku fosforu

Poslední oblastí, ve které lze účinně cílit na snížení transportu fosforu povodím jsou ryze technická opatření, kterými lze docílit pravidelného vymísťování na fosfor bohatého sedimentu z rybníka. Jedná se o opatření, která mohou být podle vhodnosti aplikována na přítoku do rybníka (sedimentační přednádrž), v samotném rybníce (odbahňování loviště) i ve výtokové stoce (osazení hradítek, budování lagun, vyběžení stoky).

Samostatným opatřením, které svým nasazením již překračuje působnost jednoho rybníka je pak účelové vybudování nové malé vodní nádrže (nebo změna užívání stávající malé vodní nádrže / rybníka), která bude primárně sloužit k zadržení sedimentu nebo retenci fosforu. Při výběru nebo návrhu nádrže je třeba důsledně zohlednit optimální parametry (poměr velikosti a průtočnosti, hloubka nádrže) s ohledem na definovanou primární funkci. Nádrž musí splňovat technické a logistické podmínky pro umožnění snadného odstranění / vytěžení sedimentu z nádrže nebo ze stoky pod nádrží a její provozní režim musí být nastaven v souladu s požadavky na plnění její primární funkce.



Obrázek 3. Schématické znázornění principu retenční nádrže pro omezení odnosu živin z nadřazeného povodí

Aktuální stav implementace opatření

Dne 30. 6. 2021 se v rámci zpracování Studie proveditelnosti pod záštitou Mgr. Františka Talíře, 1. náměstka hejtmána Jihočeského kraje zabezpečujícího úkoly v oblasti regionálního rozvoje, cestovního ruchu a životního prostředí, uskutečnilo projednání opatření navrhovaných ve Studii proveditelnosti se zástupci jihočeských rybníkářů, ekologů, zástupců státního podniku Povodí Vltavy a vybraných zástupců krajské samosprávy. Ze závěrů tohoto jednání vyplynulo, že na úrovni těchto zainteresovaných subjektů existuje ochota k hledání konsensuálního řešení celé problematiky fosforu v oblasti rybníkářství a k naplnění litery Vodního zákona.

V současné době (09/2022) proběhlo z iniciativy Jana Bartoška, místopředsedy PS PČR, zastupitele a radního Jihočeského kraje, připravované mezirezortní jednání pracovní skupiny ve složení zástupců Ministerstva životního prostředí ČR, Ministerstva zemědělství ČR, Krajského úřadu Jihočeského kraje, konkrétně odboru životního prostředí, státního podniku Povodí Vltavy a představitelů zhotovitele Studie proveditelnosti opatření ke snížení dotace fosforu do vodního díla Orlík. Závěr z tohoto úvodního setkání byl jednoznačný: je nutné se problematikou fosforu v přírodě intenzivně a komplexně zabývat a připravit její řešení. Dílčí opatření však vyžadují aktualizovaný legislativní rámec. Proto na dalších setkáních pracovní skupiny bude k prioritním úkolům nyní patřit vydefinování okruhů potřebných legislativních změn a podzákonných norem, a to vše v návaznosti na legislativní plán vlády.

Dále je v součinnosti se zástupci krajského úřadu Jihočeského kraje připravována prezentace závěrů Studie zástupcům vodoprávních úřadů krajských úřadů a obcí s rozšířenou působností a prezentace na zasedání Asociace krajů České republiky.

Literatura

- [1] F. Čejka a S. Ryšavý, „Studie proveditelnosti opatření ke snížení dotace fosforu do vodního díla Orlík,“ v Odborná konference s mezinárodní účastí VODNÍ TOKY 2022, Hradec Králové, 2022. [Online]. Dostupné na: <https://konference.vrv.cz/download/SBORNIK.pdf>. [Přístup získán 18 09 2022]
- [2] F. Čejka, S. Ryšavý et al., „Studie proveditelnosti opatření ke snížení vnosů fosforu do VD Orlík,“ Sweco + Aquatis pro Jihočeský a Středočeský kraj, Praha, Brno, 2021. [Online]. Dostupné na: <https://zp.kraj-jihocesky.cz/studie-orlik.html>. [Přístup získán 18 09 2022]
- [3] J. Hejzlar, K. Šámalová, P. Boers a B. Kronvang, „Modelling of phosphorus retention in lakes and reservoirs,“ Water, Air and Soil Pollution: Focus, sv. 6, pp. 487-494, 2006.
- [4] Hejzlar J. a kol., Bilance zdrojů fosforu a dusíku v povodí nádrže Orlík, Biologické centrum Akademie věd, v.v.i., 2010.

ŽIVINOVÉ PARAMETRY RYBNÍČNÍCH SEDIMENTŮ

Radovan Kopp¹, Barbora Musilová¹, Marija Radojičić¹, Lenka Vaňková², Jan Grmela¹

¹ Mendelova univerzita v Brně, Ústav zoologie, rybářství, hydrobiologie a včelařství, Zemědělská 1, 613 00 Brno, +420 777 098 790, fccla@seznam.cz

² Mendelova univerzita v Brně, Ústav chemie a biochemie, Zemědělská 1, 613 00 Brno

Abstrakt

Příspěvek uvádí výsledky dlouhodobého monitoringu „živinového“ složení sedimentů 49 rybníků z území ČR. Byl sledován celkový podíl dusíku, uhlíku, fosforu, železa a vápníku. Z hlediska dostupnosti živin byl proveden výluh dle Mehlicha III (P, Ca, Mg a K) a vodný výluh (N, P, Ca, Fe, CHSKCr). K základní charakteristice sedimentů byla stanovena sušina, podíl organických látek (550 °C) a hodnota výměnného pH (CaCl₂). Zaznamenali jsme výrazné rozdíly sledovaných parametrů nejen mezi jednotlivými rybníky, ale i v různých částech rybníka. Sedimenty rybníků mají ve srovnání se zemědělskou půdou vysoký podíl organické hmoty, vápníku a železa. Rovněž obsah dostupného hořčíku a celkového fosforu je vyšší. Srovnatelný je obsah draslíku a hořčíku. Naopak podíl dostupného fosforu (Mehlich III) dosahuje ve srovnání s půdou nižších hodnot. Rybníční sedimenty jsou svým složením velmi vhodné ke zlepšení zemědělských půd, zlepšují i údržnost nedostatkové vody v půdě. Velkou překážkou jsou ale legislativní požadavky (Vyhláška č. 257/2009 Sb.), kdy na sedimenty je pohlíženo jako na odpad a rovněž finanční náklady spojené s odtěžením sedimentů a jejich distribucí na zemědělskou půdu.

Klíčová slova: fosfor; organické látky; půda; chemismus sedimentů.

Abstract

The paper presents the results of long-term monitoring of the "nutrient" composition of sediments of 49 ponds from the territory of the Czech Republic. Total nitrogen, carbon, phosphorus, iron and calcium were monitored. In terms of nutrient availability, Mehlich III leaching (P, Ca, Mg and K) and water leaching (N, P, Ca, Fe, CODCr) were performed. Dry weight, organic matter content (550 °C) and exchangeable pH (CaCl₂) were determined for basic sediment characterization. We observed significant differences in the observed parameters not only between ponds but also in different parts of the pond. Pond sediments have high organic matter, calcium and iron contents compared to agricultural soil. The content of available magnesium and total phosphorus is also higher. The potassium and magnesium content is comparable. On the other hand, the proportion of available phosphorus (Mehlich III) is lower compared to soil. The composition of pond sediments is very suitable for improving agricultural soils, and they also improve the maintenance of scarce water in the soil. However, a major obstacle is the legislative requirements (Decree No 257/2009 Coll.), where sediments are regarded as waste, as well as the financial costs associated with sediment removal and distribution to agricultural land.

Keywords: phosphorus; organic matter; soil; chemism of mud.

Úvod

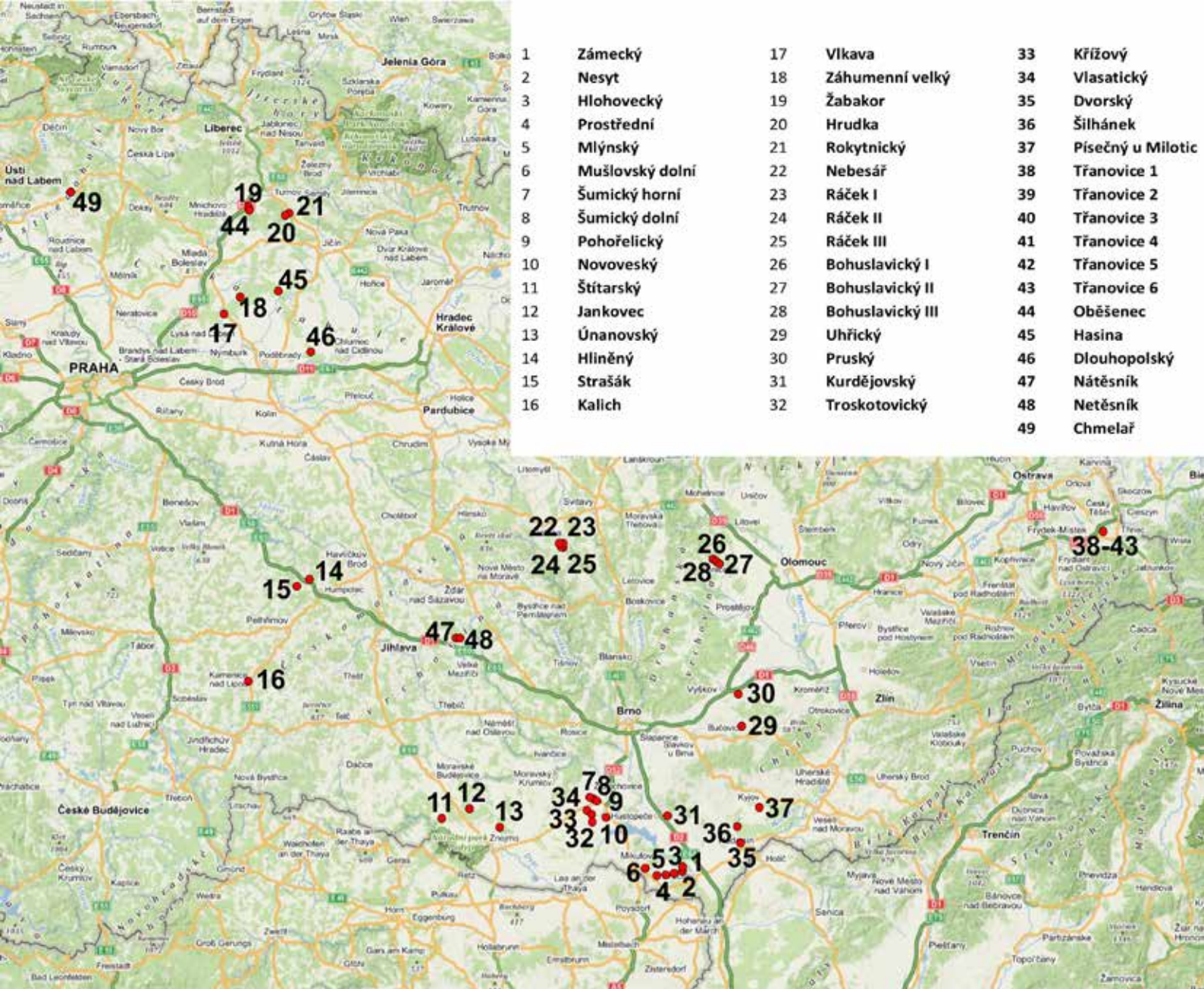
Rybníky jsou nejběžnějším typem stojatých vod v ČR sloužící k chovu ryb. V posledních letech nabývají na významu další funkce rybníků (vodohospodářská, rekreační, ekologická aj.), což vede ke zvýšení požadavků společnosti na kvalitu rybníčních vod a tím často k omezení produkce ryb. Jednou z příčin zhoršující se kvality vody v rybnících je i zvyšující se eroze půdy spojená se zanášením rybníků a zvyšováním vrstev sedimentů. Tyto sedimenty jsou převážně tvořeny nejcennějšími díly svrchních vrstev půdy, která je „nenahraditelná“ a tvoří se tisíce let. Logicky přemýšlející člověk by očekával výraznou snahu zemědělců, potažmo státní správy o návrat spláchnuté ornice zpět, na v poslední době stále více degradovanou zemědělskou půdu. Bohužel většina zemědělců nejeví o rybníční sediment žádný zájem a jeho návrat na zemědělsky využívanou půdu je minimální. Dalším významným faktorem je finanční nákladnost aplikace rybníčních sedimentů na půdu, kdy většina nákladů má být hrazena uživatelem rybníka i když ten není jejich původcem. Navíc legislativa [1] klasifikuje sediment jako odpad a řešíme spíše jeho likvidaci místo opětovné aplikace na zemědělské půdy. Požadavky na rozbor těchto sedimentů se týkají především nežádoucích látek a prvků, živinové složení není rozhodujícím faktorem. Tento příspěvek by měl ukázat, že naši předci, kteří dávali rybníční sediment jako „deputát“ svým zaměstnancům, měli pravdu, že jde o výborné hnojivo a ne o odpad.

Metodika

Všechny sledované rybníky patří k typickým mělkým nádržím s bahnitým výjimečně částečně písčitém sedimentem, trofický stupeň od mezotrofie až po hypertrofii (Obrázek 1.). Sedimenty rybníků byly odebírány na plné vodě z lodi pomocí Ekmanova drápáku (0–15 cm) a rovněž při výlovu rybníků za využití kovové lžíce (0–15 cm). Každý vzorek byl tvořen ze směsi minimálně tří dílích vzorků sedimentu a ihned na lokalitě byly odděleny větší částice protlačení vzorku přes kovové síto o průměru ok 2 mm. Takto upravený vzorek byl důkladným promícháním v nádobě homogenizován a uložen do plastových vzorkovnic pro další analýzy.

Ve vzorku sedimentu byla stanovena sušina vysušením části vzorku při 105 °C do konstantní hmotnosti. Na základě sušiny vzorku byl proveden vodný výluh dle [2]. Pro následné oddělení kapalné a tuhé fáze byly použity membránové filtry s velikostí pórů 0,45 µm. Ve výluhu byly stanoveny vybrané parametry (N, P, Ca, CHSK) standardně dle postupů pro analýzy vod [3].

Další část vzorku byla upravena lyofilizací, ve vzorcích byl stanoven obsah uhličitánů, obsah tzv. využitelných/přístupných živin (P, Mg, Ca, K), stanovených ve výluhu (Mehlich III), obsah organických látek spálením vzorku při 550 °C a obsah fosforu, vápníku a železa ve výluhu lučavkou královskou. Analýzy byly prováděny dle jednotných pracovních postupů [4, 5]. Stanovení obsahu dusíku a uhlíku bylo provedeno pomocí CHNS/O analyzátoru FLASH 2000 (ThermoFisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA).



Obrázek 1. Mapa sledovaných rybníků

Výsledky a diskuze

Sumarizované výsledky dlouhodobého monitoringu „živinového“ složení sedimentů rybníků jsou uvedeny v tabulce 1. Zaznamenali jsme výrazné rozdíly sledovaných parametrů nejen mezi jednotlivými rybníky, ale i v různých částech rybníka. K celkovému obrazu o obsahu živin v sedimentech je tak nutno odebrat více vzorků z různých částí rybníka. Nejvyšší koncentrace živin jsou ve většině případů soustředěny v oblasti loviště rybníka.

Sušina sedimentu se u většiny rybníků pohybovala v rozmezí 25 až 45 % (průměrná hodnota sušiny všech sledovaných rybníků byla 37,2 %). Nejvyšší hodnoty sušiny byly zaznamenány u rybníků s vysokým podílem písčitého substrátu (max. 74,7 %), nejnižší u rybníků s vyšším podílem organické hmoty (min. 8,6 %). Stěžejním sledovaným prvkem z hlediska živinového složení a vlivu na eutrofizaci je fosfor (Graf 1.). Hodnoty fosforu ve vodném výluhu sedimentů kolísají v širokém rozmezí s průměrnou hodnotou 3,6 mg.kg⁻¹. Pro tento typ výluhu není v dostupné literatuře srovnání. Obsah fosforu stanovený ve výluhu dle Mehlicha III, tedy stanovení běžně využívané k vyhodnocení živinového složení půd, se v sušině sedimentu rybníků pohyboval v rozmezí

od 1,7 do 225,2 mg.kg⁻¹ s průměrnou hodnotou 25,5 mg.kg⁻¹. Hodnoty fosforu v sedimentech rybníků ve výluhu dle Mehlich III se různí, což jen dokládá velké rozdíly v živinovém složení sedimentů. Udávaná průměrná hodnota fosforu v sedimentech z let 2011–2017 byla 7,2 mg.kg⁻¹ [6], monitoring rybníčních sedimentů z let 1995–2010 udává průměrné hodnoty přístupného fosforu od 30,9 do 46,0 mg.kg⁻¹ v závislosti na typu rybníka [7]. Nejvyšší hodnota 300 mg.kg⁻¹ přístupného fosforu je udávána z rybníka Pospěch [8].

Hodnoty dostupného fosforu v orných půdách jsou ve srovnání s hodnotami ze sedimentů rybníků vyšší. Průměrný obsah přístupného fosforu v orné půdě ČR je cca 90 mg.kg⁻¹ [9, 10, 11]. Výrazně vyšší hodnoty fosforu lze ale nalézt např. na chmelnicích, kde dosahují v průměru 282 mg.kg⁻¹ [9]. Dle vyhlášky MZe [12] je u orných půd za dobrý stav považován obsah dostupného fosforu v rozmezí od 81 do 115 mg.kg⁻¹.

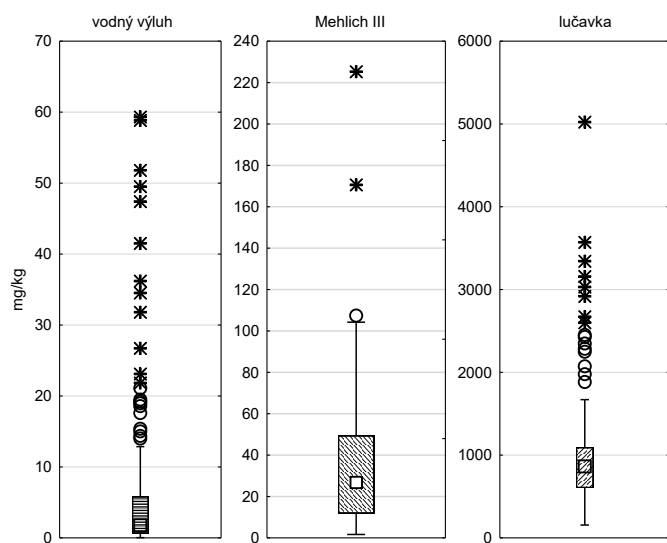
Tabulka 1. Souhrnná charakteristika sledovaných hodnot v sedimentech sledovaných rybníků

				vodný výluh			
	sušina	pH CaCl ₂	organické látky	CHSK _{Cr}	N	P	Ca
	%		%	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹
PRŮMĚR	37,19	6,56	10,76	243	26,7	3,6	306,3
SD	8,95	0,52	3,65	179	30,0	5,4	229,2
min.	8,60	5,09	1,04	10	0,4	0,1	7,0
max.	74,68	7,99	29,36	890	429,0	59,3	2505,0

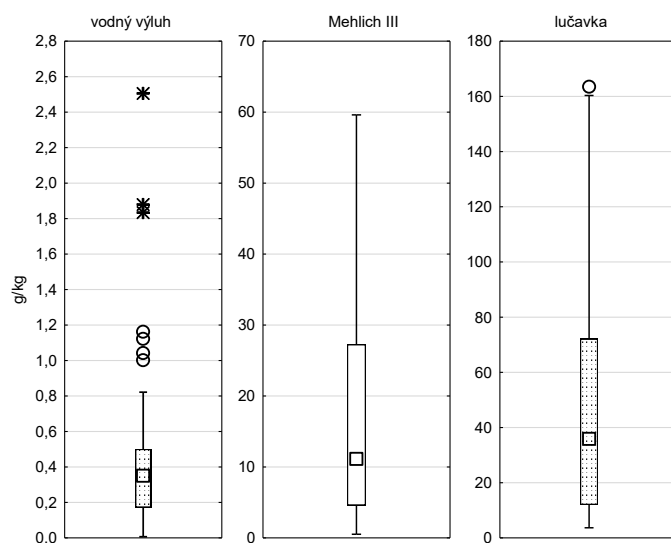
	výluh Mehlich III				výluh lučavka		CHNS	
	P	Ca	Mg	K	P	Ca	N	C
	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹
PRŮMĚR	25,5	18,5	871	272	902,1	46,87	4,82	53,61
SD	19,0	14,8	699	133	338,7	33,32	2,07	20,07
min.	1,7	0,5	66	46	156,0	3,68	0,16	3,50
max.	225,2	59,6	3448	1142	5022,0	163,53	31,20	169,60

Stanovení celkového obsahu fosforu ve výluhu lučavkou královskou ukázalo velké rozdíly mezi jednotlivými rybníky. Průměrná hodnota fosforu ze sledovaného souboru rybníků byla 902,1 mg.kg⁻¹. Vyšší hodnoty fosforu 1113,2 mg.kg⁻¹ ze souboru 28 lokalit udávají Baxa a kol. [6] a ze souboru 8 rybníků

2087,5 mg.kg⁻¹ Potužák a Duras [8]. Průměrný celkový obsah fosforu v roce 2013 byl v orných půdách ČR 726 mg.kg⁻¹. Ve srovnání s lety předešlými došlo od roku 1995 k poklesu obsahu fosforu v půdách o cca 100 mg.kg⁻¹ [10]. Většina rybníků má tak celkový obsah fosforu vyšší než je běžné na zemědělských půdách.



Graf 1. Rozsah hodnot celkového fosforu (mg.kg⁻¹) sedimentu rybníků v různých typech výluhu. Obdélník zobrazuje rozsah hodnot 25–75 %, □ - zobrazuje medián, ○ - odlehlé hodnoty, * - extrémní hodnoty



Graf 2. Rozsah hodnot vápníku (g.kg⁻¹) sedimentu rybníků v různých typech výluhu. Obdélník zobrazuje rozsah hodnot 25–75 %, □ - zobrazuje medián, ○ - odlehlé hodnoty, * - extrémní hodnoty

Zcela jiná je situace s obsahem vápníku při srovnání rybníčních sedimentů a zemědělských půd (Graf 2.). Námi naměřené průměrné hodnoty vápníku byly ve výluhu dle Mehlich III 18,5 g.kg⁻¹ a ve výluhu lučavkou královskou 46,9 g.kg⁻¹. Kubík [7] udává obsah dostupného vápníku v různých typech rybníků v rozsahu 2,2 až 4,8 g.kg⁻¹, Baxa a kol. [6] udávají celkový průměrný obsah vápníku v sedimentech rybníků 11,8 g.kg⁻¹. Velké rozdíly v hodnotách vápníku v sedimentech rybníků jsou mimo podloží

dány hlavně vlivem rybářského hospodaření a realizaci vápnění rybníků.

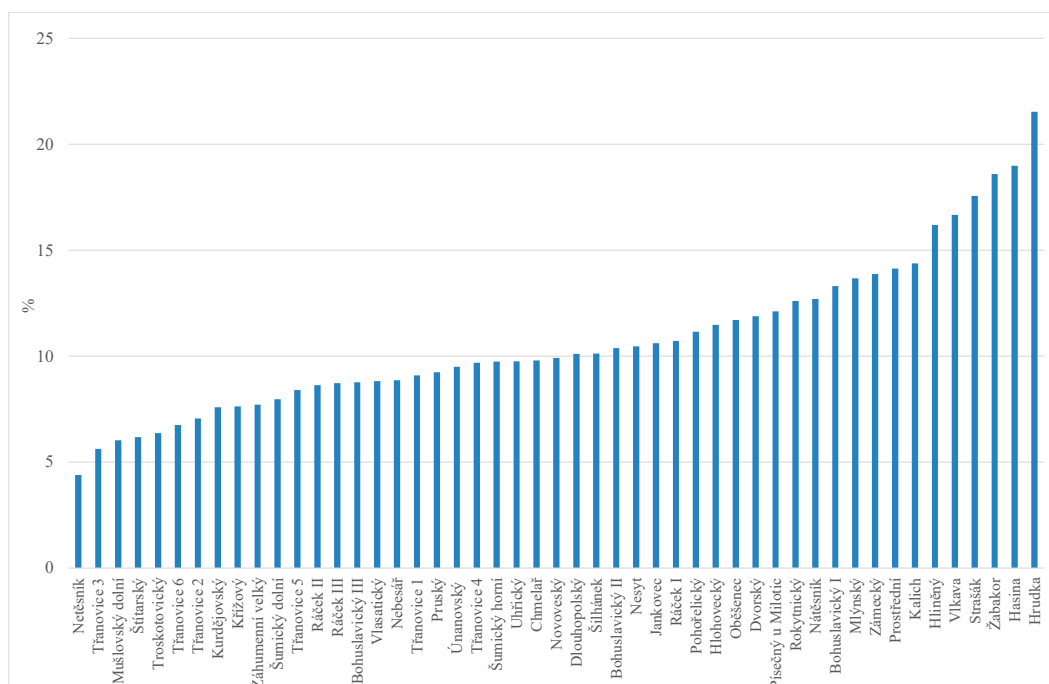
Obsahy vápníku v zemědělských půdách jsou nižší a rovněž velmi variabilní. Průměrný obsah přístupného vápníku v zemědělské půdě ČR činí podle výsledků z let 2005–2014 2,8 g.kg⁻¹, v orných půdách 3,0 g.kg⁻¹ [9, 11]. Celkový obsah vápníku v orných půdách činí 4,6 g.kg⁻¹. Od roku 1995 obsah přístupného i celkového vápníku v zemědělských půdách vykazuje setrvalý pokles [10].

Množství organické hmoty (vyjádřené jako spalitelný podíl) je v sedimentech rybníků vysoké (Graf 3.). V rybnících, které jsme sledovali, byl průměrný obsah organických látek 10,76 %. Průměrnou hodnotu 15,6 % především z jihočeských rybníků udává Baxa a kol. [6] a z různých typů rybníků (polní 8,43 %, návesní 9,52 %, lesní 10,43 %) Kubík [7]. Přes značné rozdíly mezi jednotlivými rybníky je zřejmý vysoký podíl organické hmoty ve srovnání se zemědělskou půdou, kde se obsah organické hmoty stále snižuje.

Množství organické hmoty je jedním z nejdůležitějších ukazatelů vypovídající o kvalitě zemědělských půd. Podíl organické hmoty v půdách se nejčastěji vyjadřuje v % organického uhlíku (C_{ox}). Dlouhodobé sledování ukazuje poměrně úzké rozpětí průměrného obsahu organického uhlíku zemědělských půd

od 1,24 do 2,12 %. Průměr i medián C_{ox} pro ČR činí 1,55 % [13]. Ke srovnání hodnot organické hmoty stanovené pomocí metody spalitelného podílu (550 °C) ze sušiny sedimentu lze využít koeficient 1,72, kterým se hodnoty C_{ox} vynásobí.

Celkové množství uhlíku, které se nachází v sedimentech, vykazuje značné rozdíly mezi jednotlivými rybníky. V rybnících, které jsme sledovali, byl průměrný obsah uhlíku 53,61 g.kg⁻¹. Zjištěné hodnoty jsou srovnatelné s výsledky analýz sedimentů rybníků v Anglii nebo Polsku [14, 15], kdy bylo rovněž zjištěno široké rozmezí naměřených hodnot. Podobně i zjištěné hodnoty obsahu dusíku (průměrný obsah 4,82 g.kg⁻¹) jsou srovnatelné s jinými rybníky v Evropě [15].



Graf 3. Průměrný obsah organické hmoty v rybnících vyjádřený jako spalitelný podíl ze sušiny sedimentu.

Závěr

K celkovému zhodnocení kvality sedimentů rybníků bude potřeba další důkladné vzorkování a sledování co největšího počtu rybníků z různých oblastí ČR. Přes výrazné rozdíly hodnot mezi rybníky i rozdíly v jednotlivých částech rybníka je živinové složení rybníčních sedimentů velmi vhodné k aplikaci na zemědělské půdy. Sedimenty rybníků mají ve srovnání se zemědělskou půdou především vysoký podíl organické hmoty a vápníku. Naopak podíl dostupného fosforu dosahuje ve srovnání s půdou nižších hodnot. Rovněž obsah dostupného hořčíku a celkového fosforu je vyšší v sedimentech rybníků oproti zemědělské půdě. Srovnatelný je obsah draslíku a celkového hořčíku. Uhlík uložený v rybníčních sedimentech je objemově vyšší než v mnoha jiných suchozemských biotopech. Ukazuje se, že rybníky mohou hrát i významnou roli z hlediska sekvestrace uhlíku.

Přes pozitivní složení živin brání většímu využití sedimentů rybníků k aplikaci na zemědělské půdy především platná legislativa a minimální podpora státní správy. Přestože se v případě

rybníčních sedimentů jedná o erozně spláchnutý nejcennější díl svrchních vrstev půdy, která je „nenahraditelná“ a tvoří se tisíce let, klasifikujeme sediment jako odpad a řešíme jeho likvidaci místo opětovné aplikace na zemědělské půdy. Navíc nákladné odtěžení sedimentů a jejich navrácení na zemědělskou půdu leží na majitelích a nájemcích rybníků a ne na majitelích a nájemcích pozemků, z kterých se sediment do rybníků dostal.

V podmínkách klimatické změny při současných stále se prohlubujících problémech hospodaření s vodou, je opětovná aplikace rybníčních sedimentů na zemědělskou půdu jednou z cest, jak zlepšit kvalitativní parametry půd, dodat chybějící organické látky a zvýšit objem vody zadržené v krajině.

Poděkování

Výstupy publikace byly zpracovány v rámci projektu PROFISH CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000869, který je podpořený z Evropského fondu pro regionální rozvoj v rámci operačního programu VVV MŠMT a projektu NAZV QK1810161 Udržitelná produkce ryb v rybnících v podmínkách klimatických změn.

Literatura

- [1] Vyhláška č. 275/1998 Sb. Vyhláška Ministerstva zemědělství o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků.
- [2] ČSN EN 12457-4 Charakterizace odpadů – Vyluhování – Ověřovací zkouška vyluhovatelnosti zrnitých odpadů a kalů – Část 4: Jednostupňová vsádková zkouška při poměru kapalné a pevné fáze 10 l/kg pro materiály se zrnitostí menší než 10 mm (bez zmenšení velikosti částic, nebo s ním). 2003, 24 s.
- [3] HORÁKOVÁ, M. (ed.) *Analytika vody*. Praha, VŠCHT, 2007, 335 s. ISBN 978-80-7080-520-6
- [4] ZBÍRAL, J., ČIŽMÁROVÁ, E., OBDRŽÁLKOVÁ, E., RYCHLÝ, M., VILAMOVÁ, V., SRNKOVÁ, J., ŽALMANOVÁ, A *Jednotné pracovní postupy – Analýzy půd I*. 2016, ÚKZÚZ Brno, 350 s. ISBN 978-80-7401-123-8.
- [5] ZBÍRAL, J., a kol. *Jednotné pracovní postupy – Analýzy půd II*. ÚKZÚZ Brno, 230 s. ISBN 978-80-7401-040-8.
- [6] BAXA, M., ŠULCOVÁ, J., KRÖPFELOVÁ, L., POKORNÝ, J., POTUŽÁK, J. *The quality of sediment in shallow water bodies – Long-term screening of sediment in Czech Republic. A new perspective of nutrients and organic matter recycling in agricultural landscapes*. Ecological Engineering, 2019, 127: 151-159.
- [7] KUBÍK, L. *Monitoring rybníčních a říčních sedimentů, Průběžná zpráva 1995–2010*. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně, 2011, Brno, 24 s.
- [8] POTUŽÁK, J. DURAS, J. *Retence živin v rybnících – význam, hodnocení a možnosti jejího využití*. Vodní hospodářství, 2015, 7: 7-15.
- [9] KLEMENT, V., SMATANOVÁ, M., TRÁVNÍK, K. *Padesát let agrochemického zkoušení zemědělských půd v České republice*. ÚKZÚZ Brno, 2012, 96 s. ISBN 978-80-7401-062-0
- [10] PRÁŠKOVÁ, L., NĚMEC, P. *Bazální monitoring zemědělských půd půdní reakce a obsah živin 1995 – 2013*. ÚKZÚZ Brno, 2016, 66 s.
- [11] SMATANOVÁ, M., SUŠIL, A. *Výsledky agrochemického zkoušení zemědělských půd za období 2009 - 2014*. ÚKZÚZ Brno. 2015, 106 s. ISBN 978-80-7401-114-6.
- [12] Vyhláška č. 275/1998 Sb. Vyhláška Ministerstva zemědělství o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků.
- [13] SMATANOVÁ, M., FLORIÁN, M. *Hodnocení vybraných parametrů půdní organické hmoty v zemědělských půdách ČR. Průběžná zpráva za roky 2014–2019*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Brno, 2021, 31 s.
- [14] GILBERT, P.J., TAYLOR, S., COOKE, D.A., DEARY, M.E., JEFFRIES, M.J. *Quantifying organic carbon storage in temperate pond sediments*. Journal of Environmental Management, 2021, 280, 111698
- [15] DRÓŽDŽ, D., MALIŇSKA, K., MAZURKIEWICZ, J., KACPRZAK, M., MROWIEC, M., SZCZYPIÓR, A., POSTAWA, P., STACHOWIAK, T. *Fish pond sediment from aquaculture production – current practices and the potential for nutrient recovery: a Review*. International Agrophysics 2020, 34(1): 33–41.

RYBNÍK ROŽMBERK – LÁTKOVÁ BILANCE A KVALITA VODY

Jan Potužák, Aneta Mondeková, Jindřich Duras, Michal Marcel

¹Povodí Vltavy, státní podnik, vodohospodářská laboratoř Č. Budějovice, E. Pittera 1, 370 01 České Budějovice, tel. 385 102 459, jan.potuzak@pvl.cz

²Povodí Vltavy, státní podnik, oddělení plánování v oblasti vod, Denisovo nábřeží 14, 304 20 Plzeň, tel. 377 307 352, e-mail, jindrich.duras@pvl.cz

Abstrakt

Rybník Rožmberk je největším rybníkem v České republice. Zásadním způsobem ovlivňuje kvalitu vody středního a dolního toku řeky Lužnice. Rybník dlouhodobě vykazuje silně eutrofní stav s výrazným nárůstem koncentrace celkové fosforu v letním období. Od roku 2010 se v pravidelných intervalech realizuje fosforový bilanční monitoring. Aktuální výsledky ukázaly (2020 a 2021), že po započtení potenciální retence, z rybníka navíc odeče ~11–12 tun fosforu za (jednoletý) hospodářský cyklus. Rožmberk tedy představuje významný emisní zdroj fosforu i pro níže ležící vodní nádrž Orlík. Příčinou vysokého eutrofního stavu a tím i snížené schopni zadržovat fosfor, je zejména historické zatížení sedimentů. Nedořešeným zdrojem znečištění jsou odlehčované odpadní vody z města Třeboň. Nápravná opatření by měla být cíleně zaměřena zejména na redukcí živinově nejvíce zatížených sedimentů, provedení revize odlehčovacích poměrů na centrálním kanalizačním přivaděči ČOV Třeboň a realizaci opatření, která v Třeboni povedou ke snížení odtoku dešťové vody do městské kanalizace.

Klíčová slova: rybník Rožmberk, eutrofizace, fosforová bilance, sediment, recyklace fosforu

Abstract

The Rožmberk fishpond, the largest in the Czech Republic, is a highly flushed waterbody. It has high impact on water quality of Lužnice River. Rožmberk is highly eutrophic, that until recently was heavily loaded by wastewater from a nearby pig farm. Moreover, this fishpond suffers from one of the highest watershed phosphorus loads, resulting in high negative phosphorus retention between 2010 and 2022. Actual results show that, fishpond released approx. 11–12 t of phosphorus per a one-year fish production cycle (potential retention was included). Therefore, Rožmberk is the important source of phosphorus for Orlík Reservoir situated downstream. The main cause of negative TP retention in Rožmberk remains the high phosphorus content in sediment originating from historical nutrient overloading. The second important TP source are waste waters from Třeboň City. For restoration of Rožmberk it is necessary to mine phosphorus rich sediments and to reduce the input of waste waters during rain events.

Key words: fishpond Rožmberk, eutrophication, phosphorus balance, sediment, phosphorus recycling

Úvod

Rybník Rožmberk (449 ha) je největším rybníkem v povodí údolní nádrže Orlík a současně i největším rybníkem České republiky. Díky velké ploše povodí (bezmála 1200 km²) má významný vliv na akumulaci vody v krajině. Zásadně transformuje tok živin a zřetelně tak ovlivňuje kvalitu vody středního a dolního toku řeky Lužnice. Jedná se o silně průtočný rybník (běžná doba zdržení 20–30 dní), který byl v minulosti vystaven řadě znečišťujících vlivů. Jednalo se zejména o zaústění části nečištěných odpadních vod (surové kejdy) z velkovýkrmny prasat R.A.B (dříve Gigant), či nedostatečně čištěných odpadních vod z města Třeboň. Aktuálním majitelem a současně hospodařícím subjektem je Rybářství Třeboň Hld. a.s., které na rybníku realizuje polointenzivní způsob hospodaření (příkrmování ryb obilovinami, bez organického hnojení). Dominantní podíl v rybí obsádce má kapr.

V období mezi lety 2010 a 2011 byl zrušen provoz velkovýkrmny prasat R.A.B a současně se zrekonstruovala a zmodernizovala ČOV Třeboň. Od roku 2012 přešlo Rybářství Třeboň z původně dvouhorkového (výlov jednou za dva roky) na jednohorkový způsob hospodaření (výlov každý rok).

Rožmberk dlouhodobě vykazuje silně eutrofní stav a již v minulosti byl označen za významný zdroj fosforu [1]. Zajímavou otázkou tedy bylo, jak se z pohledu retence fosforu bude rybník chovat po eliminaci významných zdrojů znečištění. Na tuto otázku měl odpovědět systematický živinově-bilanční monitoring, realizovaný poprvé v letech 2010 až 2014 státním podnikem Povodí Vltavy. Výsledky ukázaly, že bilance celkového fosforu (dále jen Pc) byla kromě roku 2011 vždy negativní tzn., že více fosforu z rybníka oteklo, než činily vnější vstupy (navíc oteklo 1,8 – 4,5 t Pc). Negativní role rybníka z pohledu retence Pc vynikla zejména při porovnání, s množstvím Pc, které měl rybník podle teoretické doby zdržení vody zadržet (navíc oteklo 2,2 – 7,8 t Pc). Taková situace byla vysvětlena tím, že v rybníce se nachází velké zásoby sloučenin fosforu v sedimentech, odkud se fosfor postupně uvolňuje [2].

Jedním z potenciálních nápravných opatření se tedy zdála být těžba sedimentů. V posledních letech Rybářství Třeboň zavedlo pravidelné odsávání sedimentu z loviště pomocí sacího bagru. Odvodněný sediment se pak následně aplikuje na zemědělskou půdu. Tímto způsobem se z rybníka odstraní přibližně 1,2 tuny fosforu ročně. Podrobnější informace o celkovém množství sedimentu a koncentracích v něm obsaženého fosforu však nebyly doposud z rybníku Rožmberk k dispozici.

Cílem tohoto příspěvku je představit aktuální data získaná bilančním monitoringem (zejména sloučenin fosforu) v letech 2020–2021. Dále budou prezentována data z jednorázového monitoringu kvantity a kvality sedimentů. Záměrem je ukázat, jak významně ovlivňuje rybník Rožmberk kvalitu vody řeky Lužnice, představit možnosti zlepšení a upozornit na potenciálně využitelné obrovské zásoby fosforu v sedimentech.

Materiál a metody

Jako samostatný vodní útvar je rybník Rožmberk v rámci provozního monitoringu vzorkován pravidelně od roku 2007. V rámci tohoto monitoringu je sledována kvalita vody ve směsných vzorcích (0–2 m) v prostoru u hráze 1x měsíčně v období duben až říjen.

Provozní monitoring Rožmberka byl v roce 2010 doplněn o vzorkování s cílem stanovení živinové bilance. První cyklus živinové bilančního monitoringu trval do roku 2014. Druhý cyklus započal výlovem v roce 2019 a trvá do současnosti. Postup bilančního monitoringu probíhá od roku 2010 ve stejném režimu. Jedná se o vzorkování všech hlavních přítoků a odtoků včetně stanovení aktuálního průtoku vody (přímé měření přístrojem FlowTracker (SonTek) nebo odečtem průtoku z limnigrafických stanic). Frekvence vzorkování během hospodářského cyklu je převážně čtrnáctidenní, v období výlovů se zkracuje na jednodenní, tehdy je bodový odběr na některých profilech doplněn o vzorkování pomocí automatických vzorkovačů, kdy se získává 24hodinový sléváný vzorek.

Rozsah analyzovaných parametrů se v průběhu let měnil, ale v základu se jednalo o stanovení hlavních živin (fosfor, dusík a uhlík) a jejich forem a nerozpuštěných a organických látek. V rybníce byla dále měřena průhlednost vody a zjišťována koncentrace chlorofylu *a*. Vzorkován byl fytoplankton a zooplankton (hodnocení těchto parametrů není cílem toho příspěvku).

Na podzim roku 2021 byl proveden průzkum sedimentů rybníka Rožmberk s cílem získat podrobné informace nejen o kvantitě a kvalitě sedimentů, ale také o aktuální batymetrii rybníka Rožmberk. Rybník byl rozdělen na transekty, kde na jednotlivých bodech pomocí pichané sondy a jádrového sběrače (tzv. corer) byla zjišťována mocnost sedimentu a jeho podílové složení. Polohy jednotlivých odběrů byly zaznamenávány do GPS a do mobilního telefonu skrze aplikace Mapy.cz (z důvodu zálohy dat). Body byly následně převedeny na souřadnice SJTSK a použity (SW Surfer 8) pro konstrukci batymetrické mapy a pro výpočet objemu vody, plochy a celkového množství sedimentu. V rámci průzkumu

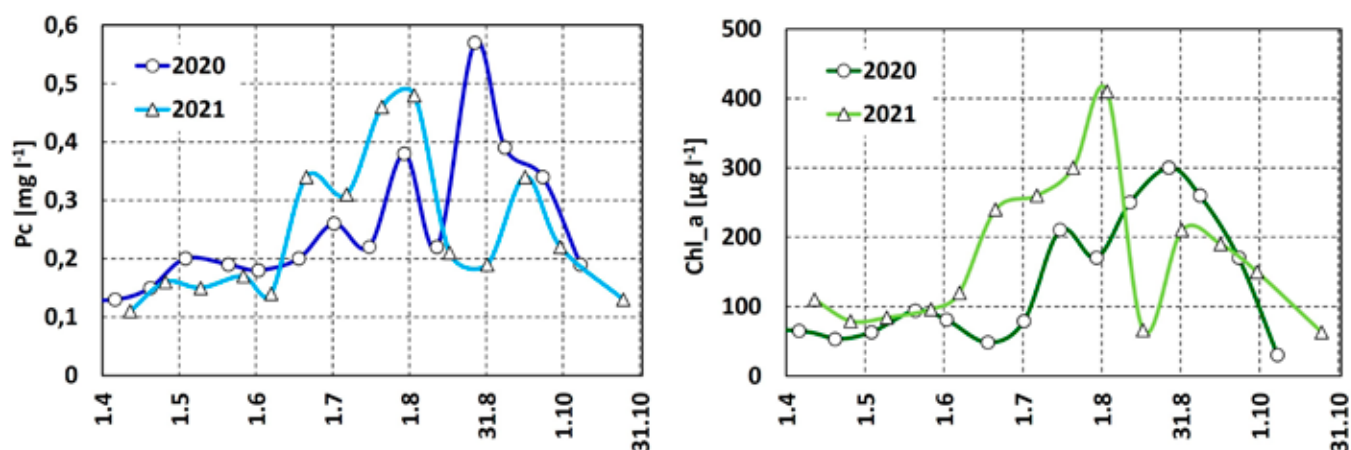
mu byly současně odebrány vzorky sedimentů v různé mocnosti (0–60 cm) reprezentující určitou oblast dna s homogenním složením. Tyto vzorky byly prozatím analyzovány pouze z pohledu koncentrace hlavních živin (fosfor, dusík, uhlík) a sumárního obsahu organických látek (ztráta žíháním, organický uhlík).

Výsledky a diskuze

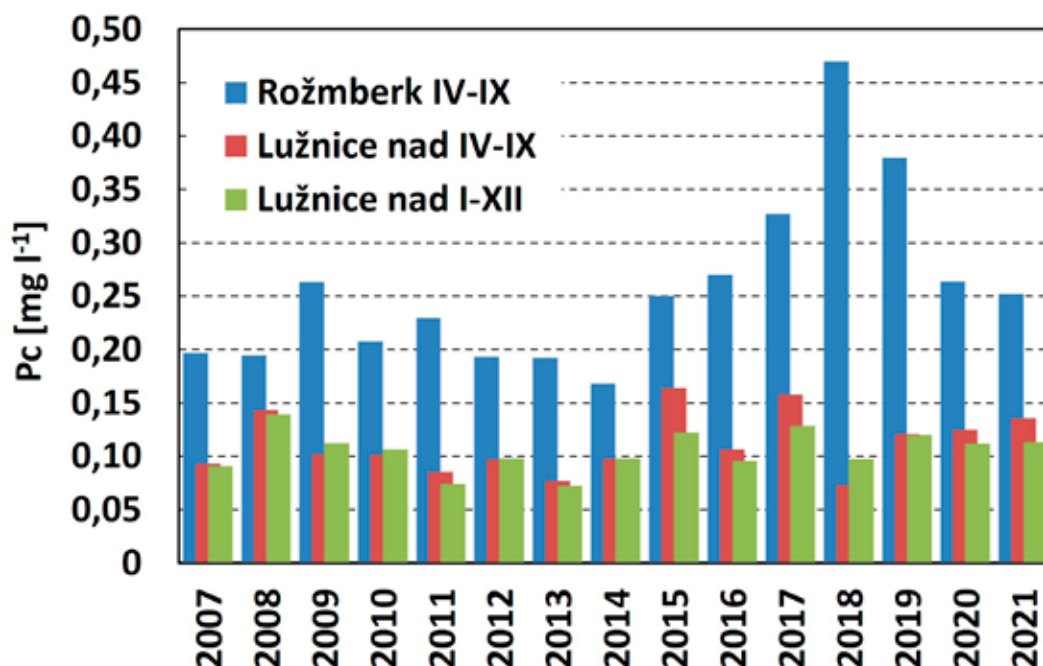
Aktuální průběh koncentrace fosforu v povrchové vrstvě rybníka Rožmberk

Koncentrace P_c se v průběhu vegetační sezóny 2020 a 2021 pohybovaly od 0,11 do 0,57 mg l^{-1} . V roce 2020 byla maximální koncentrace fosforu 0,57 mg l^{-1} a v roce 2021 0,48 mg l^{-1} . Koncentrace fosforu byla v průběhu obou vegetačních sezón značně variabilní (obr. 1). Aktuální poměry v rybníce jsou závislé nejen na počasí (aktivní promíchávání vody v chladném větrném období), ale také na průtocích přitékající vody. Lužnice, kde jsou dlouhodobě zjišťovány nižší koncentrace sloučenin fosforu než v rybníce Rožmberk (obr. 2) tak může díky značné průtočnosti rybníka vyplavit fosforem bohatou vodu a nahradit ji vodou s nižší koncentrací fosforu. Zvýšená koncentrace P_c v Rožmberku v suchých letech 2015–2019, byla pravděpodobně způsobena procesem uvolňování fosforu uloženého v sedimentech vlivem rovnovážných reakcí. Tento proces se výrazně uplatnil právě v suchých letech, kdy se se silně prodlouženou teoretickou dobou zdržení vody v rybníce projevil mnohem výrazněji vnitřní děje oproti vlivu vody přitékající Lužnicí.

Dalším důvodem zvyšování koncentrace fosforu v průběhu vegetační sezóny je jeho akumulace v biomase fytoplanktonu (obr. 1). To je i důvod relativně nízkých průměrných koncentrací fosforečnanového fosforu (průměr za vegetační sezónu 2020 = 0,021 mg l^{-1} a 0,017 mg l^{-1} za vegetační sezónu 2021). Nesmíme také opomenout jednorázové, avšak významné vstupy fosforu, které se do rybníka dostávají v průběhu odlehčování odpadních vod ČOV Třeboň [2].



Obrázek 1. Průběh koncentrace celkového fosforu (P_c) a chlorofylu *a* (Chl_a) v povrchové vrstvě (0–1 m) rybníka Rožmberk během vegetační sezóny 2020 a 2021.

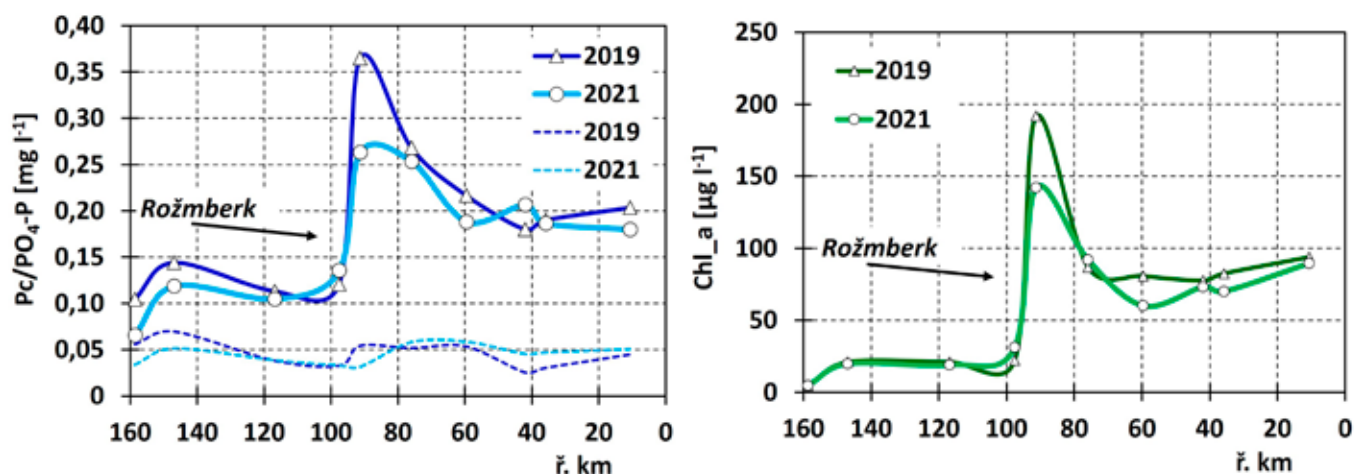


Obrázek 2. Průměrné koncentrace celkového fosforu v Lužnici nad Rožmberkem (profil Stará Hlína) a v rybníku Rožmberk (odběrový profil u hráze) za období 2007-2021. Roční průměr (I – XII) a průměr za vegetační sezónu (IV – IX).

Rožmberk a jeho vliv na řeku Lužnici

Průběh koncentrací Pc v podélném profilu řeky Lužnice jednoznačně ukazuje na významný negativní vliv rybníka Rožmberk na eutrofizaci středního a dolního toku této významné jihočeské řeky (obr. 3). Intenzita jeho negativního vlivu je dána zejména jeho průtočností. V hydrologicky suchých letech jsou koncentrace Pc na odtoku do Lužnice vyšší. Příčinou je, že se do popředí dostávají pochody spojené s vnitřním historickým zatížením ryb-

níka Rožmberk. Samostatnou kapitolou je také aktuální zatížení odlehčovými odpadními vodami z města Třeboň. V rámci cíleného monitoringu několika takovýchto epizod bylo zjištěno, že odlehčování OV probíhá již od úhrnu srážek cca 2 mm. Důsledek je pak extrémní zvýšení koncentrací fosforu (zjištěné maximum $P_c = 8,7 \text{ mg l}^{-1}$) ve Spolském potoce a Prostřední stoce, které se pak následně dostávají do rybníka Rožmberk [2].



Obrázek 3. Průběh průměrné (duben–září) koncentrace celkového fosforu (P_c , plná čára), fosforečnanového fosforu ($PO_4\text{-P}$, přerušovaná čára) a chlorofylu a (Chl_a) v podélném profilu řeky Lužnice v letech 2019 a 2021.

Fosforová bilance rybníka Rožmberk v letech 2020 a 2021

Množství P_c ve vodě rybníku Rožmberk v průběhu vegetační sezóny 2020 se pohybovalo od 770,9 kg do 3 380,1 kg, ve vegetační sezóně 2021 od 652,3 kg do 2 846,4 kg. Obsah P_c se tedy v průběhu každé vegetační sezóny pohyboval v širokém rozmezí, a to v závislosti na variabilitě jeho koncentrace ve vodě. Tato zásoba představuje, zejména při vysoké průtočnosti Rožmberka, značné eutrofizační riziko pro níže ležící povodí, tedy i pro vodní nádrž (VN) Orlík. Pro VN Orlík byla stanovena žádoucí koncentrace fosforu na všech jeho přítocích v úrovni 0,06 mg l⁻¹ P_c [3]. Při zvýšeném průtoku vody se může během několika málo dnů veškerá voda s nahromaděným fosforem dát do pohybu. Vzhledem k vodní nádrži Orlík je riziko o to větší, že se jedná o teplou vodu s bohatým inokulem sinic a tato voda se zařadí do horních vrstev vody v nádrži, kterou tak obohatí fosforem a podpoří zde rozvoj sinicových vodních květů.

V rámci bilancovaných hospodářských cyklů byla průměrná teoretická doba zdržení vody (HRT) 38 dní (2020) resp. 22 dní (2021). Potenciální retence fosforu vypočtená na základě HRT byla na úrovni 37 % (2020) resp. 32 % (2021) (vypočteno dle [4]).

Během hospodářského cyklu 2020 vykazoval rybník Rožmberk negativní retenci, kdy oteklo o 55 % více fosforu (-6,5 t P), než se dostalo do rybníka s přítoky. Akvakultura na celkové bilanci tvořila pouze ~1,2 %. Během poslední fáze výlovu oteklo značné množství fosforu, a to 3,36 t, z toho pouhé 2,5 % bylo tvořeno fosforem rozpuštěným. Většina fosforu byla vázána na nerozpuštěné látky. Celkem z rybníka během hospodářského cyklu oteklo včetně výlovu ~22 tun fosforu. Rozdíl mezi zjištěnou a potenciální retencí byl pak ~11 t P_c. Rozpuštěný fosfor vykazoval pozitivní retenci, a to 44 % (rybník zadržel 2,3 t), což je dáno z části asimilací fosforu fytoplanktonem a dále pak navázáním fosforu na nerozpuštěné částice. Nešlo tedy o skutečnou retenci fosforu, ale pouze o převedení PO₄-P do nerozpustných sloučenin a komplexů.

Obdobně jako v bilancovaném období roku 2020, vykázal Rožmberk i v navazujícím hospodářském cyklu (2021) negativní fosforovou bilanci. Z rybníka oteklo o 48 % více fosforu, než přiteklo, tj. ~7 tun. Rozdíl mezi reálnou a potenciální retencí činil téměř 12 t P_c. Rozpuštěná forma fosforu byla z velké části opět navázaná na biomasu fytoplanktonu, a tudíž tuto formu rybník transformoval. Během výlovu v roce 2021 oteklo 7,4 t P_c, z toho 0,27 % bylo ve formě rozpuštěné. Celkem z rybníka Rožmberk oteklo včetně výlovu 21,8 t P_c.

Na základě výsledků z přechozích let 2010–2014, kdy byl proveden propočet látkové bilance, se situace na rybníce příliš nezměnila. Rybník v roce 2020 a 2021 opět vykázal negativní retenci fosforu. Rybník se stále vyrovnává s vnitřními zásobami fosforu, kterým byl několik dekád systematicky přetěžován.

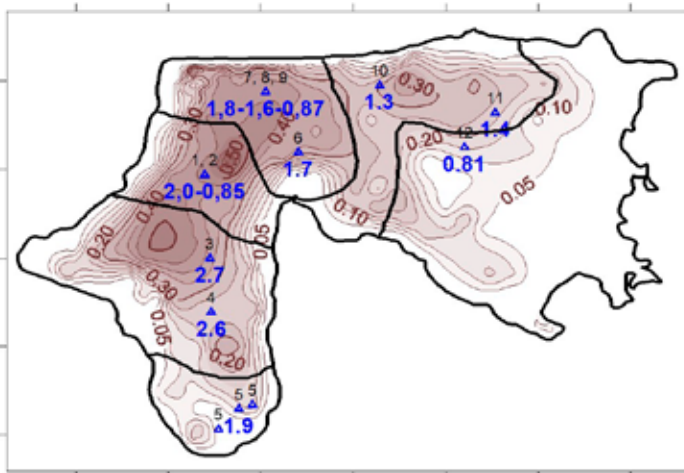
Průzkum rožmberských sedimentů

V rámci průzkumu sedimentu během září 2021 bylo zjištěno, že v rybníce Rožmberk je ~670 000 m³ sedimentu, který obsahuje ~264 t fosforu. To je obrovská zásoba schopná se zapojit do vnitřních dějů v rybníku, jako je právě uvolňování do vodního sloupce vlivem rovnovážných reakcí [5]. Při snížení obsahu fosforu po vyplavení zvýšenými průtoky došlo v sezóně 2020 i 2021 k rychlému doplnění obsahu fosforu ve vodním sloupci přestupem ze sedimentu – zvýšené koncentrace P_c v grafech sezónního průběhu (obr. 1). Vzhledem k tomu, že každý rok odejde z rybníka několik tun P_c navíc oproti vstupu přítoky, je v sedimentu teoretická zásoba na minimálně 30 let. Množství fosforu obsažené

v rybničním sedimentu je nejenom značná hrozba pro VN Orlík, ale rovněž i příležitost pro znovuvyužití, tj. recyklaci živin [6].

Porovnáme-li oblast Rožmberka, kde přitéká řeka Lužnice, se zátokou napájenou Prostřední stokou, kam byly v minulosti zaústěny odpadní vody z velkochovu prasat (R.A.B.) a kam ústí odpadní vody z ČOV Třeboň, je vidět, že vyšší mocnosti sedimentu, se nachází v této zátocě. Sediment v této oblasti je zároveň velmi bohatý fosforem (obr. 4). V části přilehlé k ústí Lužnice převážoval písčité sediment, protože jeho jemná a snadno resuspendovatelná frakce byla transportována proudem protékající vody dále ke hrázi. Prostor oblasti loviště nebyl tak zanesený sedimentem, jak by se očekávalo, vzhledem k nedávno (několik týdnů) provedenému odsátí sedimentu sacím bagrem.

Před výlovy v roce 2020 a 2021 proběhlo odbahnění loviště, kdy v každém z po sobě jdoucích let bylo odstraněno ~3 600 m³ sedimentu. Odhadem tedy bylo každý rok z rybníka tímto způsobem odstraněno 1,2 t P_c, a to za předpokladu, že s každým 1 tis. m³ se odstraní přibližně 328 kg P_c. Vytěžený sediment byl čerpán do lagun, kde byl odvodněn a následně aplikován na zemědělskou půdu (po provedení potřebných rozborů). Domníváme se, že při odbahňování loviště rybníka sacím bagrem je nutné tento výstup zahrnout do celkové bilance. Odstraňování fosforu odtěžením sedimentu sacím bagrem má smysl nejen z pohledu projektu zlepšení kvality vody ve VN Orlík, ale také z pohledu moudrého hospodaření s fosforem, klíčovou živinou, jejíž zásoby na Zemi jsou silně omezené. Recyklace fosforu s rybničním bahnem na zemědělskou půdu je třeba podporovat a dále rozvíjet. V případě rybníka Rožmberk se zatím jednalo o zanedbatelné množství v porovnání s celkovou zásobou usazenin. Za předpokladu, že se v rybníce Rožmberk nachází okolo 670 000 m³ sedimentu, pak při odsávání 3 600 m³ za rok by veškeré odstranění sedimentu trvalo přibližně 186 let. Samozřejmě pokud by se do rybníka žádný další materiál z výše ležícího povodí nedostával.



Závěry

Aktuální výsledky potvrdily přetrvávající vysoce eutrofní stav rybníka Rožmberk. V letech 2020 a 2021 vykázal rybník negativní bilanci fosforu. Po započtení potenciální retence se jednalo o množství ~11–12 tun P_c, které z rybníka za jednoletý hospodářský cyklus oteklo navíc! Podíl rybářského hospodaření na celkové bilanci dlouhodobě nepřesahuje hranici 5 %. Vstupy a výstupy rybářského hospodaření jsou převážně vyrovnané.

Hlavní příčinu vysoce eutrofního stavu můžeme hledat zejména ve staré živinové zátěži, která se nachází v sedimentech. Významným, i když nepravidelným zdrojem jsou odlehčované odpadní vody z města Třeboň.

Nápravná opatření cílící nejen na snížení úrovně trofie Rožmberka, ale na dramatické omezení fosforové zátěže VN Orlík, by měla být cíleně zaměřena zejména na redukci zásob sloučenin fosforu v sedimentech. Kompletní odbahnění je za současné situace pravděpodobně nereálné. Možným řešením je, ale soustředit se na – alespoň postupné – odtěžení sedimentů z oblasti zátoky Prostřední stoky, kde se nachází nejrizikovější sediment s nejvyššími koncentracemi fosforu. Stávající pravidelné odstraňování sedimentu sacím bagrem před výlovem, včetně jeho následné aplikace na zemědělskou půdu, má sice zatím minoritní vliv na snížení živinové zátěže rybníka Rožmberk, ale ukazuje praktický příklad dobré praxe: recyklace živin a organických látek v mikropovodí. Pro systematickou podporu takového přístupu hovoří nejen potřeba naučit se moudře hospodařit s fosforem, ale také aktuálně vzrůstající cena vstupů do zemědělské výroby.

Snížení živinové zátěže přicházející do Rožmberka prostřednictvím odlehčovacích komor, je v prvním kroku otázkou revize odlehčovacích poměrů na kanalizační síti. Dlouhodobě je nevyhnutelné se věnovat retenci srážkové vody v ploše města Třeboň a převádění nadbytku dešťovky do povrchových vod jinak než jednoduchou kanalizací. Zatím se zdá, že kromě fosforu neumíme moudře hospodařit ani s vodou.

Výsledky získané v průběhu uplynulých dvanácti let ukázaly, že fosforové dědictví v rybníčním bahně nedovolí zlepšení živinových poměrů ani v Rožmberku a Lužnici pod ním, ale ani ve VN Orlík. Bez vyřešení živinové zátěže v sedimentech nedojde ani k obnově přirozené schopnosti rybníka zadržovat sloučeniny fosforu a nejen nezhoršovat, ale i zlepšovat kvalitu vody, která jím protéká.

Náš největší rybník může sloužit jako dostatečně zřetelný příklad ukazující dosud opomíjené možnosti recyklace živin a organicky vázaného uhlíku. Ukazuje ale také nutnost věnovat se systematickému řešení rybníčních sedimentů, které určují i chování všech ostatních rybníků – a je jistě rozdíl, jestli nám tisíce rybníků budou pomáhat fosfor zadržovat nebo budou touto klíčovou živinou naopak povrchové vody obohacovat.

Literatura

- [1] Langhansová M., 2002. Rybník Rožmberk 2000–2001 - Interní zpráva Povodí Vltavy, s.p., České Budějovice, 10 s.
- [2] Duras, J., 2021. Lovci tornád po česku, *Limnologické noviny* 2/2021, 16 s, ISSN 1212–2920.
- [3] Sdružení Sweco + Aquatis zastoupené společností Sweco Hydroprojekt a.s., 2021. Studie proveditelnosti opatření ke snížení dotace fosforu do vodního díla Orlík. Jihočeský kraj – Odbor životního prostředí, zemědělství a lesnictví, 135 s.
- [4] Hejzlar, J., Šámalová, K., Boers, K., Kronvang, B., 2006. Modelling phosphorus retention in lakes and reservoirs. *Water Air Soil Pollut Focus* 6, 487–494 s.
- [5] Borovec, J., Jan, J., Hejzlar, J., Krása, J., Rosendorf, P., 2012. Eutrofizační potenciál erozních částic v nádržích. Konference vodní nádrže, 26.–27. září, 2012, Brno: Povodí Moravy, 135 s. (57–61 s.).
- [6] Baxa, M., Baxová Chmelová, I., Benedová, Z., Duras, J., Hrubec, R., Kröpfelová, L., Novotný, O., Pokorný, J., Potužák, J., Svoboda, T., Šulcová, J., 2017. Technologický postup recyklace živin z rybníčních sedimentů s využitím sacího bagru, integrované stanice pro dávkování flokulantu a geotextilních vaků pro lokální aplikaci v mikropovodí. Certifikovaná metodika, Třeboň: ENKI, o.p.s., 63 s., ISBN 978-80-905483-0-5.

FOSFOR, EUTROFIZACE VOD – TECHNICKÉ MOŽNOSTI A SOUČASNÝ PŘÍSTUP K ŘEŠENÍ

Ing. Jan Foller a kolektiv

Ing. Jan Foller, Sadová 369/23, 664 49 Ostopovice, tel. 739 463 845, foller@adchem.cz

Abstrakt

Na základě souhrnného přehledu, současně dostupných technologických možností řešení chemické eliminace fosforu z odpadních vod a dosažitelných odtokových koncentrací, je na příkladu praktických výsledků reálných aplikací, posuzována současná praxe v ochraně vodárenských nádrží, jako zdrojů pitné vody. Referát ukazuje na příkladu reálné vodárenské nádrže současný stav zajištění kvality povrchových vod v povodí jejich přítoků a přístup k řešení odkanalizování a technologickému vystrojení čistíren odpadních vod pro obce z této oblasti.

Práce dále ukazuje vztah mezi technologickou koncepcí realizované ČOV a z ní plynoucími, dosažitelnými výsledky. Na konkrétních příkladech technických úprav stávajících nebo nových ČOV jsou naznačeny možnosti relativně snadných řešení, vedoucích k jednoznačně lepším výsledkům, mnohdy dosahovaným i bez zvýšení provozních nákladů.

V závěru referátu je naznačena možnost, podle autorů nezbytné aktualizace příslušných legislativních norem, akcentující právě současný stav odborných a technických znalostí v této problematice.

Klíčová slova: fosfor, eutrofizace, chemické srážení, terciární stupeň ČOV

Abstract

Based on a comprehensive overview, of currently available technological options, for the solution of chemical elimination of phosphorus from wastewater and achievable outflow concentrations, the current practice in the protection of water reservoirs as sources of drinking water is assessed on the example of practical results of real applications. The paper shows, in the instance of a real water reservoir, the current state of ensuring the quality of surface water in the catchment area of their influxes and the approach to the solution of sewerage and technological equipment of wastewater treatment plants for municipalities from this area.

The thesis also shows the relationship between the technological concept of the implemented WWTP and the resulting achievable results. Specific examples of technical modifications of existing or new WWTPs indicate the possibilities of relatively easy solutions leading to clearly better results, often achieved without an increase in operating costs.

At the end of the paper is indicated the possibility, according to the authors, of the necessary update of the relevant legislative standards, which is accentuating the current state of professional and technical knowledge on this issue.

Keywords: phosphorus, eutrophication, chemical precipitation, tertiary stage WWTP

Úvod

Stalo se běžnou součástí každodenního zpravodajství v letních měsících, informovat veřejnost o kvalitě povrchových vod v oblastech vhodných k rekreaci, především vodních nádrží využívaných ke koupání. Zprávy obsahují většinou dílčí informace o stupni eutrofizace těchto vod, a především o rizikových případech zvýšeného výskytu sinic. O příčinách tohoto stavu povrchových vod se podobná sdělení zmiňují již mnohem méně, a že se tato skutečnost může týkat i nádrží vybudovaných, jako zdroje vody pro úpravu na vodu pitnou se už nezmiňují prakticky vůbec. Veřejnost tedy může žít v přesvědčení, že je vše v naprostém pořádku až na tu omezenou možnost koupání v některých lokalitách.

Realita

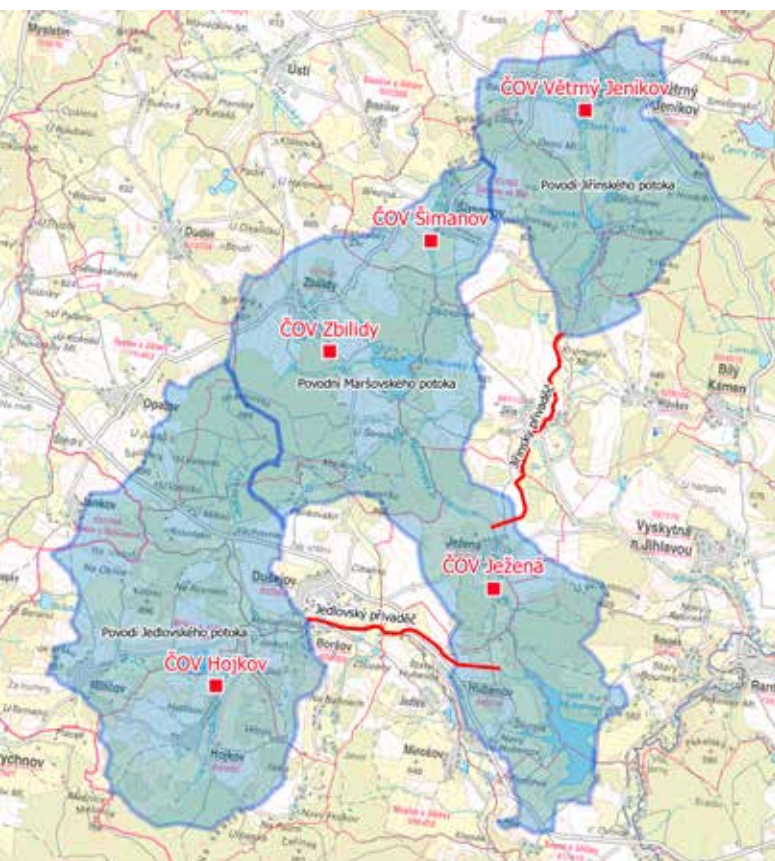
Příčiny eutrofizace povrchových vod jsou sledovány již desítky let u nás i v zahraničí a nemá cenu zde vyjmenovávat četné zdroje vědeckých informací a teoretických pojednání k této problematice. Shrnutí příčin eutrofizace a možností jejich řešení přináší v ucelené podobě, populárně vědeckou formou, přístupnou širší veřejnosti již v roce 1995 překlad z části komerční, publikace firmy Kemifloc (1), který vychází především ze zkušeností severských zemí (Norsko, Švédsko). Rizika eutrofizace, a především příčiny vývoje sinic shrnuje i řada tuzemských odborných prací, uvedených například na konferenci „Cyanobakterie 2010“ v Brně (2) a jinde. Z uvedeného vyplývá, že již v minulosti byla v ČR problematice eutrofizace vodárenských nádrží i ostatních povrchových vod věnována značná pozornost. Tuto skutečnost dokládají i v minulosti realizované investice do ochrany vodárenských nádrží a do budování čistíren odpadních vod (dále jen ČOV), v povodí toků, které do nich přivádějí vodu. Přesto však, že je za hlavní příčinu eutrofizace povrchových vod uváděn především fosfor (1), (2), nebyl a doposud není kladen dostatečný důraz na jeho eliminaci u všech ČOV v povodí vodárenských toků, jak by se dalo očekávat. Hlavním důvodem je zřejmě skutečnost, že se v uvažovaném okolí těchto vodních zdrojů nacházejí především malé obce a legislativa se stále drží zastaralé „Směrnice Rady č. 91/272 EHS“, ze které vycházejí požadavky na kvalitu a účinnost ČOV vztažené především k projektované kapacitě těchto objektů. Tento přístup lze vysledovat i v naší legislativě již od zavedení NV č. 171/1992. Specifické požadavky na kvalitu napojené kanalizace v těchto lokalitách nebyly a doposud nejsou v naší legislativě formulovány vůbec. Je tomu tak přesto, že je z logiky věci nezbytné vnímat stokovou síť a ČOV jako jeden organický celek. Praktická rezignace na požadavek účinného odstraňování nutrientů, nejen fosforu z odpadních vod tekoucích do vodárenských toků u ČOV s kapacitou menší než 2000 EO, potom vedla pouze k formálnímu přístupu k řešení těchto objektů, včetně kanalizací v dotčených obcích. Jako příklad takového přístupu k této problematice můžeme uvést malou vodárenskou nádrž, která je hlavním zdrojem vody pro úpravnu Hosov, zdroj pitné vody pro město Jihlava a okolí. Jedná se o vodní dílo Hubenov. Vodní dílo Hubenov je vybudováno na Maršovském potoce, jehož

nedostatečnou vodnost bylo nutné posílit ještě dvěma přivaděči z Jedlovského a Jiřinského potoka. Přivaděče vody z povodí Jiřinského a Jedlovského potoka fungují od roku 1972, od uvedení nádrže Hubenov do provozu. Jedlovský přivaděč má kapacitu 500 l/s, Jiřinský přivaděč má kapacitu 258 l/s. Délka Jedlovského přivaděče je cca 3 km, Jiřinský přivaděč má délku 3,7 km. Oba přivaděče byly rekonstruovány v letech 2020 a 2022. V následující tabulce jsou uvedena základní technická data k vodnímu dílu Hubenov a k přivaděčům z Jedlovského a Jiřinského potoka.

Tabulka 1. Základní data k vodní nádrži Hubenov

VD Hubenov		
Rok dokončení	1972	
Výška hráze	19	m
Objem	3.4	mil. m ³
Plocha	55	ha
Nadmořská výška koruny hráze	523,58	m n.m.
Povodí		
Maršovský potok	19.7	km ²
Jiřinský potok	8.7	km ²
Jedlovský potok	15.0	km ²

Povodí vodních zdrojů pro nádrž Hubenov je naznačeno na přiložené mapě, Obrázek 1. V případě obce Dušejov v povodí Jedlovského potoka je voda do přivaděče odebírána nad vyústěním odpadních vod z kanalizace a ČOV, obec Dušejov tedy neovlivňuje kvalitu vody v přivaděči.



Obrázek 1. Povodí nádrže Hubenov

Tabulka 2. Hlavní zdroje komunálních odpadních vod v povodí nádrže Hubenov

Vodní tok	Lokalita	Počet obyvatel	Řešení odpadních vod
Maršovský potok	Ježená	118	ČOV
	Zbilidy	229	ČOV
	Maršov (Zbilidy)	20	neřešeno
	Šimanov	224	ČOV
Jiřinský potok	Větrný Jeníkov	627	ČOV
Jedlovský potok	Hojkov	149	Biologický rybník
	Miličov	137	neřešeno
Počet trvale žijících obyv. v povodí VD Hubenov		1504	
Čištěné OV		1198	79.7 %
Nečištěné OV		306	20.3 %

Technologické řešení nakládání s produkovanými splaškovými vodami v dané oblasti blíže popisuje následující tabulární přehled.

Tabulka 3. Ježená

Počet napojených obyvatel	118
Povodí	Maršovský potok
Vzdálenost od vodní nádrže	1.4 km
ČOV (technologie)	mechanicko biologická, aktivační ČOV („balená ČOV“)
Kapacita ČOV v EO, projekt	130
Kanalizace	převážně splašková
Srážení fosforu	ano
Provozovatel	Obec Ježená

Tabulka 4. Zbilidy

Počet napojených obyvatel	229
Povodí	Maršovský potok
Vzdálenost od vodní nádrže	6.3 km
ČOV (technologie)	mechanicko biologická, oxidační příkop, DN cca 3×3 m
Kapacita ČOV v EO, projekt	150
Kanalizace	jednotná kanalizace
Srážení fosforu	ne
Provozovatel	Obec Zbilidy

Tabulka 5. Šimanov

Počet napojených obyvatel	224
Povodí	Maršovský potok
Vzdálenost od vodní nádrže	7.2 km
ČOV (technologie)	mechanicko biologická, oxidační příkop, DN cca 3×3 m
Kapacita ČOV v EO, projekt	150
Kanalizace	jednotná kanalizace
Srážení fosforu	ne
Provozovatel	Obec Šimanov

Tabulka 6. Hojkov

Počet napojených obyvatel	149
Povodí	Jedlovský potok
Vzdálenost od vodní nádrže	5,7 km
ČOV (technologie)	biologický rybník, plocha = 2750 m ²
Kapacita ČOV v EO, projekt	150
Kanalizace	jednotná kanalizace
Srážení fosforu	ne
Provozovatel	Obec Hojkov

Tabulka 7. Větrný Jeníkov

Počet napojených obyvatel	627
Povodí	Jiřinský potok
Vzdálenost od vodní nádrže	9 km
ČOV (technologie)	mechanicko biologická, oxidační příkop, dešťová zdrž
Kapacita ČOV v EO, projekt	770
Kanalizace	částečně oddílná
Srážení fosforu	ano
Provozovatel	VAS Jihlava

Tabulka 8. Miličov

Počet obyvatel	137
Povodí	Jedlovský potok
Vzdálenost od nádrže	7,1 km
ČOV	není
Kanalizace	jednotná kanalizace v 30% obce, septiky
Srážení fosforu	ne
Provozovatel	obec

Tabulka 9. Maršov (Zbílidy)

Počet obyvatel	20
Povodí	Maršovský potok
Vzdálenost od nádrže	5,1 km
ČOV	není
Kanalizace	bez kanalizace

Kromě uvedených obcí se v dotčeném povodí toků a vodní nádrže Hubenov vyskytuje řada rekreačních objektů, z nichž nejvýznamnější je chatová oblast „U Trojanů“. Tyto nejsou do uvažovaného řešení ochrany vodního díla Hubenov zahrnuty.

Tabulka 10. Chatová oblast „U Trojanů“

Počet obyvatel	cca 70 chat – odhad sezonně 150 obyvatel
Povodí	Jiřinský potok
Vzdálenost od nádrže	7,4 km
ČOV	není
Kanalizace	bez kanalizace

Shrneme-li tedy technologii čištění odpadních vod z existujících kanalizací v dané lokalitě, převládá řešení ČOV technologií „oxidačních příkopů“ ve třech případech, jedna stabilizační nádrž – biologický rybník a jedna aktivační ČOV s technologií odvozenou od malých „balených ČOV“. Malá část znečištění je vypouštěna přímo nebo „zasakována“. Kanalizace je v daných obcích většinou jednotná, mnohdy v dezolátním stavu s významným podílem balastních vod nebo v menší míře oddílná splašková s částečným napojením dešťové kanalizace. Ve dvou případech ČOV je aplikováno simultánní, chemické srážení fosforu. I bez hlubší analýzy lze tedy konstatovat, že jak technologie čištění odpadních vod, tak způsob jejich odvádění neodpovídají požadavkům, které původně vedly k jejich vybudování ani technickým možnostem, existujícím již v době přípravy těchto projektů. Závažnost tohoto stavu ještě mnohdy umocňuje způsob a účinek provozování těchto ČOV, z nichž je pouze jediná pod dozorem provozovatele s potřebným technickým a odborným zázemím. Ostatní provozují samostatně obce. Tomu odpovídají i stavy a skutečnosti, zjištěné při ověřování podkladů pro tento dokument. V případě menších oxidačních příkopů dochází k nahodilému vypínání aeračního systému z důvodu „úspory“ elektřiny, z kanalizací odtéká většina znečištění přes odlehčovací komory a na ČOV doteče mnohdy jen malý zbytek, který nestačí k udržení biologické funkce aktivace. Při srážkových událostech jsou stoky a sedimenty v nich vyplachovány nárazově odlehčením přímo do recipientů. Z principu snad funguje pouze „biologický rybník“, ovšem pouze na úrovni dané touto technologií a za předpokladu, že je pravidelně odkalován (nebylo možné zjistit).

Přes veškeré výše popsané skutečnosti zhoršující kvalitu vody přitékající do nádrže Hubenov, nevykazuje kvalita surové vody, odebírané na úpravnu Hosov hodnoty „za hranou použitelnosti“ tohoto zdroje. Je tomu tak i přesto, že dochází pravidelně k výskytu „sinicových květů“ zjišťovaných v období vegetace pracovníky Povodí, dokazující vysoký přísun živin do nádrže. Chemické složení surové vody, odebírané stále z jednoho profilu, hluboko pod hladinou zatím nevykazuje kritické hodnoty. Pouze z rozptylu hodnot v jednotlivých parametrech lze usuzovat na to, že přítok je „problematický“.

Jak mohlo dojít k takové situaci, jakou ukazuje stav povodí nádrže Hubenov? Příčina je jednoduchá. Na prvním místě byl požadavek vybudování ČOV, bez ohledu na stav mnohdy zanedbané kanalizace. V další fázi měla následovat rekonstrukce kanalizací (všechny tyto obce mají tento záměr již řadu let ve výhledu), která je však řádově nákladnější než stavba, mnohdy primitivní ČOV. Nedůslednost kontroly využití realizovaných investic, povrchní přístup k řešení vyskytujících se problémů, daný kvalitou vody na odtoku z nádrže a zvyšující se ceny staveb vedly až ke stavu, který je bez významné pomoci státu pro obce s minimálním rozpočtem prakticky v reálném čase neřešitelný.

Tabulka 11. Maršovský potok – fosfor celkový 2009 – 2021 (mg/l)

Průměr	0,034
Maximum	0,195
Minimum	0,008

Tabulka 12. Surová voda z nádrže Hubenov (2009 – 2021)

	Kyslík	pH	Teplota	NO ₂	NH ₄	PO ₄	NO ₃	CHSK _{Mn}	Fe
Průměr	7,4	6,96	8,7	0,098	0,166	0,061	9,744	5,335	0,249
Maximum	14,5	8,62	18,5	0,490	1,300	0,180	48,000	9,280	2,090
Minimum	0,3	6,34	1,5	0,009	0,000	0,016	0,300	3,600	0,020

Technické možnosti řešení

Základním předpokladem pro řešení tohoto stavu a podobných případů, známých i z jiných lokalit, podrobné zpracování ukazuje například případ vodního díla Mostiště (3), je především zásadní důraz na rekonstrukce stokových sítí a budování především splaškových oddílných kanalizací. Není v tomto případě důležité, zda se jedná o prosté gravitační, tlakové nebo vakuové kanalizace, případně systémy bez kanalizace s pravidelným svážením splašků z bezodtokových jímek. Důležité je, aby napojená ČOV byla navržena s ohledem na zvolený typ kanalizace, tedy způsob dopravy splašků a jejich stav. Realizace spolehlivě fungující aktivací ČOV s kapacitou již od asi 100–150 EO s účinným odstraňováním celkového dusíku jsou zcela v běžných možnostech současné technologie i nabídky trhu (4). Vybudování terciárního stupně s oddělením srážení fosforu pro takové objekty potom není ani z hlediska investic kritickým požadavkem, a navíc může vést ke snížení spotřeby chemikálií a stabilizaci biologického stupně ČOV, tedy ke zlepšení všech odtokových parametrů vyčištěné odpadní vody (5) (6) (7). Jaké jsou v těchto případech klíčové podmínky pro návrh technologie ČOV a zlepšení stavu?

- Kvalitně provedená oddílná splašková kanalizace, je nezbytné vyloučit řešení, která v jakémkoliv poměru kombinují části splaškové oddílné a jednotné kanalizace
- Vybudování přiměřeně objemné vstupní čerpací stanice na ČOV i v případech gravitačního nátoky z oddílné kanalizace (vyrovnání hydraulických špiček)
- Kvalitní mechanické předčištění s propíráním, případně s drtičem shrabků (hlavně při krátkých dopravních vzdálenostech – kempy, sanatoria a podobně)
- Dostatečně dimenzovaná nízko-zatížená směšovací aktivace s řízenou aerací pomocí kyslíkové sondy
- Vyloučení „mamutek“, jako řešení čerpání vratného kalu a stahování plovoucích nečistot z hladiny dosazovací nádrže
- Vždy volit diskrétní dosazovací nádrž, ne vestavby
- V případě, že ČOV, vzhledem ke své velikosti nemá vlastní úpravu přebytečného kalu dle zákona, volit uskladnění kalu v oxickém stavu a v přiměřeném objemu (u nejmenších ČOV asi 20 dní denní produkce přebytečného kalu nebo minimálně 20 m³)
- Eliminaci fosforu volit postupem s oddělením srážení v biologicky vyčištěné odpadní vodě některou z ověřených technologií, nejčastěji s využitím železitých solí

Výše uvedené doporučení eliminovat fosfor srážením až v biologicky vyčištěné odpadní vodě není novinkou. Odkaz na tento způsob najdeme již ve zmíněných materiálech fy. Kemira (1). Technologické postupy se však mohou lišit provedením a konečným ekologickým a ekonomickým efektem. V ČR je tato problematika publikována v řadě prací, například (6).

Možnosti dané platnou legislativou

Jak bylo výše naznačeno, již od roku 1992, počátkem platnosti NV 171/1992, Sb. přestalo být u menších ČOV legislativou požadováno důsledné řešení eliminace nutrientů (N, P) v biologicky vyčištěné odpadní vodě, formou předepsaných emisních standardů i pro případy, kdy by to vyžadovala například ochrana vodárenských toků a nádrží nebo vzácných přírodních útvarů, například krasů. Platí to i pro rozsah kontrolních rozborů. Požadavek na účinnost ČOV a četnost kontrol se odvíjí pouze od jejich projektované kapacity, tedy velké ČOV mají přísná kritéria a malé ČOV (zvláště s kapacitou pod 500 EO), velmi volná i v citlivých oblastech. V odůvodněných případech vodoprávní orgán sice ukládá kontrolu vybraných forem dusíku a celkového fosforu na odtoku i u malých ČOV, ale ne pod sankcí za překročení nějaké hodnoty. V současné platné legislativě neexistují žádné motivační prvky, které by nutily investory hledat nová, účinnější řešení ČOV. A i kdyby měli investoři nebo projektanti zájem, nenalézají v současné legislativě podpůrné argumenty pro obhajobu případné vyšší investice oproti levnějším, zjednodušeným nebo technicky zastaralým řešením. Pravidla pro zpoplatnění vypouštění znečištění, stanovená již před rokem 2000, platí stále a nevytváří prakticky žádný tlak na hledání lepších a účinnějších způsobů řešení ČOV a kanalizací. Jako příklad může sloužit poplatek za vypouštění celkového fosforu (70,00 Kč/kg), přičemž cena za jeho eliminaci může v současné době dosahovat asi 230,00–450,00 Kč/kg, v závislosti na použité technologii eliminace a ceně koagulantu.

Za poslední racionální krok MŽP ČR, dávající naději na výrazné zlepšení této situace lze považovat nepřijatý návrh takzvané „malé novely“ Vodního zákona – „poplatkové vyhlášky“, kterou pracovníci ministerstva představili širší veřejnosti na jednání 15. 10. 2015. Přesto, že uvedený dokument mohl být dobrým základem pro řešení stávajícího stavu již před sedmi lety, vyvolal řadu mediálně podporovaných, zpochybňujících diskusí, které z počátku vedly k řadě veřejně nepublikovaných, drobných úprav až nakonec k jeho úplnému odmítnutí. Za jediný pozitivní výsledek této aktivity lze potom označit snahu o řešení situace na jednotných kanalizacích úpravou pravidel a přístupu k problematice možnosti zpoplatnění odlehčení srážkových vod a jejich množství v poslední novele Vodního zákona. Otázka návrhu pravidel pro specifická řešení oddílných kanalizací, případně kanalizačních řádů v oblastech, které si to pro svůj význam zaslouží nebo aktualizace stávajících pravidel pro jejich realizaci a provoz, která by měla motivační charakter není zatím řešena, není ani „na programu dne“.

Tabulka 13. Poplatky za vypouštění znečištění (návrh MŽP ČR z 15.10.2015)

ukazatel znečištění	návrh			současnost (od cca 1998)		
	sazba Kč/kg	limity zpoplatnění		sazba Kč/kg	limity zpoplatnění	
		kg/rok	mg/l		kg/rok	mg/l
CHSKCr	8,0	10000	40,0	16,0 (nečišť.) 8,0 (čišť.OV)	8000 10000	40,0
RAS	0,5	20000	1200	0,5	20000	1200
NL	2,0	10000	30	2,0	10000	30
PCelk.	300,0	100	0,2	70,0	3000	3
NCelk.	50,0	5000	10,0	-	-	-
Nanorg.	-	-	-	30,0	20000	20
N-NH ₄	100,0	250	2,0	-	-	-
AOX	1000	15	0,05	300	15	0,2
Hg	20000	0	0,002	20000	0,4	0,002
Cd	4000	2	0,01	4000	2	0,01

Závěr

Za hlavní příčinu problémů se zajištěním investic do ochrany vodních zdrojů bývá často uváděn nedostatek financí na podporu potřebné obnovy infrastruktury. Jako jeden z možných zdrojů financí by však mohlo být zavedení zpoplatnění vypouštěného znečištění u všech znečišťovatelů, jak je tomu v řadě evropských států. Volba koncentračních limitů zpoplatnění by mohla vycházet z již platné legislativy, například z definovaného cíle, požadovaného třeba v příloze 3, NV 401/2015, část „A“, povrchové vody, hodnoty „roční průměr přípustného znečištění“. Tyto údaje by potom měly být doplněny o bilanční podmínky (kg/rok), které by se mohly pro usnadnění zpočátku volit mírnější (například dvojnásobek cílové hodnoty po dobu prvních tří let a podobně). Jako

vodítka by mohl sloužit už zmíněný návrh MŽP ČR z roku 2015, který uvádí výše uvedená tabulka.

Je jistě řada jiných, vážných problémů, souvisejících s kvalitou povrchových vod, ale problematika fosforu není problém technický ani technologický, jak dokládají materiály (5) (6) (7), ale je to problém pouze naší volby, nastavení společenských priorit, tedy především politický. S otázkou, často uváděných argumentů: „Zachování tempa udržitelného rozvoje“ nebo „Zachování sociálního smíru“, nelze v případě ochrany zdrojů pitné vody, jako s argumentem k obraně polovičatých řešení souhlasit. Jde o vyřešený a ekonomicky schůdně řešitelný problém.

Literatura

- [1] DOLEJŠ Petr: Příručka pro čištění a úpravu vody, Kemifloc, a.s., Přerov 1995
- [2] MARŠÁLEK Blahoslav: Nadhled nad opatřeními v povodí: Frekvence vnosu a recyklace fosforu, defragmentace zájmů a široká spolupráce, Brno: Cyanobakterie 2010, Sborník z konference, červen 2010
- [3] HEJZLAR a kol.: Vodárenská nádrž Mostiště: vyhodnocení monitoringu nádrže a povodí 2006, Biologické centrum Akademie věd ČR, v.v.i., Hydrobiologický ústav, České Budějovice, 2007
- [4] JUN Milan: Technologie čištění odpadních vod s membránovou technologií a vyhodnocení funkce ČOV MBR s kapacitou 190 EO, Blansko: Řešení extrémních požadavků na čištění odpadních vod, sborník z konference, květen 2022
- [5] FOLLER Jan, Jelínek Jiří, Tomenendálová Eva: Požadavek přísných koncentrací Ncelk. a Pcelk. na odtoku z ČOV nemusí zákonitě znamenat zvýšení investic nebo provozních nákladů, Blansko: Řešení extrémních požadavků na čištění odpadních vod, Sborník z konference, únor 2009
- [6] FOLLER Jan, Láta Milan: Navrhování reaktorů pro účinné srážení fosforu, Blansko: Řešení extrémních požadavků na čištění odpadních vod, Sborník z konference, únor 2011
- [7] FOLLER Jan, Eyer Martin, Tůna Leoš: Třetí stupeň čištění – možná úsporná technická řešení, Blansko: Řešení extrémních požadavků na čištění odpadních vod, Sborník z konference, únor 2017

MODELOVANÍ EROZNÍCH ZDROJŮ ZNEČIŠTĚNÍ FOSFOREM V POVODÍ LABE

Barbora Jáchymová¹, Pavel Rosendorf², Josef Krása¹, Miroslav Bauer¹, Jülie Winterová¹, Tomáš Dostál¹

¹ ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha, +42022435 4745, barbora.jachymova@fsv.cvut.cz

² Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. M., v. v. i.

Abstrakt

Projekt TAČR SS03010332 si klade za cíl vytvořit aplikaci pro stanovení významnosti jednotlivých zdrojů fosforu z hlediska zatížení hydrografické sítě a vybraných útvarů povrchových vod. Řešení navazuje na aktivity projektu TA02020808. V rámci řešení tohoto projektu vznikla aplikace, která slouží k posouzení návrhů a optimalizaci opatření v povodí vodních nádrží. V rámci představovaného projektu bude připraven model pro celé území povodí Labe a bude implementován do této aplikace.

Hlavním cílem projektu je analyzovat zdroje fosforu v povodí Labe a navrhnout taková opatření, která povedou ke snížení zatížení fosforem v uzavřeném profilu (Hřensko) o 550 tun fosforu za rok. Hlavní zdroje fosforu lze rozdělit na: bodové zdroje, plošné neerozní zdroje, plošné erozní zdroje, atmosférickou depozici.

Příspěvek představuje metodiku zpracování erozních zdrojů fosforu, vycházející z rešeršní činnosti v kombinaci s dosavadními zkušenostmi řešitelského týmu. Část příspěvku je věnována zdrojovým datům, včetně problematiky jejich aktuality a přesnosti. Dále jsou představeny dosavadní výsledky vyhodnocení erozních zdrojů fosforu v řešeném území.

Klíčová slova: Vodní eroze, plošné zdroje fosforu, modelování transportu fosforu.

Abstract

Project TAČR project SS03010332 aims to create an application for determining the importance of individual sources of phosphorus in terms of the load on the hydrographic network and selected bodies of surface water. The solution follows on from the activities of project TA02020808. As part of the solution to this project, an application was created that serves to assess proposals and optimize measures in the basin of water reservoirs. As part of the presented project, a model will be prepared for the entire Elbe basin area and will be implemented in this application.

The main goal of the project is to analyze the sources of phosphorus in the Elbe basin and propose such measures that will lead to a reduction of the phosphorus load in the closing profile (Hřensko) by 550 tons of phosphorus per year. The main sources of phosphorus can be divided into: point sources, surface non-erosive sources, surface erosion sources, atmospheric deposition.

The paper presents a methodology for the processing of erosion sources of phosphorus, based on research activities in combination with the previous experience of the research team. Part of the contribution is devoted to source data, including the issue of their quality and accuracy. Existing results of the assessment of erosion sources of phosphorus in the area under consideration are also presented.

Keywords: Water erosion, surface phosphorus sources, phosphorus transport modelling.

Úvod

Kvalita povrchové vody je významným tématem, které je v současnosti řešeno. Jedním z nejvýznamnějších znečišťujících látek je fosfor, který v podmínkách České republiky je limitujícím prvkem z hlediska eutrofizace vodních útvarů [1]. V obecné rovině lze zdroje fosforu vstupujícího do vody rozdělit na: bodové, plošné neerozní, plošné erozní a atmosférickou depozici [2].

Erozní události na zemědělské půdě způsobují v reakci na příčinnou srážku transport půdních částic a navázaných živin z pozemků orné půdy po svahu dolů a následně do hydrografické sítě. Míra transportu živin (fosforu) a jeho význam z hlediska kvality vody závisí na řadě vstupních podmínek (např. obsah fosforu v půdě, přítomnost vegetačního krytu, topologie povodí nebo kvalita a kvantita vody v recipientu). Z tohoto důvodu je značně obtížné měřit erozní transportní události in-situ a částečně je možné toto měření nahradit vhodným modelováním erozní transportních událostí se zahrnutím problematiky transportu živin. Výsledky těchto modelů pak mohou sloužit jako podklad pro navrhování a přijímání opatření v povodí, které slouží k eliminaci intenzity eroze a tím ochraně zemědělské půdy i vody v povodí.

Metodika

Model WaTEM/SEDEM

Na základě analýzy dostupných modelů, zkušeností týmu pracoviště ČVUT s obdobným modelováním a následně diskuse napříč odborným týmem celého projektu byl pro modelování erozního smyvu a následného transportu erozního fosforu do hydrografické sítě vybrán model WaTEM/SEDEM. Tento model je výhodný relativní dostupnosti vstupních dat v dostatečné kvalitě a jejich konzistence pro celé řešené území. Forma poskytovaných výstupů je zároveň vhodná z hlediska implementace těchto výsledků do vznikajícího modelu zdrojů fosforu v povodí Labe.

Jedná se o prostorově distribuovaný empirický model, který byl vyvinut na výzkumném pracovišti zabývajícím se problematikou erozních a transportních procesů - K. U. Leuven v Belgii [3, 4, 5]. Model stanovuje průměrnou ztrátu půdy v modelovaném území pomocí Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE - [6]) s aplikací novějších postupů pro výpočet L, S a R faktoru dle Revidované univerzální rovnice ztráty půdy (RUSLE [7]). WaTEM/SEDEM je nadstavbou GIS softwaru IDRISI a pracuje proto s formátem dat *.rst.

Datové podklady

Pro modelování byl využit digitální model reliéfu České republiky 4. generace s rozlišením 5 m. Originální 5m rozlišení dat bylo převzorkováno na hrubší 10 m rozlišení, což je dostatečná úroveň přesnosti a zároveň přiměřený kompromis procesovatelnosti dat modelem [8].

Pro sestavení mapy využití území byly použity dva datové zdroje. Prvním zdrojem jsou data „Základní báze geografických

dat České republiky“ (ZABAGED). Tato data byla využita k sestavení základní mapy využití území [9] (ČÚZK 2010). Data ZABAGED na pozemcích orné půdy doplněna o informace uvedené v databázi „Veřejného registru půd“ (LPIS) [10] (Ministerstvo zemědělství 2021).

Pro model WaTEM/SEDEM je třeba sestavit síť vodních toků a datovou sadu vodních nádrží. Z hlediska topologie vodních toků a vodních nádrží byla jako datový zdroj využita data ZABAGED. Významnou součástí modelu je popis fungování vodní nádrže z hlediska transportu sedimentu v hydrografické síti. Tato funkce je v modelu WaTEM/SEDEM popsána pomocí tzv. poměru zachycení. Pro stanovení hodnoty poměru zachycení byla využita Bruneho metoda [11].

Základním zdrojem informace o ochranném účinku vegetace na pozemcích s ornou půdou byla vektorová datová vrstva C faktoru, která byla zpracována týmem ČVUT v rámci projektu SS02030027 „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu“. Tato vektorová datová sada obsahuje hodnoty průměrného ochranného účinku vegetačního krytu pozemcích s ornou půdou stanovenou pro jednotlivá povodí 4. řádu. Hodnota je stanovena na základě statistického zpracování plodin na pozemcích LPIS za poslední 2 roky.

Základním zdrojem pro sestavení datového vstupu charakterizující kvalitu půdy z hlediska odolnosti před erozí je databáze Bonitované půdně ekologické jednotky (BPEJ) v měřítku 1: 10 000. Pro odvození hodnot K faktoru USLE byla využita převodní tabulka mezi Hlavní půdní jednotkou a hodnotou K faktoru [2].

Erozní účinnost deště a povrchového odtoku bude do modelu zahrnuta v podobě aktuální regionalizované vrstvy R faktoru [12].

Příprava výpočtu, volba pilotního povodí

Vzhledem k výpočetní kapacitě modelu WaTEM/SEDEM, která umožňuje v takto podrobném prostorovém měřítku výpočet na územích o rozloze maximálně 1000 km² (v závislosti na tvaru povodí) bylo nutné řešené území (povodí Labe) rozdělit na dílčí výpočetní celky (Obrázek 1). Pro sestavení modelu za účelem testování jeho funkčnosti a navržení metodického postupu při následné, vyhodnocování významnosti lokalit z hlediska intenzity eroze a vstupu sedimentu a erozního fosforu do hydrografické sítě, bylo vybráno pilotní povodí vodní nádrže Vrchlice. V následující kapitole jsou prezentovány výsledky pro toto povodí.

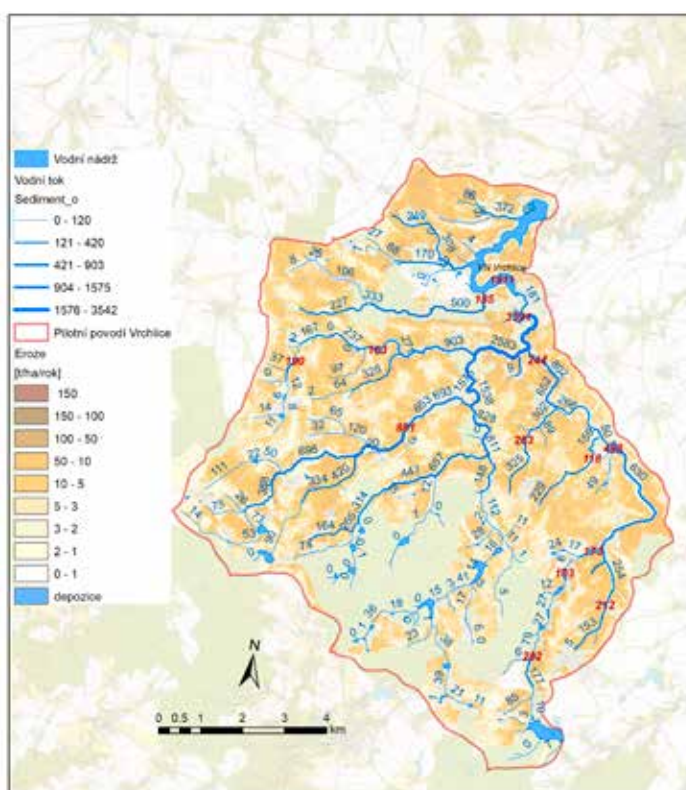


Obrázek 1. Rozdělení řešeného území na výpočetní celky, pilotní povodí vodní nádrže Vrchlice

Výsledky a diskuse

Povodí vodní nádrže Vrchlice má rozlohu 98 km² a je tvořeno 11 povodími 4. řádu. V území převažuje orná půda, která činí cca 56 % rozlohy povodí. Významná je zde plocha lesů, která tvoří 23 % povodí. Trvalé travní porosty se nachází na 11 % plochy povodí. Nadmořská výška povodí Vrchlice se pohybuje v rozmezí 308–555 m n. m. Celková délka vodních toků v povodí je 134 km. Pomocí modelu WaTEM/SEDEM byla popsána aktuální situace v povodí z hlediska intenzity erozního procesu (viz Obrázek 2).

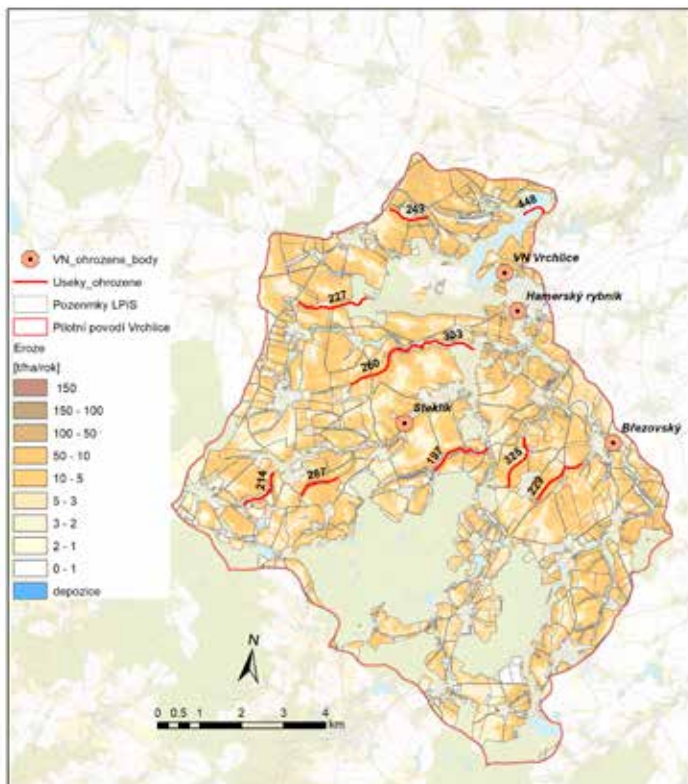
Na základě výpočetního modelu bylo zjištěno, že hydrografická síť v povodí je ročně zatížena téměř 10 000 tun erodovaného materiálu. Tento materiál je potenciálním zdrojem fosforu pro vodní útvary v povodí. Dále bylo zjištěno, že 9 700 tun sedimentu je ročně uloženo ve vodních nádržích v povodí. Uzávěrovým profilem povodí proto odtéká ročně jen 80 tun sedimentu dále do navazujících povodí.



Obrázek 2. Erozně transportní poměry v povodí Vrchlice

Podrobnější analýzou bylo zjištěno, že 6 700 tun (cca 70 %) je zachyceno ve čtyřech vodních nádržích a rybnících v povodí: Březovský rybník, Steklík, Hamerský rybník a vodní nádrž Vrchlice (viz Obrázek 3). V návaznosti na toto zjištění byly analyzovány hlavní zdroje erozního materiálu. Byly vyhledány úseky (celkem 10), které dotují hydrografickou síť největším množstvím materiálu.

V následujícím kroku je možné vyhledat přímo zdrojové pozemky v okolí zatížených vodních toků a přímo na tyto pozemky zacílit při návrhu protierozních opatření.



Obrázek 3. Vodní nádrže a úseky vodních toků v povodí nejvíce zatížené sedimentem

Závěr

Zhoršení kvality povrchových vod v důsledku nadměrného přísunu živin (zvláště fosforu) je aktuálním problémem i v České republice. Jedním z možných zdrojů fosforu je eroze zemědělské půdy, která je v České republice hojně rozšířená v intenzivní podobě. Erozní a transportní modely jsou nástrojem, který umožňuje zjistit významnost eroze z hlediska dotaze hydrografické sítě fosforem. Dále umožňují vyhledat problematické lokality hlavní zdrojové oblasti erodovaného materiálu v povodí. Tyto lokality pak mohou být detailněji analyzovány za účelem vhodných opatření pro snížení intenzity erozního procesu a tím ochranu povrchové vody v povodí.

Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci projektu SS03010332 „Modelování významnosti zdrojů znečištění fosforem a návrhy efektivních opatření k naplnění cílů Strategie ke snížení obsahu živin ve vodách v povodí Labe“. Metodika stanovení C faktoru byla převzata z projektu SS02030027 „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu“.

Literatura

- [1] SMIL, V., 2000. Phosphorus in the Environment: Natural Flows and Human Interferences. Annual Review of Energy and the Environment. 2000. Vol. 25, pp. 55–88.
- [2] JANEČEK Miloslav, DOSTÁL Tomáš, KOZLOVSKÝ-DUFKOVÁ Jana, DUMBROVSKÝ Miroslav, HŮLA Josef, KADLEC Václav, KONEČNÁ Jana, KOVÁŘ Pavel, KRÁSA Josef, KUBÁTOVÁ Eliška, KOBZOVÁ Dominika, KUDRNÁČKOVÁ Marie, NOVOTNÝ Ivan, PODHRÁZSKÁ Jana, PRAŽAN Jaroslav, PROCHÁZKOVÁ Eva, STŘEDOVÁ Hana, TOMAN František, VOPRAVIL Jan a VLASÁK Josef, 2012. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha: ČZU. ISBN 978-80-87415-42-9.
- [3] VAN OOST, K. a GOVERS, G., 2000. Usle 2D online manual 2000.
- [4] VAN ROMPAEY, Anton J J, VERSTRAETEN, Gert, VAN OOST, Kristof, GOVERS, Gerard a POESEN, Jean, 2001. Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach. Earth Surface Processes and Landforms. online. 2001. Vol. 26, no. 11, pp. 1221–1236. DOI <https://doi.org/10.1002/esp.275>.
- [5] VERSTRAETEN, G, VAN OOST, K, VAN ROMPAEY, A, POESEN, J a GOVERS, G, 2002. Evaluating an integrated approach to catchment management to reduce soil loss and sediment pollution through modelling. Soil Use and Management. online. 2002. Vol. 18, no. 4, pp. 386–394. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2002.tb00257.x>.
- [6] WISCHMEIER, W. H a SMITH, D. D, 1978. Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. Washington, D.C.
- [7] RENARD, Kg, FOSTER, Gr, WEESIES, Ga, MCCOOL, Dk a YODER, Dc, 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). online. Washington, DC, USA.: US Department of Agriculture. ISBN 0160489385. NULL
- [8] ČÚZK, 2017. Digitální model reliéfu České republiky 4. generace. Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální. online. 2017. Získáno z: www.cuzk.cz
- [9] ČÚZK, 2010. ZABAGED® - polohopis - úvod. online. 2010. Získáno z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(zabxmbmrtbttoftxcyaqps\)\)/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24](https://geoportal.cuzk.cz/(S(zabxmbmrtbttoftxcyaqps))/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24)
- [10] MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2021. LPIS (Registr půdy). Online databáze. online. 2021. Získáno z: <http://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny2/plpis/>
- [11] DENDY, F. E. a CHAMPION, W. A., 1978. Sediment Deposition in U.S. Reservoirs. U.S. Dept. Agr., Agr. Res. Serv.
- [12] ROŽNOVSKÝ J. A KOL., 2015. Zpracování podkladů pro výpočet R faktoru. Brno: Český hydrometeorologický ústav.

OBSAH ŽELEZA A KVALITA ORGANICKÝCH LÁTEK JAKO FAKTOR URČUJÍCÍ STABILIZACI UHLÍKU A KOLOBĚH ŽIVIN VE SLADKOVODNÍCH EKOSYSTÉMECH

Nana O.-A. Osafo^{1,2}, Jiří Jan¹, Petr Porcal^{1,2}, Jakub Borovec^{1,2}

¹ Biologické centrum AV ČR, v. v. i., Branišovská 31, 370 05 České Budějovice, jiri.jan@bc.cas.cz

² Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, Přírodovědecká fakulta, Branišovská 1645/31a, 370 05 České Budějovice

Abstrakt

Studie ukazuje, jak geochemické vlastnosti povodí, reprezentované obsahem Fe a hodnotami pH a s tím související kvalitou organických látek v půdách, ovlivňují stabilizaci organického uhlíku a živin v sedimentech mělkých nádrží. V rámci prezentované studie bylo sledováno 12 rybníků z různých lokalit České republiky. Rybníky byly rozděleny na základě geologie povodí do dvou skupin i) povodí s kyselými půdami (pH 5,1 - 6,3) bohatými na železo (H_Fe) a ii) povodí s neutrálními půdami (pH = 6,8–7,6) a nízkým obsahem železa (L_Fe). Ve sledovaných rybnících byly porovnávány parametry vodního sloupce, pórové vody a extrakce sedimentů z hlediska stabilizace organické hmoty a navazujících živinových koloběhů. Bylo ukázáno, jak vyšší koncentrace hydratovaných oxidů Fe, spolu s aromatickým charakterem organických látek přispívá k celkové stabilizaci sedimentu. Naopak nízké koncentrace Fe byly doprovázeny nižší mineralizací sedimentů a vyšší rizikovostí pro vodní ekosystém z hlediska uvolňování živin nebo rozvoje anoxií.

Klíčová slova: sedimenty, železo, organické látky, cyklus živin, stabilizace

Abstract

The effect of watershed geochemistry, in terms of soil pH, Fe concentration and organic matter quality, on the stability of organic carbon and nutrients level in freshwater sediments of shallow lakes was studied. Twelve fishponds were divided into two groups based on the typical soil pH: i) watershed with acidic soils (pH 5.1 – 6.3) rich in Fe called H_Fe and ii) watershed with neutral pH soils (pH 6.8 – 7.6) poor in Fe called L_Fe. The parameters of the water column, pore water and sediment chemical extractions were compared. A higher concentration of hydrated Fe oxides, together with the aromatic character of organic substances were shown to highly contribute to the overall stabilization of the sediment. Conversely, low Fe concentrations were accompanied by lower mineralization of sediments and a higher risk for the aquatic ecosystem in terms of nutrient release or the development of anoxic conditions.

Keywords: freshwater sediments, iron, organic matter, nutrients cycle, stabilization

Úvod

Organické látky jsou ve sladkovodních ekosystémech vysoce heterogenní. Zdroj organických látek jak alochtonního, tak autochtonního původu, a jejich přísun, je vysoce ovlivňován sezonními změnami, charakterem povodí, stejně tak jako lidskou činností způsobující např. antropogenní eutrofizaci nebo odlesňování. Zatímco částicové formy organických látek jsou biologicky méně dostupné, rozpuštěné formy organického uhlíku (DOC) mohou být ve vodním sloupci snadno rozložitelné, ať už biologicky nebo pomocí UV záření [1]. Během rozkladu organických látek v sedimentech se uvolňují labilní formy N a P, jako amoniakální dusík ($\text{NH}_4\text{-N}$) nebo fosforečnanový P ($\text{PO}_4\text{-P}$). Míra tohoto uvolňování je dána do velké míry reaktivitou organických látek. Na druhou stranu, rozpuštěné organické látky se mohou také ve vodním sloupci srážet a následně sedimentovat. Asociací s hydratovanými oxidy kovů se stávají organické látky více chráněné před rozkladem. Tato asociace je pravděpodobně ovlivňována typem organické látky, krystalicitou hydratovaného oxidu nebo pH prostředí. Určení typu organických látek v ekosystému hraje důležitou roli v celkovém koloběhu uhlíku a souvisejících biogeochemických cyklech prvků včetně P. Snížení depozice síranů a zotavení ekosystému z kyselých dešťů a/nebo zvyšování teploty, může vést ke zvýšenému transportu rozpuštěných organických látek z povodí do nádrží [2]. Tento jev může mít důsledky na změnu reaktivity organických látek v sedimentech a ovlivnit celkovou bilanci živin ve vodním prostředí.

Pro pochopení cyklu C ve vodním prostředí je důležité znát vlastnosti povodí a jeho chemické charakteristiky, které ovlivňují kvalitu a kvantitu exportovaných organických látek a míru důležitosti jednotlivých faktorů. Tyto interakce jsou stále ne zcela popsány. Za tímto účelem byla sledována kvalita a kvantita organických látek a dostupnost živin (P a $\text{NH}_4\text{-N}$) ve vodním sloupci, pórové vodě sedimentu a částicích sedimentu, dvanácti mělkých rybníků v různých částech České republiky. Povodí byla pracovně rozdělena na dvě skupiny: i) mírně kyselá (pH půd 5,1–6,3, $n=6$) s vyšším obsahem Fe (dále jako H_Fe), a ii) neutrální (pH půd 6,8–7,6, $n=6$) s nízkým obsahem Fe (dále jako L_Fe). Cílem studie bylo zodpovědět i) jaké je rozdíly v distribuci organických látek (kvalita a kvantita) ve vodním sloupci, pórové vodě a sedimentech rybníků v rozdílných povodích, ii) jak případné rozdíly ovlivňují cyklus živin ve vodním sloupci, pórové vodě a sedimentech ve vztahu k rozdílům v povodích.

Metodika

Vzorky vody a sedimentů z nejhlubšího místa dvanácti eutrofních rybníků byly odebrány v srpnu 2020. Rybníky byly rozděleny do dvou kategorií podle pH půd v jejich povodí viz obr. 1 (data získány z databáze ÚKZÚZ).

Vzorky vody vodního sloupce byly odebrány přibližně 50 cm nade dnem a přefiltrovány (0,2 μm PES). Vzorky sedimentů byly



Obrázek 1. Názvy rybníků a jejich lokace v rámci České republiky. Rybníky byly rozděleny do dvou skupin i) H_Fe (povodí rybníků s kyselým pH půd) a L_Fe (povodí rybníků s neutrálním pH půd). Hodnoty v závorce vyjadřují průměrné pH půd v jejich povodí (vstupní data poskytl ÚKZUZ).

odebrány gravitačním kórerem a v laboratoři rozděleny do jednotlivých vrstev o mocnosti 2 cm, do celkové hloubky 10 cm pro následné analýzy.

Paralelně odebraný kór jednotlivých sedimentů byl v laboratoři rozdělen do stejných vrstev a bezprostředně převeden do centrifugačních zkumavek a zcentrifugován (3000 G, 15 min). Vytlačená pórová voda byla následně zfiltrována (0,2 μ m PES) analyzována na koncentrace DOC, P, NH_4-N , Fe a kvalitu organických látek viz dále.

Vzorek sedimentů byly sekvenčně extrahovány pro stanovení redox labilních složek sedimentu dle Jan a kol. [3] následovně: 1) H_2O (anoxická H_2O , 10 min.) ke stanovení labilních a volně rozpuštěných organických látek, 2) BD1 (silné redukční činidlo: 0,1M dithioničitan sodný + 0,1M hydrogenuhličitan sodný, pH \sim 7, extrakční čas 10 min.) ke stanovení redox labilních hydratovaných oxidů Fe a navázaných organických látek a P, 3) BD2 (stejně složení jako BD1, extrakční čas 2 h) stabilnější oxidy Fe a navázané organické látky a P. Různý extrakční čas BD1 vs BD2 byl ukázán důležitý pro stanovení různě stabilních oxidů Fe [3] nebo různě redox stabilních „komplexů“ Fe oxidů s organickými látkami [4]. V extraktech byla stanovována koncentrace P, Fe, DOC a kvalita organických látek viz dále.

Analytické metody

Koncentrace DOC ve vzorcích vody a extraktech byla stanovena pomocí TOC-L (CPH/CPN, Shimadzu), koncentrace prvků Ca, Fe a P pomocí ICP-QQQ (8800 ICP-QQQ, Agilent Technologies). Koncentrace NH_4-N byla měřena iontovým chromatografem (ICS 5000, Dionex).

Kvalita rozpuštěných organických látek byla stanovována spektroskopicky v UV-VIS spektru 200-800 nm (UV – 2700, Shimadzu). Z dat byl stanoven absorpční koeficient při vlnové délce 280 nm, jako $A_{280} = (\text{absorbance vzorku} - \text{absorbance blanku}) / \text{délka kyvety (m)}$. Výsledek byl normalizován koncentrací DOC (absorpční koeficient; m^{-1}/DOC ; $mg\ L^{-1}$) k vyjádření hodnoty SUVA₂₈₀, která slouží jako proxy k vyjádření aromaticity [5]. SUVA₂₈₀ byla použita místo častěji uváděného SUVA₂₅₄ z důvodu interference Fe, které z velké míry absorbuje záření při vlnové délce 254 a je ve vysoké koncentraci přítomno v extraktech BD [4]. Dále byla stanovena hodnota Sr (z anglického Slope Ratio), jako poměr sklonu absorpční křivky v kratší (275–295 nm) a delší

(350–400 nm) vlnové délce [6]. Hodnota Sr vyjadřuje molekulární hmotnost, čím nižší je hodnota Sr, tím vyšší je molekulární hmotnost organických látek a obráceně.

Excitačně-emisní fluorescence rozpuštěných organických látek (FDOM) byla měřena pomocí spektrofluorometru (Duetta, Horiba). Byly použity excitační vlnové délky v rozmezí 250–550 nm a emisní vlnové délky 280–800 nm. Pomocí poměru excitačního maxima (Ex_{max}) a emisního maxima (Em_{max}) specifických vlnových délek [7] byly identifikovány a vypočteny tzv. píky. Tyto píky vyjadřovaly aromatické vlastnosti, jmenovitě píky A, M a C, a dále proteinové píky B a T. Hodnoty, stejně jako humifikační index (HIX) a biologický index (BIX) byly vypočítány pomocí R balíčku staRdom [8]

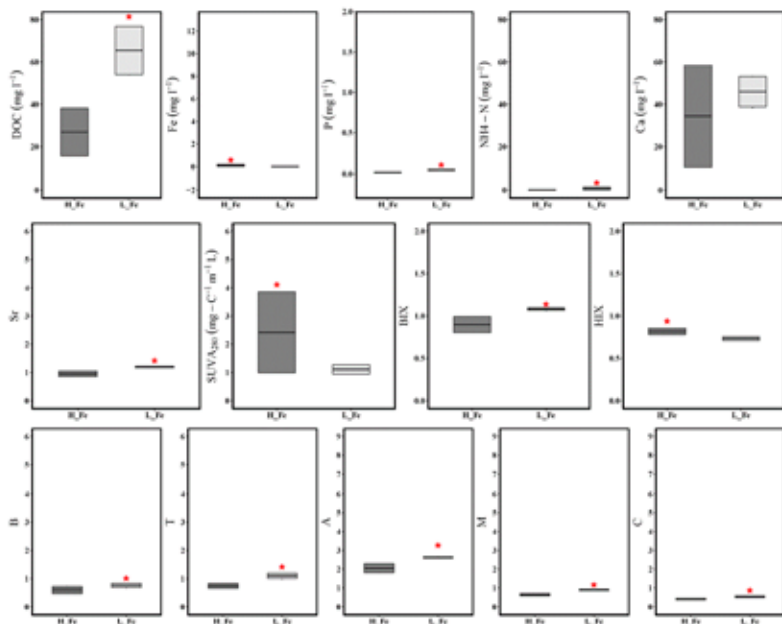
Infra červená spektra (FTIR) byla stanovována ve vzorcích lyofilizovaných sedimentů po rozemletí kulovým mlýnem. K tomuto účelu byl použit přístroj Nicolet iS50 FT-IR a příslušenstvím ATR. IR spektra byla sbírána v rozmezí 4000–500 cm^{-1} (OMNIC 9.11.706, Thermo Fisher Scientific Inc a spektra analyzována pomocí TQ 9.8.220, 1996-2019 (Thermo Fisher Scientific Inc).

Data byla statisticky vyhodnocena pomocí one-way ANOVA a Tukey HSD test (R Studio 4.02) ke stanovení rozdílů ($p \leq 0,05$) mezi dvěma skupinami rybníků (kyselé vs neutrální).

Výsledky a diskuse

Vodní sloupec

Skupina rybníků ze skupiny s kyselým povodím (H_Fe) měla významně vyšší koncentrace Fe ve vodním sloupci, díky jeho vyplavování z půd, a naopak nižší koncentrace Ca (Obr. 2). Koncentrace DOC ve vodním sloupci byla nižší v rybnících skupiny H_Fe , pravděpodobně díky i) vyšší rozpustnosti organických látek v povodí u půd s vyšším pH a následným zvýšeným transportem DOC do vodního ekosystému [9] a ii) díky asociaci organických látek s Fe v částicové a nikoli rozpuštěné formě. Rozpuštěné organické látky v H_Fe skupině rybníků měla vyšší aromaticitu (vyšší hodnoty SUVA₂₈₀), vyšší humifikační index (HIX), vyšší molekulární hmotnost (nižší Sr hodnoty) a nižší biologický index (BIX). Tyto parametry indikují nižší biologickou aktivitu v produkci či dekompozici rozpuštěných organických látek.



Obrázek 2.

Koncentrace rozpuštěných látek (DOC, Fe, P, NH₄-N, Ca) ve vodním sloupci sledovaných rybníků rozdělených do dvou skupin i) H_Fe (povodí rybníků s kyselým pH půd) a L_Fe (povodí rybníků s neutrálním pH půd).

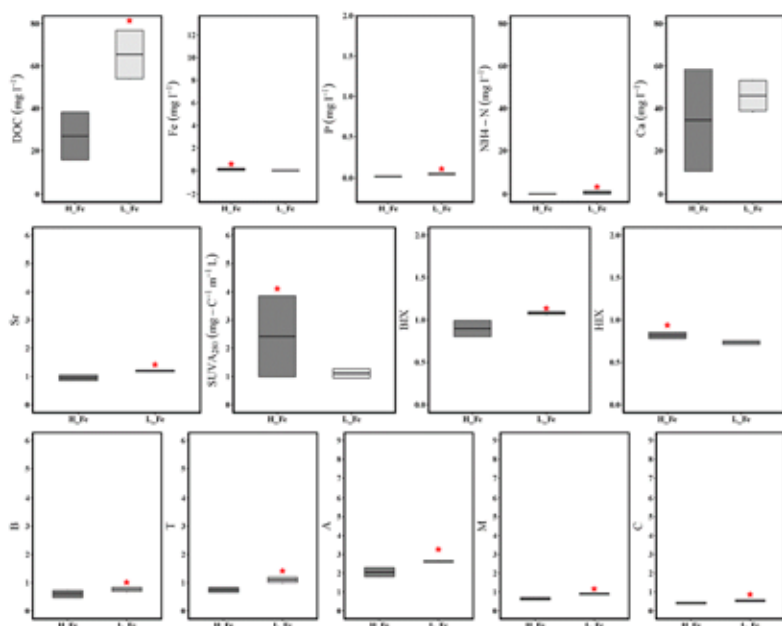
Kvalita organických látek vyjádřena hodnotami Sr (velikost molekul), SUVA₂₈₀ (aromaticita), BIX (biologický index), HIX (humifikační index), píky humátového typu (A, M, C) a proteinového charakteru (M, C).

Výsledky excitačně-emisní fluorescence ukazují nižší hodnotu jak „proteinových“ (B a T) píků, tak „humínových“ píků (A, M a C) v kyselých oblastech, pravděpodobně díky jejich zadržování v půdách povodí, transportu těchto látek v částicové formě nebo díky nižší dekompozici s nižší diverzitou forem rozpuštěných organických látek. Nižší rozklad v těchto rybnících je pravděpodobně také důvod pro nižší koncentrace P a NH₄-N ve vodním sloupci.

Pórová voda sedimentu

Výsledky pro jednotlivé vrstvy byly z důvodu homogenity těchto profilů zprůměrovány. Pórová voda sedimentů v kyselých povodích vykazovala ve srovnání s druhou skupinou rybníků a také s vodním sloupem vyšší koncentrace Fe a nižší koncentrace Ca a DOC (Obr. 3). Aromaticita organických látek se mezi

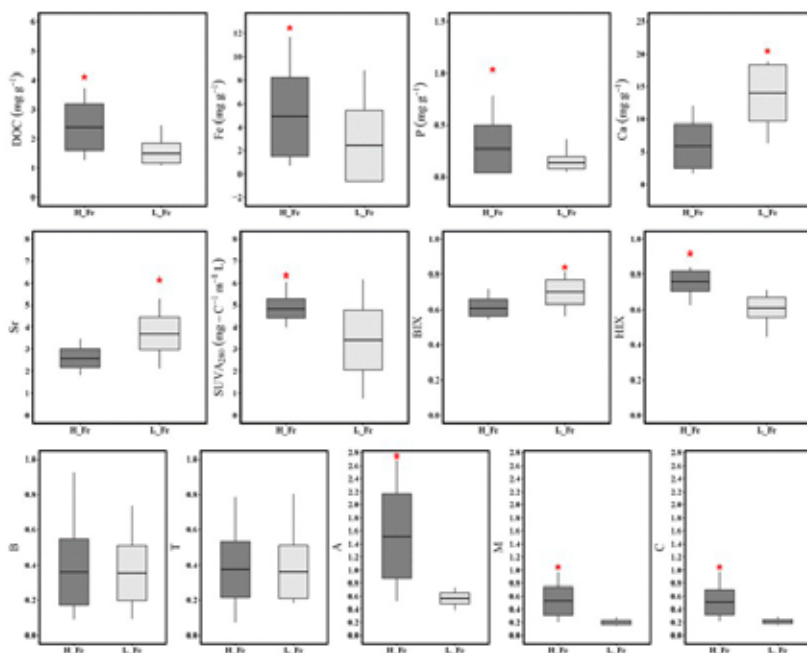
oběma skupinami nelišila, což může být způsobeno tím, že v pórové vodě je často vysoká aromaticita díky vysoké mikrobiální rozkladné aktivitě a akumulaci těchto látek [10]. Skupina rybníků skupiny H_Fe vykazovala vyšší humifikační index pro organické látky, nižší hodnoty pro biologickou aktivitu (nízké BIX), vyšší molekulovou hmotnost organických látek (nižší hodnoty Sr) a také nižší biomarker pro biodegradaci (pík B) [11]. Druhá skupina rybníků s povodí L_Fe tak byla charakteristická vyšší biologickou rozkladnou aktivitou organických látek a jejich více labilní povahou. Nedostupnost organických látek pro biodegradaci procesy může být způsobena jejich asociací právě s hydratovanými oxidy Fe, které je chrání před bakteriemi [12]. Nižší rozklad organických látek doprovází také nižší koncentrace nejenom P, ale také NH₄-N, která je v rybnících L_Fe vyšší a kde tak může snadněji docházet k jejich uvolňování do vodního sloupce.



Obrázek 3.

Koncentrace rozpuštěných látek (DOC, Fe, P, NH₄-N, Ca) v pórové vodě sedimentů z rybníků rozdělených do dvou skupin i) H_Fe (povodí rybníků s kyselým pH půd) a L_Fe (povodí rybníků s neutrálním pH půd).

Kvalita organických látek vyjádřena hodnotami Sr (velikost molekul), SUVA₂₈₀ (aromaticita), BIX (biologický index), HIX (humifikační index), píky humátového typu (A, M, C) a proteinového charakteru (M, C).



Obrázek 4.

Koncentrace extrahovaných látek (DOC, Fe, P, Ca) ve frakci BD1 ze sedimentů sledovaných rybníků rozdělených do dvou skupin i) H_Fe (povodí rybníků s kyselým pH půd) a L_Fe (povodí rybníků s neutrálním pH půd). Kvalita organických látek vyjádřena hodnotami Sr (velikost molekul), SUVA280 (aromaticita), BIX (biologický index), HIX (humifikační index), píky humátového typu (A, M, C) a proteinového charakteru (M, C).

Chemické extrakce sedimentu

Extrakce sedimentu pomocí silného redukčního činidla BD ve dvou krocích jasně ukazuje na vysoké koncentrace Fe ve vzorcích sedimentů z oblasti H_Fe (Obr.4). Na rozdíl od výsledků analýz vodního sloupce a pórové vody jsou koncentrace extrahovaného DOC v BD1 frakci vysoké u lokality H_Fe, což potvrzuje dříve zmíněnou stabilizaci organických látek do částicové formy a asociaci s hydratovanými oxidy Fe. Vysoká aromaticita (SUVA280), vysoký humifikační index (HIX) a píky typické pro aromatické látky (A, M a C) v BD1 frakci indikují více aromatickou povahu organických látek a jejich preferenční sorpci na hydratované oxidy Fe. BIX a Sr byly nižší v BD1 frakci pro sedimenty ze skupiny H_Fe (kyselé povodí). Vysoké koncentrace P v BD1 frakci ukazují na silnou afinitu P k hydratovaným oxidům Fe [3] a vysvětlují nízkou hladinu P v pórové vodě těchto sedimentů mělkých rybníků, které nejsou běžně anoxické. Podobné výsledky byly naměřeny pro frakci BD2 (výsledky nepublikovány) s výjimkou hodnot SUVA280 a BIX indexu, které byly srovnatelné pro obě skupiny rybníků. Obecně v BD2 frakci byly extrahovány více stabilní organické látky menší molekulové hmotnosti (vyšší Sr) a nižší aromaticitou (nižší SUVA280, nižší A, M, C píky). Výsledky tak jasně ukazují na vyšší stabilitu organických látek v sedimentech pro rybníky z kyselých oblastí díky jejich asociaci s Fe hydratovanými oxidy, které je stabilizují a snižují risk vysoké mineralizace, spotřeby kyslíku a uvolňování živin.

FTIR vysušeného sedimentu

Molekulární složení organických látek stanovených pomocí infračervené spektroskopie se mezi skupinami rybníků lišilo. Sedimenty s kyselým povodím měly v sedimentech vyšší podíl hydroxylových, aromatických, fenolických a polysacharidových pík. Rybníky s neutrálním povodím měly organické látky více alifatické s více karboxylovými a karbonylovými skupinami, které jsou typické produkty mineralizace organických látek oxidací [13].

Závěr

Železo hraje klíčovou roli ve stabilizaci organických látek v povodí s kyselými půdami. Naopak rybníky s neutrálními půdami v povodí vykazují vyšší koncentrace DOC jak ve vodní sloupci, tak rozpuštěné v pórové vodě. Tyto vysoce mobilní organické formy, navíc bohatší na labilní karboxylové a alifatické sloučeniny, které jsou snadno biologicky rozložitelné, představují vysokou zranitelnost systému v důsledku mikrobiálních rozkladů a rychlého vyčerpání kyslíku. Vysoká spotřeba kyslíku při rozkladných procesech pak může vést až ke vzniku anoxií, které mohou vést k úhynu ryb. Povaha povodí tak hraje důležitou roli jak v rychlosti obratu organického uhlíku ale také v cyklu živin a kyslíkovém režimu v celém vodním ekosystému.

Poděkování

Tato studie vznikla za finanční podpory projektů MŠMT (LM2015075, EF16_013/0001782), MZE (QK1810161 a QK22020179) a GAČR (projekt 19-00113S).

Literatura

- [1] TRANVIK, L.J. a kol. Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate. *Limnol. Oceanogr.* 2009 (54), 2298–2314.
- [2] DAS, B., Nordin, R., Mazumder, A., Watershed land use as a determinant of metal concentrations in freshwater systems. *Environ. Geochem. Health* 2009 (31), 595–607.
- [3] JAN, J., Borovec, J., Kopáček, J., Hejzlar, J. Assessment of phosphorus associated with Fe and Al (hydr)oxides in sediments and soils. *J. Soils Sediments* 2015 (15), 1620–1629.
- [4] OSAFO, N.O.A., Jan, J., Valero, A., Porcal, P., Petrash, D.A., Borovec, J. Organic matter character as a critical factor determining the fate and stability of its association with iron in sediments. *J. Soils Sediments*, 2022 (22), 1865–1875
- [5] WEISHAAR, J.L. a kol. Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon. *Environ. Sci. Technol.*, 2003 (37), 4702–4708.
- [6] HELMS, J.R. a kol. Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter (Limnology and Oceanography 53 955-969). *Limnol. Oceanogr.*, 2008 (53), 955–969.
- [7] COBLE, P.G. Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy. *Mar. Chem.*, 1996 (51), 325–346.
- [8] PUCHER, M. a kol. staRdom: Versatile Software for Analyzing Spectroscopic Data of Dissolved Organic Matter in *R. Water*, 2019 (11), 2366.
- [9] WU, J. a kol. Reduced lignin decomposition and enhanced soil organic carbon stability by acid rain: Evidence from ^{13}C isotope and ^{13}C nmr analyses. *Forests*, 2020 (11), 1–14.
- [10] Burdige, D.J., Komada, T., Sediment Pore Waters, Second Edi. ed, *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter: Second Edition*. 2015, Elsevier Inc.
- [11] Bittar, T.B. a kol. Competition between photochemical and biological degradation of dissolved organic matter from the cyanobacteria *Microcystis aeruginosa*. *Limnol. Oceanogr.*, 2015 (60), 1172–1194.
- [12] Kleber, M. a kol. Poorly crystalline mineral phases protect organic matter in acid subsoil horizons. *Eur. J. Soil Sci.*, 2005 (56), 717–725.
- [13] Kamjunke, N. a kol. Molecular change of dissolved organic matter and patterns of bacterial activity in a stream along a land-use gradient. *Water Res.*, 2019 (164), 114919.

TRANSPORT LÁTEK V POVODÍ RETENČNÍ NÁDRŽE NĚMČICE

Jana Konečná¹, Petr Karásek¹, Taťána Halešová², Eva Nováková¹, Michal Pochop¹

¹Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Oddělení Pozemkové úpravy a využití krajiny,
Lidická 25/27, 602 00 Brno, tel. +420 541 126 281, konecna.jana@vumop.cz

²ALS Czech Republic, Na Harfě 336/9, 190 00 Praha

Abstrakt

V experimentálním povodí nádrže na Němčickém potoce probíhá dlouhodobě výzkum transportu půdních částic a vybraných látek. Na měřicím profilu se kontinuálně sledují průtoky a srážky. Vzorky vod ze zvýšených odtoků (automatickým vzorkovačem) jsou stejně jako vzorky vody, půdy a dnových sedimentů z měsíčního monitoringu analyzovány na obsahy Ncelk, Pcelk a pesticidních látek. Od dokončení hráze v r. 2012 se nádrž zanáší dnovým sedimentem. Z pravidelného měření hloubek vyplynulo, že průměrná intenzita tohoto procesu je 0,6 cm ročně. Koncentrace celkového dusíku a podobně i fosforu byly ve dnovém sedimentu zjištěny přibližně dvojnásobné ve srovnání s půdou. Z hlediska zátěže pesticidy v půdách byly nejvyšší koncentrace zjištěny u glyphosátu, AMPA a diflufenicanu. Ve dnových sedimentech byla průměrná koncentrace metabolitu AMPA vyšší než u glyphosátu. Nejvýznamnějšími pesticidními látkami detekovanými monitoringem v povrchových vodách byly metolachlor ESA, dimetachlor ESA, AMPA a 1,2,4 triazol. Spektrum a koncentrace pesticidních látek ve vodě při zvýšených epizodních odtocích se od monitorin-
gu liší.

Klíčová slova: malé zemědělské povodí, živiny, pesticidy, půda, voda, sediment.

Abstract

Long-term research into the transport of soil particles and selected substances is ongoing in the experimental basin of the reservoir on the Němčický brook. Flows and precipitation are continuously monitored on a measuring profile. Water samples from increased outflows (by automatic sampler) are analyzed for the contents of Ntot, Ptot and pesticide substances, as well as samples of water, soil and bottom sediments from monthly monitoring. Since the dam was completed in 2012, the reservoir has been clogged with bottom sediment. Regular depth measurements showed that the average intensity of this process is 0.6 cm per year. Concentrations of total nitrogen and, similarly, phosphorus were found to be approximately twice in the bottom sediment as compared to the soil. In terms of pesticide load in soils, the highest concentrations were found for glyphosate, AMPA and diflufenican. In bottom sediments, the average concentration of the AMPA metabolite was higher than of glyphosate. The most significant pesticide substances detected by monitoring in surface waters were metolachlor ESA, dimethachlor ESA, AMPA and 1.2.4 triazole. The spectrum and concentration of pesticide substances in water during increased episodic discharges differs from monitoring.

Keywords: small agricultural catchment, nutrients, pesticides, soil, water, sediment.

Úvod

V reakci na ničivé dopady povodní na Moravě v roce 2003 byla v povodí Sloupského potoka (Moravský kras) zpracována studie odtokových poměrů, v rámci které byl mj. navržen systém retenčních nádrží [1]. Projekt jedné z nich, na pravostranném přítoku Němčického potoka, byl zakomponován do návrhu komplexní pozemkové úpravy obce Žďár (okr. Blansko). Realizace retenční nádrže byla dokončena v roce 2012. Maximální retenční prostor (62 000 m³) byl odvozen z hydrogramu ČHMÚ tak, aby maximální odtok při N100 nepřesáhl 4 m³/s. Hráz je 5 m vysoká a 206 m dlouhá v koruně (obr. 1). Stálá vodní zádrž (4 000 m³) byla navržena z ekologických důvodů, pro vytvoření příbřežního pásu. Ke zvýšení biodiverzity a estetiky území je dílo doplněno travními plochami a výsadbou dřevin. Vybudování nové retenční nádrže v relativně dobře sledovatelném povodí (plocha cca 3,5 km²) vytvořilo ojedinělou příležitost pro výzkum transportních jevů, kvantifikace zanášení nádrže a studium chemického složení dnových sedimentů.

Němčický potok se vlévá do Žďárné, která vtéká po soutoku s Luhou jako Sloupský potok do podzemí a v něm po soutoku s Bílou Vodou vyvěrá na povrch v Moravském krasu jako Punkva a ta v Blansku vtéká do Svitavy. Reliéf experimentálního povodí, který uzavírá hráze nádrže Němčice, komponují mírně členité, dlouhé pozvolné svahy Drahanské vrchoviny. Rozvodnice v nejvyšším bodě prochází nadmořskou výškou 656 m, uzávěr povodí má výšku 556 m. Půdní pokryv povodí tvoří převážně kambizemě modální eubazické až mezobazické na horninách kulmu, místy slabě oglejené, převážně středně těžké a středně skeletovité. V horních partiích svahů jsou půdní horizonty oderodované. V osevním postupu převládají obilniny a řepka olejná, dále se zde pěstuje kukuřice a víceleté píce. Z celkové plochy povodí 347 ha je 172 ha orné půdy, 21 ha trvalých travních porostů, les zaujímá 117 ha, zahrady, sady a křoviny 16 ha, ostatní je především zástavba, komunikace a vodní plochy [2]. V obci Němčice (471 obyvatel) není vybudován systém čištění odpadních vod.

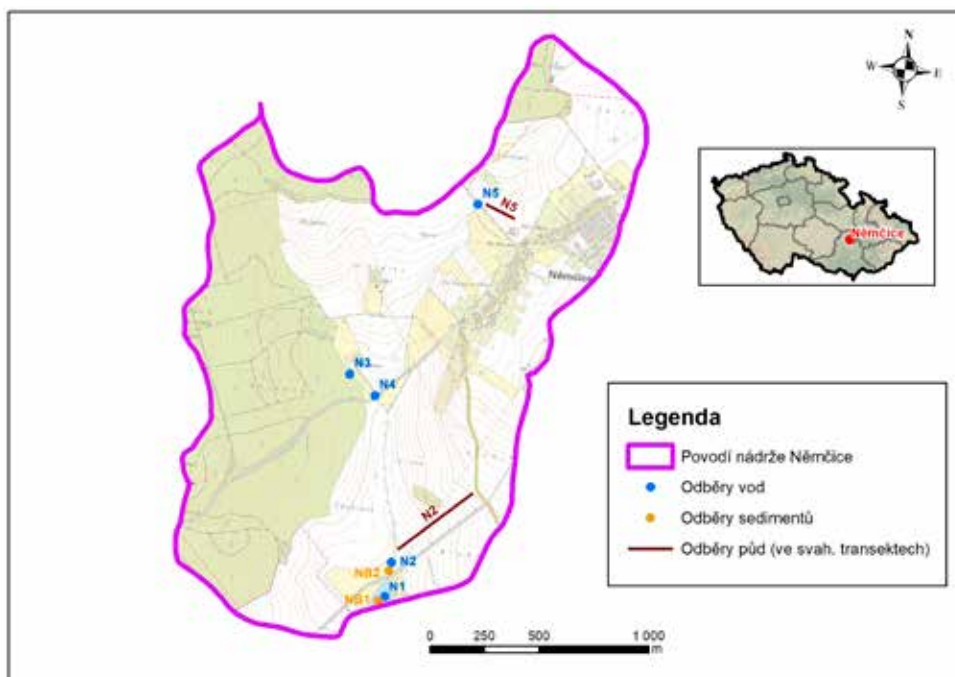


Obrázek 1. Retenční nádrž Némčice

Metodika

Výzkum transportu půdních částic a vybraných látek probíhá v experimentálním povodí Némčice od roku 2005, byl tedy zahájen před vybudováním nádrže. V měřicím profilu N2 na toku nad nádrží (obr. 2) vybaveném Thomsonovým přelivem a UZV sondou se kontinuálně sledují průtoky a srážky. Při zvýšených průtocích (nad 30 l/s) se pomocí automatického vzorkovače odebírají a následně analyzují vzorky vody. V povodí byly min. 2x ročně 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 uzavírá. Od roku 2019 bylo sledování následků epizodních odtokových událostí rozšířeno o systematický měsíční monitoring vod, půd a sedimentů se zaměřením na celkový dusík, fosfor a pesticidy [3]. Průběžně je zaznamenáván momentální stav povodí, zejména druh a stav zem. porostů. Dno nádrže bylo po dokončení hráze opakovaně výškově zaměřeno v gridu 5×5 m.



Obrázek 2. Odběrová místa v povodí nádrže Némčice

Výsledky monitoringu vod

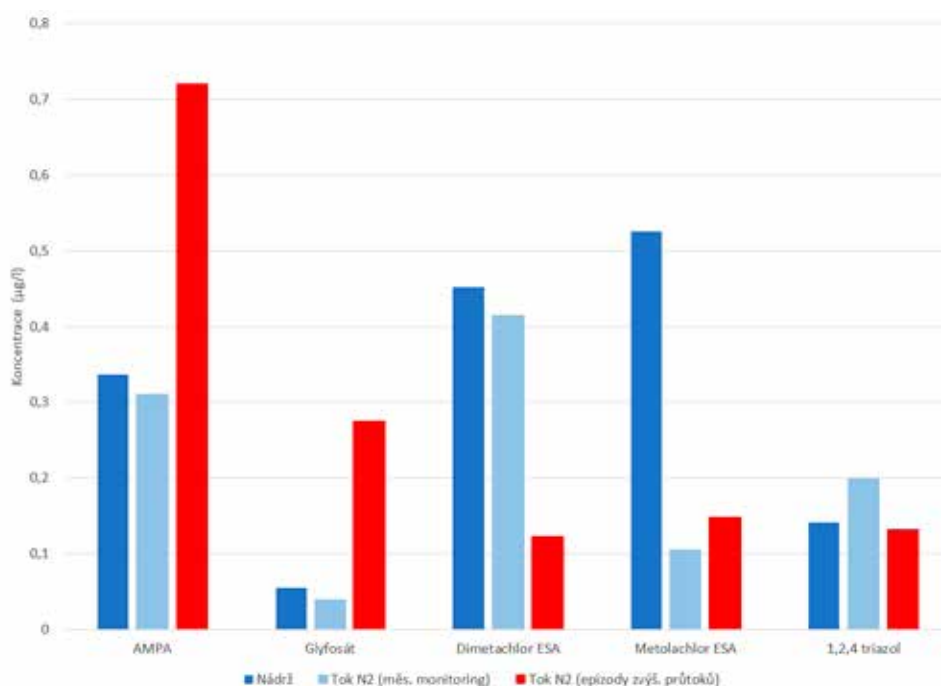
Z hlediska erozních účinků a transportu splavenin nejvýraznější událost za období 2019 až 2021 proběhla 14.10.2020, kdy bouřka s úhrnem 64,8 mm vyvolala maximální odtok 1430 l/s. Během přívalové vlny měřicím profilem N2 prošlo cca 140 t nerozpuštěných látek. Roční úhrny příčinných srážek, transportu nerozpuštěných látek, Ncelk a Pcelk prezentuje Tab. 1.

Tabulka 1. Transport látek při povodňových vlnách na Němčickém potoce v profilu N2

Rok	Qmax (l/s)	Úhrn příč. srážek (mm)	Počet událostí	Nerozp. látky (t)	Ncelk (kg)	Pcelk (kg)
2019	478,3	188,9	10	15,8	150,6	22,1
2020	1 429,6	241,2	8	140,9	884,4	24,5
2021	220,9	127,1	11	2,9	21,9	2,2

Ukázalo se, že průměrné koncentrace dusíku ve vodě byly při zvýšených přívalových průtocích (8,2 mg/l) nižší než ve vzorcích pravidelného monitoringu (11,1 mg/l), u fosforu je tomu naopak (přívaly 2,2 mg/l, měs. monitoring 0,24 mg/l). Při vysokých odtocích se také mění spektrum a koncentrace nesených pesticidních látek. Dle obr. 3 jsou zejména zajímavé vysoké koncentrace látky

AMPA, která je metabolitem glyfosátu. Voda v nádrži je v největší míře zatížena právě metabolity, vedle AMPA jsou to metolachlor ESA a dimetachlor ESA. Metabolit 1,2,4 triazol byl detekován v povrchových vodách, ale nikoliv v půdě či sedimentech. Vzniká rozkladem azolových pesticidů, jako epoxiconazolu a tebuconazolu [4].



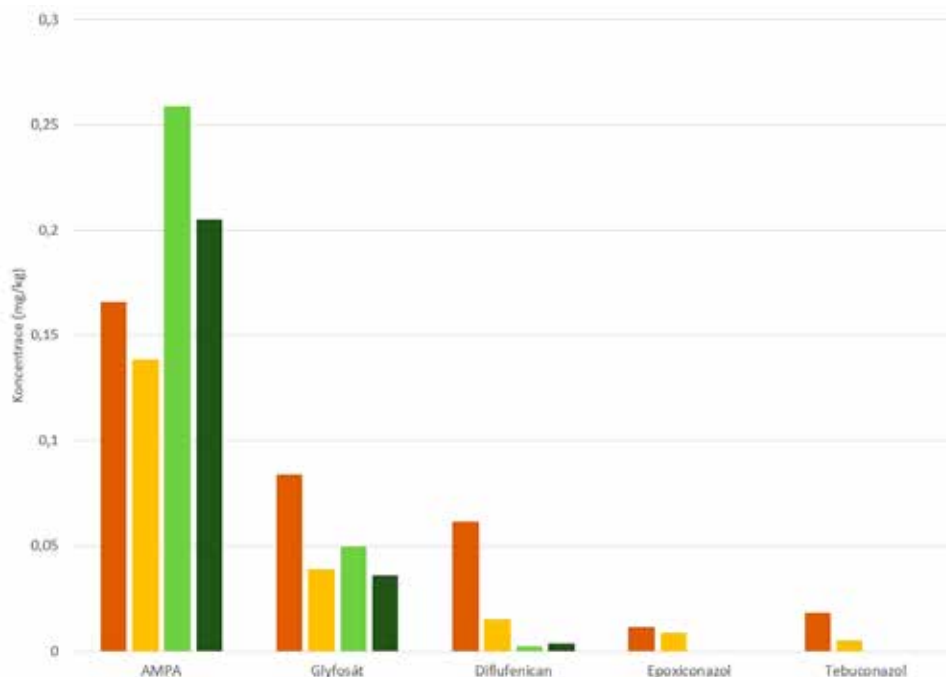
Obrázek 3. Průměrné koncentrace vybraných pesticidů v povrchových vodách

Výsledky monitoringu půd a sedimentů

V povodí Němčického potoka byly odebrány vzorky půd na 2 erozně ohrožených svazích s přímou návazností na tok. Od dokončení hráze se nádrž průběžně zanáší dnovým sedimentem, který je monitorován na sledované látky stejně jako půdy a dnový sediment v toku v profilu N2. Z pravidelného měření dna nádrže vyplynulo, že průměrná intenzita sedimentace je 0,6 cm ročně. Jakost dnových sedimentů je však zřejmě ovlivněna i komunálními odpady z obce [5].

Průměrná koncentrace Ncelk v půdách (2,01 g/kg) je nižší než v dnových sedimentech (3,88 g/kg) a stejně je tomu u Pcelk (půda

0,62 g/kg, sedimenty 1,41 g/kg). Z podrobných výsledků je patrná tendence akumulace sledovaných látek v úpatí svahů, návazně vyšší koncentrace těchto živin jsou v dnových sedimentech toku a nejvyšší v nádrži. Kontaminace půd a sedimentů pesticidními látkami je patrná z obr. 4. Průměrná koncentrace glyfosátu v ornici (0,08 mg/kg) je vyšší než v dnovém sedimentu nádrže (0,04 mg/kg), naopak jeho metabolit AMPA se vyskytuje ve vyšší koncentraci v sedimentu (0,21 mg/kg) než v ornici (0,16 mg/kg).



Obrázek 4. Průměrné koncentrace vybraných pesticidů v půdách a sedimentech

Závěr

Procesy spojené s vodní erozí jsou vzhledem k jejich rozšířenosti 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. Tyto látky vstupují ze zemědělské půdy do vodních útvarů také v důsledku průsaku profilem a podpovrchovým odtokem. Vedle plošných zdrojů mají svůj podíl na zhoršování jakosti vod samozřejmě i zdroje bodové, které však nebyly předmětem výzkumu.

Pozitivní vliv nádrže na pravostranném přítoku Němčického potoka na transformaci extrémních průtoků (např. v r. 2020) je nesporný. Intenzita zanášení není vysoká a případně by bylo možné ji ještě více snížit uplatněním protierozních opatření (zejm. biotechnických) na svazích podél toku. Tato opatření by potenciálně mohla přispět i k omezení vstupů živin a pesticidů ze zemědělských půd do vodních útvarů. V nádrži byly detekovány převážně metabolity pesticidních látek: ve vodě metolachlor ESA, dimetachlor ESA a AMPA, v dnovém sedimentu dominovala AMPA.

Poděkování

Tato studie vznikla díky podpoře MZe v rámci projektu RO0218 a QK1910282.

Literatura

- [1] PODHRÁZSKÁ, J. a kol. Studie protierozní a protipovodňové ochrany v části povodí Luhy a přilehlých katastrů. Brno: VÚMOP Praha, 2003. 53 s.
- [2] KONEČNÁ J., KARÁSEK P., NOVÁKOVÁ E., PODHRÁZSKÁ J., POCHOP M., ADÁMEK Z. Retenční nádrž Němčice a výzkum v jejím povodí. Pozemkové úpravy, 2022, 30(1): 3–8.
- [3] SÁŇKA, M. a kol. Transport látek v modelových povodích povrchovým odtokem. Redakčně upravená roční zpráva. Brno: Masarykova univerzita, 2020, 53 s.
- [4] HALEŠOVÁ, T., KONEČNÁ, J., VÁCLAVÍKOVÁ, M., KARÁSEK, P., NOVÁKOVÁ, E. Výskyt pesticidních látek v řece Punkvě. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 2022, 64(2): 29–33.
- [5] KONEČNÁ J., KARÁSEK P., KUČERA J., POCHOP M., PODHRÁZSKÁ J., KŘÍŽKOVÁ S., HALEŠOVÁ T. Soil and water quality in a small agricultural catchment on one of the Punkva river tributaries. In Fialová J. (Ed.) Public recreation and landscape protection – with sense hand in hand? Křtiny: Mendelova univerzita, 11. – 13.5.2020, 420–424.

MOŽNOSTI VYUŽITÍ SEDIMENTŮ PRO OCHRANU BŘEHŮ A PODPORU ROZVOJE LITORÁLU

Jaroslav Vrzák^{1,2}, Jakub Borovec³

¹CREA Hydro&Energy, z.s. Traubova 1546/6, 602 00 Brno, tel. +420 246 082 015, vrzak@hgpartner.cz

²HG partner s.r.o., Smetanova 200, 250 82 Úvaly

³Biologické centrum AVČR, v. v. i., Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice

Abstrakt

Porovnání různých přístupů k řešení problému s nadbytečným množstvím sedimentů a potřebou realizovat protiabrazní opatření ukazuje výhodnost použití upravených dnových sedimentů do ochranných konstrukcí.

Klíčová slova: přetvoření sedimentů, cirkulární ekonomika, projektování v souladu s přírodou

Abstract

A comparison of different approaches to solving the problem of excess sediments and the need to implement anti-abrasion measures shows the advantage of using modified bottom sediments in protective structures.

Keywords: sediment reuse, circular economy, nature-based designing

Úvod

Na nádržích se výrazně projevuje poškození břehů zapříčiněné kmitavým pohybem hladiny vlněním. Právě eolické vlnění hladiny je příčinou nejvýraznějšího poškození břehů. Abraze je jednou ze základních forem přetváření břehů vodních nádrží. Do těchto forem dále spadají sesuvy a jiné svahové pohyby, akumulace a omývání. Jedná se o plošné obrušování dna a břehů způsobené pohybem vody s následným transportem a ukládáním erodovaného materiálu do prostoru nádrže. Samotná abraze bývá definována jako proces mechanické destrukce hornin způsobený vlnobitím a prouděním, což vede při déletrvající úrovni hladiny v nádrži k vytváření strmého případně svislého abrazního srubu. Při patách abrazního srubu dalším působením pohybu vody dochází k vyplavování jemné frakce a následně až ke vzniku kaveren zasahujících do svahu. Takto vzniklý převis se může zřítit. Pásmo, kde se projevila abraze, bývá tvořeno abrazní částí, kde se projevuje destrukční činnost vln, a částí akumulační, kam je abradovaný materiál ukládán. Tento proces se však neprojevuje na všech březích nádrží, ale pouze v místech, která jsou k abrazi náchylná.

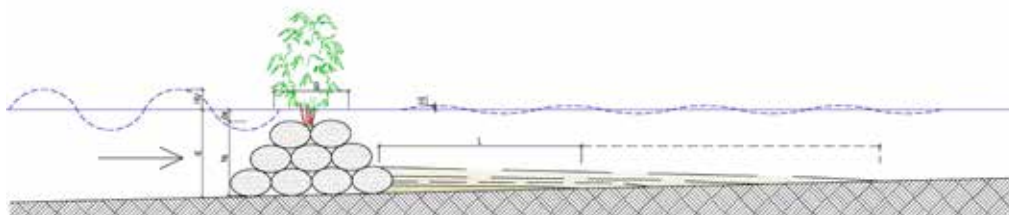
V současnosti užívané stabilizační metody zabraňující šíření břehové abraze lze rozdělit na pasivní, tj. umístěné přímo na břehu, nebo aktivní, umístěné uvnitř nádrže, transformující energii vlnění.

Z hlediska konstrukčního je možné následující dělení:

- Technické způsoby stabilizace břehů - kamenné paty svahů, betonové/železobetonové opěrné zdi, kamenné pohozy a záhozy, dlažby, drátokamenné matrace a další.
- Stabilizační prvky inženýrské biologie - živé vegetační opevnění, především břehové prosty keřových vrb a porosty rákosin v eulitorálu, resp. v sublitorálu, travní koberce, stromové porosty.
- Biotechnické postupy - kombinace technických a biologických stabilizačních prvků jako jsou haťové či haťošterkové válce, zápleťové plůtky, oživené kamenné rovnániny.
- Vlnolamy různých typů - zatopené, polozatopené a vynořené, propustné nebo nepropustné, pohyblivé nebo stabilní.

Na rozdíl od břehových technických opatření, jejichž problematika byla v minulosti hojně rozvíjena a opatření jsou realizována, vlnolamy se v podmínkách ČR využívají pouze výjimečně, i když se, zejména na větších nádržích, může jednat o velmi efektivní způsob snížení účinků kinetické energie vln na břehy. Jejich design se zejména v přímořských státech neustále vyvíjí ([1], [2], [3] a další), ale přímá přenositelnost těchto poznatků do vnitrozemských vod je omezená díky rozměrům a velikosti působících sil.

V oblasti vodního hospodářství patří mezi aktuálně řešené problémy objemy sedimentů uložených v nádržích, ochrana vodních děl a snížení zranitelnosti vodních děl. Ať už z technického hlediska (například břehová eroze) nebo zvýšení biodiverzity (například prostřednictvím rozšíření/vytvoření vhodných stanovišť pro organismy). Realizace zmíněných podpůrných projektů zpravidla vyžaduje umístění vhodných multi funkčních stavebních prvků, u kterých je požadována ochranná funkce z vodohospodářského hlediska a současně i funkce podporující životní prostředí. Z výčtu technických možností se jedná například o ponořené vlnolamy vhodné pro absorpci energie vln, struktury usměrňující proudění pro ovlivnění režimu sedimentace částic, výplňové konstrukce do polo ponořených vlnolamů a jiné.



Obrázek 1. Příklad použití solidifikovaného sedimentu v jutových vacích v konstrukci předsazeného ponořeného vlnolamu. Díky vhodnému složení konstrukčního materiálu je umožněn růst doprovodné keřové vegetace, posilující biologickou i absorpční funkci konstrukce.

Z geologického, ale i technického hlediska jsou sedimenty tříděný materiál různé zrnitosti, různém složení a obsahu organických látek koncentrovaný na jednom místě. Právě složení sedimentů zásadně ovlivňuje jejich vlastnosti i možnosti dalšího nakládání s nimi (organické sedimenty jsou vhodné do kompostáren, tříděné šterkopisky pro použití v pozemním stavitelství, existuje šedá zóna sedimentů jejichž uplatnění není zcela jednoznačné). Jeden z logických pohledů hovoří o navrácení sedimentu na jejich původní místo, tj. na zemědělský půdní fond. Proveditelnost tohoto opatření v případě větších objemů materiálu naráží na potřebnost souhlasu vlastníků pozemků nebo na jakost (složení) sedimentu. Ostatní způsoby nakládání jako zasypávání a rekultivace už nenaplňují principy cirkulární ekonomiky, kdy rekultivovat nebo zasypat lze méně hodnotným materiálem nebo materiálem dostupným v menších přepravních vzdálenostech.

Zdánlivě jednoduchý a přímočarý krok propojení možností technologií, přírodních podmínek a kýženého přínosu pro ekosystém je nakonec ze všeho nejkomplikovanější. Například znalosti vztahů mezi záměsmi hydraulických směsí a očekávaných mechanicko-fyzikálních vlastností produktu jsou omezeny na použití tradičních surovin a potřebné pevnosti. Měkký produkt ze sedimentů je mimo tradiční rozsah a spíše se bude blížit k zeminám, i když výsledný produkt zemina nebude. Podobně

vztah mezi hydrodynamikou a změnou abiotických podmínek jako nástroje pro přirozenou tvorbu nových stanovišť. Koloběh živin i rozdělení nik na daném místě je výslednicí rovnováh probíhajících procesů. Realizací opatření budou rovnováhy narušeny, ale protože ekosystémy fungují jako síť s mnoha proměnnými, přesný dopad nelze detailně předpovědět.

Poslední zmíněné tvrzení není zcela na závalu, naopak dobře odpovídá trendu projektování v souladu s přírodou, kdy v rámci daného ekosystému je vhodným opatřením indukovaná nerovnováha a dále se na tvorbě konečného výsledku významně podílí přírodní procesy (Obrázek 2). Přínosy tohoto přístupu lze nalézt jak po ekonomické stránce (značnou část stavby „dodělá“ příroda), tak i po funkční stránce, kdy výsledné řešení bude v souladu s přírodními procesy.

V nastíněném uvažování se prolínají a další principy v současné době rezonující v Evropské unii: 1) potřeba cirkulární ekonomiky, zde ve vztahu k ochraně primárních zdrojů surovin; 2) adaptace na klimatickou změnu a 3) snížení CO₂ stopy. Přestože jsou jednotlivé principy už nějakou dobu známé, jejich uvádění do praxe je pomalé a mnohdy jsou realizovány samostatně. Jejich propojení přináší kýžený synergický efekt, a činí navrhované postupy unikátními a novými.



Obrázek 2. Schéma změny hydrodynamiky vodního sloupce

doprovázená usazováním částic a tvorbou mělčiny/ostrova za představeným vlnolamem.

Schémat zleva: původní směr vlnění, změna vlnění po realizaci opatření, samovolné ukládání částic a dotvoření cílového stavu.

Z ekonomického hlediska kombinace řešení použití a přetvoření „odpadních“ sedimentů na výrobek, společně s vhodnou volbou „měkkých“ opatření navržených v kontextu respektování a využívání přírodních sil nevychází špatně. Samozřejmě vytěžení sedimentů suchou cestou a jejich uložení na ZPF v blízkém okolí bude

často nejlevnější varianta. Pokud ale zkombinujeme odstranění sedimentů s realizací opatření, dochází k úsporám na přepravě, množství vstupního materiálu, a i době realizace.

Obrázek 3: Schéma rozdělení činností, včetně časové náročnosti pro tři záměry. Samotné odstranění sedimentů na uložení na zemědělský půdní fond (ZPF), Realizace ochranných opatření proti abrazi bez využití přírodních procesů, a realizace ochranných opatření proti abrazi s využitím sedimentů a zapojením přírodních proces (PP). Jednotkové ceny jsou pouze orientační, odvislé od konkrétní situace

	Příprava		Realizace			Údržba				Kč/m ³
Odstranění sedimentů s ZPF										600
Realizace opatření a údržba										4800
Realizace opatření se zapojením PP										1800

Poděkování

Tento příspěvek byl realizován za podpory projektů MPO Kolektivní výzkum 6 č. CZ.01.1.02/0.0/0.0/197_263/0018826 a GAČR 22-04726S „Zhodnocení sedimentů pomocí alkalické aktivace“.

Literatura

- [1] FIRTH, LB; THOMPSON, RC; BOHN, K; ABBIATI, M; AIROLDI, L; BOUMA, TJ; BOZZEDA, F; CECCHERELLI, VU; COLANGELO, MA; EVANS A; FERRARIO, F; HANLEY, ME; HINZ, H; HOGGART, SPG; JACKSON, JE; MOORE, P; MORGAN, EH; PERKOL-FINKEL, S; SKOV, MW; STRAIN, EM; VAN BELZEN, J; HAWKINS, SJ (2014) Between a rock and a hard place: Environmental and engineering considerations when designing coastal defence structures. COASTAL ENGINEERING. 87:122-135 .
- [2] VICINANZA, D; DI LAURO, E; CONTESTABILE, P; GISONNI, C; LARA, JL; LOSADA, IJ (2019) Review of Innovative Harbor Breakwaters for Wave-Energy Conversion. JOURNAL OF WATERWAY PORT COASTAL AND OCEAN ENGINEERING. 145 (4); DOI 10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000519
- [3] ZHAO, XL; NING, DZ; ZOU, QP; QIAO, DS; CAI, SQ (2019) Hybrid floating breakwater-WEC system: A review. OCEAN ENGINEERING 186; DOI 10.1016/j.oceaneng.2019.106126.

ODLOVY NEŽÁDOUCÍCH DRUHŮ RYB Z PŘEHRADNÍCH NÁDRŽÍ – MOŽNOSTI, EFEKTIVNOST A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Tomáš Jůza¹, Petr Blabolil^{1,2}, Martin Čech¹, Vladislav Drašík¹, Michaela Holubová¹, Jan Hůda^{1,2}, Luboš Kočvara¹,
Tomáš Kolařík¹, Milan Muška¹, Jiří Peterka¹, Marie Prchalová¹, Milan Říha¹, Zuzana Sajdllová¹, Michal Tušer¹,
Mojmír Vašek¹, Lukáš Vejřík¹, Jan Kubečka¹

¹Biologické centrum AV ČR v.v.i., Hydrobiologický ústav, Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice,
tel. +420 733 373 139, tomas.juza@hbu.cas.cz

²Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Přírodovědecká fakulta, Branišovská 1760, 370 05 České Budějovice

Abstrakt

Rybí společenstva přehradních nádrží jsou společným výsledkem samovolného vývoje populací a vlivu lidských zásahů. Pro situace, kdy je třeba určitou část populace ryb odlovovat, jsme v rámci projektu „Biomaniipulace jako nástroj zlepšení kvality vody nádrží“ testovali dostupné přístupy z hlediska jejich účinnosti a náročnosti. Cílovými druhy odlovů byly zejména kaprovité ryby (cejn velký, ouklej obecná, plotice obecná, perlín ostrobříchý, cejnek malý), které se živí převážně zooplanktonem a mají tendenci vytvářet velmi početné populace. Mezi nejefektivnější metody odlovů při tření patří odlovy pomocí omračovací elektrolovné lodě nebo pomocí vězenců. V období mimo tření je možné provádět hromadné odlovy s použitím vlečné (tralové) sítě. Odlovy jsou efektivní jak před třením (v dubnu), tak i během léta. Při opakovaných odlovech na stejných místech ale jejich účinnost klesá v důsledku rozplašení ryb. Účinnost odlovů se částečně opět zlepšuje, pokud se odlovy opakují s přibližně 1–2 týdenní přestávkou. Úlovky se také mění podle hustoty obsádky daného vodního útvaru. Při efektivních odlovech vychází náklady na ulovení 1 kg ryb v rozmezí 15–50 Kč.

Klíčová slova: biomanipulace; cejn velký; tralování; elektrolov; vězence

Abstract

The fish communities of dam reservoirs are the joint result of the spontaneous development of populations and the influence of human interventions. For situations where a certain part of the fish population needs to be caught, within the project "Biomaniipulation as a tool for improving the water quality of reservoirs", we tested the available approaches in terms of their effectiveness and difficulty. The target species of catches were mainly cyprinid fish (bream, bleak, roach, rudd, white bream), which feed mainly on zooplankton and tend to form very large populations. Among the most effective methods of catch during spawning are catches using electrofishing boats and fyke nets. In the non-spawning period, it is possible to carry out mass catches using trawl nets. Catches are effective both before spawning (in April) and during the summer. However, with repeated catches in the same places, their effectiveness decreases as a result of the fish being spooked. The efficiency of the catches partially improves again if the catches are repeated with a break of approximately 1–2 weeks. Catches also vary according to the stocking density of a given water body. With effective catches, the cost of catching 1 kg of fish is in the range of CZK 15–50.

Key words: biomanipulation; common bream; trawling; electrofishing; fyke nets

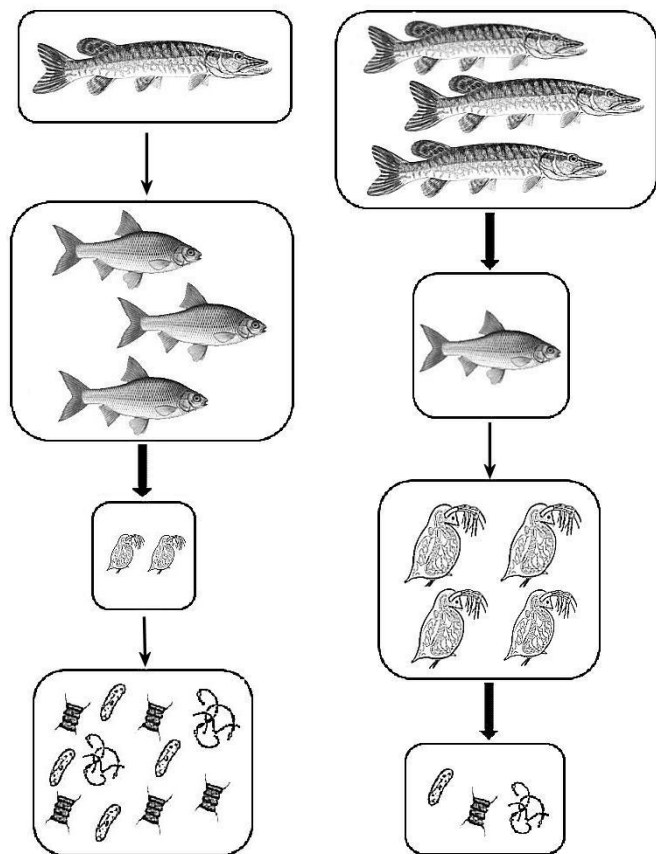
Úvod

Přehradní nádrže, vybudované přehrazením koryt toků hrází, plní několik důležitých funkcí. Slouží především jako zásobárny vody ať už pro účely zásobování obyvatel pitnou vodou (vodárenské nádrže) nebo pro potřeby průmyslu a zemědělství. V případě zvýšených průtoků jsou schopny zachytit část povodňové vody a plní tak funkci povodňové ochrany. V období nízkých průtoků nadlepují průtoky na řekách a umožňují udržovat řeky splavné pro lodní dopravu. Nezanedbatelná je rovněž funkce rekreační včetně využívání mnoha nádrží rekreačními rybáři. Především pro účely vodárenství a rekreace je zcela klíčovou otázkou co nejvyšší jakost vody v nádržích s minimem řas a sinic, která úzce souvisí se složením rybí obsádky.

U nádrží (v našich podmínkách zejména rybníků), které se pravidelně vypouštějí, je odlov nežádoucích druhů ryb relativně jednoduchý. U přehradních nádrží však vypuštění zpravidla nepřichází v úvahu, a pokud je na nádržích uplatňováno účelové rybářské obhospodařování, kdy je cílem snížení planktonožravého potenciálu rybí obsádky, je znalost složení rybích společenstev (druhové, velikostní složení) a jejich distribuce zcela nezbytná. Většina přehradních nádrží v ČR jsou v současné době relativně eutrofní (živinově zatížené) vody s převahou nežádoucích kaprovitých druhů ryb (Blabolil a kol., 2014; Blabolil a kol., 2017), proto je odstranění těchto druhů, vedle snížení živinového zatížení, často prvotním způsobem nápravy nevyhovujícího stavu. Nápravy se dosahuje nejrozličnějšími způsoby, především regulačními odlovy planktonožravých druhů ryb, vysazováním ryb dravých, snižováním vodní hladiny po tření nežádoucích druhů ryb atd. (Kopp a kol., 2018). Kontrolními odlovy se pak správce nádrže přesvědčuje o stavu rybích obsádek a efektu provedených opatření. Každopádně, ať už je nádrž využívána k zásobování pitnou vodou či k rekreaci, vysoká kvalita vody v ní je naprostou prioritou.

Zásahy do rybí obsádky mající za cíl zlepšení kvality vody označujeme jako biomanipulace (Hrbáček, 1981). Jedním z nástrojů biomanipulace jsou regulační odlovy planktonožravých a potenciálně planktonožravých druhů ryb jako jsou plotice obecná, ouklej obecná, cejnek malý, cejn velký, perlín ostrobříchý atd. Tyto ryby se živí primárně zooplanktonem, který je hlavním konzumentem řas. Při vysokých počtech planktonožravých ryb je ve vodě málo zooplanktonu a naopak hodně řas způsobujících nežádoucí vodní květy (Obr. 1). Zcela nežádoucím druhem ve vodárenských nádržích je i kapr obecný, který je schopen přerývat sedimenty dna a napomáhat tak uvolňování fosforu do vodního sloupce. Protože je právě kapr velmi často cílovým druhem rybářů, stojí obvykle rybářské zájmy a snahy o co nejvyšší kvalitu vody proti sobě.

Cílem tohoto příspěvku je publikace zkušeností získaných při biomanipulačních odlovech nádrží Římov, Klíčava a Žlutice v rámci projektu „Biomaniipulace jako nástroj zlepšení kvality



Obrázek 1. Zjednodušené schéma působení dravých a planktonožravých ryb na nižší články potravního řetězce (planktonní koryše a řasy). Intenzita vyžíracího tlaku je znázorněna tloušťkou šipek. Vlevo: nežádoucí stav s velkým množstvím planktonožravých ryb a silným vegetačním zákalom vody. Vpravo: žádoucí stav (nízké množství planktonožravých ryb, rozvinutý velký filtrující zooplankton a slabý vegetační zákal vody), jenž je cílem biomanipulačních zásahů (podle Vašek a kol., 2014).

vody v přehradních nádržích“. Aby byly biomanipulační odlovy účinné, je třeba odlovit většinu nežádoucích druhů ryb a zvýšit zastoupení dravých ryb ve společenstvu na minimálně 30 % celkové biomasy (Mehner a kol., 2004). Toto však není, vzhledem k velikosti, hloubce a členitosti přehradních nádrží triviální úkol. Tento příspěvek přináší souhrnnou informaci o tom, jakými metodami je možné dosáhnout maximální možné redukce rybí obsádky s co nejvyšší efektivitou, tedy při zachování rozumných nákladů na pracovní sílu, amortizaci odlovných zařízení a pohonné hmoty.

Materiál a výsledky

K hromadným odlovům nežádoucích druhů ryb byly v letech 2020 a 2021 na nádržích Římov (210 ha), Žlutice (160 ha) a Klíčava (62 ha) použity tyto metody: 1) vlečná síť tažená dvěma loděmi (velikost vstupního otvoru 18x8 m, obvykle duben a srpen), 2) odlov pomocí omračovací elektrolovné lodi ve tření (květen) a rovněž 3) odlov pomocí vězenců umístěných v přítoku během třecí migrace ryb (pouze na nádržích Římov a Žlutice, velikost vstupního otvoru 3x3 m – Římov, 1,2x1,2 m – Žlutice, březen-květen). Každá z následujících podkapitol popisuje metodiku, dosažené množství odlovených ryb a výpočet efektivity a rentability pro každý odlovný prostředek zvlášť.

Odlovy pomocí přítokového vězence

Jednotlivým prvkem lovu pomocí vězenců je skutečnost, že ryba musí vniknout do akumulární části lovného prostředku (komora), kde se úlovek shromažďuje a nemůže odsud uniknout (tzv. pasivní lovný prostředek). Do komory je ryba navedena různě složitým systémem křídel a úvršků (trychtýře s otvorem v jejich vyústění). Na větších vodách se pro zvýšení účinnosti vždy vyplácí použití naváděcích křídel (Kubečka a kol. 2020). Křídla i vlastní tělo vězence jsou obvykle vyrobeny ze síťoviny s oky 15 mm (Obr. 2). Jak již bylo zmíněno v úvodu, z nádrží je třeba odlovit



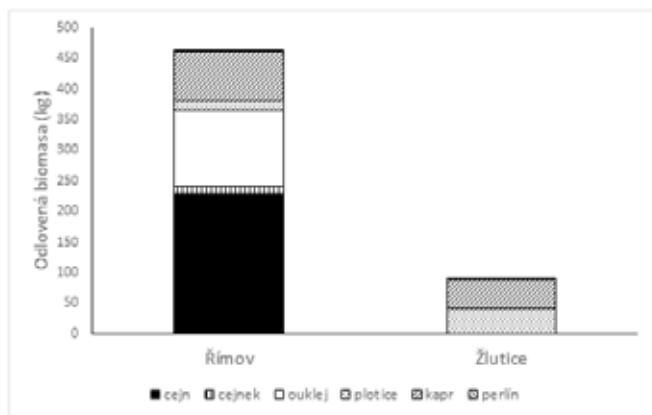
Obrázek 2. Malý vězenec s vlastní samonosnou konstrukcí využívaný v menších přítocích přehradních nádrží, případně mimo přítoky a období tření na nádržích s velkou hustotou ryb.

většinu biomasy ryb. Malé, náhodně rozmístěné vězence jsou méně účinné a velmi druhově selektivní. Pro dosažení maximální efektivity je tedy třeba použít vězence větší, které jsou instalovány přímo v migrační cestě ryb (Obr. 3). Ideální migrační cestou je řeka vtékající do nádrže, kterou ke tření využívá celá řada nežádoucích druhů ryb jako například oukleje a cejni.

Na nádrži Římov bylo celkem odloveno 461 kg ryb, z toho naprostou většinu představoval cejn velký (229 kg) a ouklej obecná (123 kg, Obr. 4). Na nádrži Žlutice byly ve srovnání se Římovem úlovky do vězenců výrazně nižší. Dominantními druhy byli kapr (47 kg) a dále plotice (41 kg).



Obrázek 3. Velký vězenec zavěšený na lešenářské konstrukci v přítoku nádrže Římov



Obrázek 4. Biomasa různých druhů plevných ryb odlovená na nádržích Římov a Žlutice v letech 2020 a 2021 pomocí vězenců.

Při stavbě velkého přítokového vězence zavěšeného na lešenářských trubkách (Obr. 3), který je vhodné použít do větších a širších přítoků, představují největší investici trubky a vlastní vězenec. Trubky potřebné pro stavbu nosného lešení stojí přibližně 50 tis. Kč, stejnou částku pak stojí i vězenec. K instalaci vězence je v ideálním případě zapotřebí 6 pracovníků a instalace trvá s přípravou, dopravou materiálu lodí do přítoku nádrže a vlastní instalací vězence přibližně 10 hodin. Stejný čas a počet pracovníků je potřeba také na rozebrání a odvoz celé konstrukce. Při uvažované superhrubém platu 300 Kč na hodinu pro jednoho pracovníka se dostáváme na celkovou částku za instalaci a odstranění vězence 36 tis. Kč. Připočteme-li náklady na provoz při dvouměsíční době instalace (polovina dubna-polovina června) a frekvenci kontrol 2 krát týdně (3 pracovníci, 5 hodin, 16 kontrol), výsledná částka je 72 tis. Kč. Drobný materiál a pohonné hmoty spojené s instalací a kontrolami vězence lze odhadnout na cca 15 tis. Kč. Bez započtení nákladů na pořízení vězence jsou tak celkové náklady přibližně 108 tis. Kč na jednu sezónu odlovů. Naše odlovy na nádrži Římov ukazují, že se pomocí velkého přítokového vězence uloví okolo 1 tuny nežádoucích druhů ryb během jedné sezóny (Hladík a Kubečka, 2003), což odpovídá řádově stokrát více za kilogram odlovených ryb. Se započtením ceny vězence a lešení je to pak přibližně 120 Kč na kilogram odlovených ryb (Tabulka 1).

Náklady na pořízení menšího, tzv. předsíňového, přítokového vězence, pro který není nutné stavět vlastní konstrukci (Obr. 2), jsou přibližně 20 tis. Kč. Také náklady na jeho postavení a složení jsou výrazně nižší. Práci zvládnou 2 pracovníci i s přípravou za přibližně 3 hodiny. Při 300 Kč za hodinu práce to odpovídá 3 600 Kč za instalaci i odstranění. Budeme-li počítat dvouměsíční dobu instalace s kontrolami 2x týdně (2 pracovníci, 4 hodiny, 16 kontrol), dostáváme se na částku kolem 38 tis. Kč. Nebereme-li v úvahu cenu vězence, vychází náklady na instalaci a kontroly na 42 tis. Kč. Oproti velkému přítokovému vězenci jsou náklady přibližně poloviční, lze však očekávat, že úlovky budou také výrazně nižší. Náklady na odlov kilogramu ryb tak budou při použití obou zařízení přibližně stejné, obzvláště je-li instalováno větší množství těchto vězenců najednou (Tabulka 1).

Odlovy ve tření pomocí elektrolovné lodi

Lov ryb elektrickým proudem spočívá ve vytvoření elektrického pole ve vodě za pomoci elektrického agregátu. Toto pole je vytvořeno mezi dvěma elektrodami ponořenými do vody (kladnou – anodou, zápornou – katodou). U ryb, jež se nachází v dosahu elektrického pole, dochází ke stimulaci nervového systému, která se projevuje nuceným plaváním ryby směrem k elektrodě (tzv. galvanotaxe). Při přiblížení ryb k elektrodě dochází k dočasnému znehybnění až omráčení ryb (galvanonarkóza), takže se ryby stávají snadno ulovitelné lovci s podběráky. Omráčení ryby trvá poměrně krátkou dobu, po několika vteřinách, maximálně minutách se ryba opět plně zotavuje (Bednář a kol. 2013).

Z hlediska biomanipulačních odlovů je nutné odlovy provádět v době a na místech, kde dochází k akumulaci ryb na malém prostoru. Jako nejvhodnější se tak jeví především období tření karpovitých ryb, kdy jsou ryby agregovány ve velkých počtech na malé ploše a navíc ztrácejí svou obvyklou ostražitost a jsou tak snadno ulovitelné. V našich podmínkách nastává období tření v závislosti na vývoji počasí na jaře v období od druhé poloviny dubna do konce května. V jiné části roku jsou odlovy elektrickým proudem pomocí omračovací lodi obvykle málo účinné. Základem úspěchu hromadných odlovů elektrickým proudem je tak správné načasování odlovů. Především cejni se v našich nádržích třou za hezkého slunečného počasí s teplotou vody nad 14 stupňů a jejich migrace do příbřeží za třením je tak jasně patrná (Hladík a Kubečka, 2003). Pro odlovy ryb elektrickým proudem na nebroditelných tocích a vodních plochách jsou sériově vyráběny speciální omračovací elektrolovné lodě (Obr. 5).

Na nádrži Římov bylo celkem odloveno 2 341 kg ryb, z toho naprostou většinu představoval cejn velký (2205 kg, Obr. 6). Na nádrži Žlutice bylo uloveno celkem 5 524 kg ryb, úlovku dominoval kapr obecný (3 360 kg) a cejn velký (1 832 kg, Obr. 6). Na nádrži Klíčava bylo lovu ryb elektrolovnou lodí ve tření věnováno nejmenší úsilí a úlovky byly zanedbatelné (Obr. 6).

Elektrolovnou loď s veškerým vybavením potřebným k odlovu elektrickým proudem, motorem a podvozem k přepravě lze zakoupit za cca. 600 tis. Kč v případě jednoduché pramice, ze které musí být po skončení lovu veškeré vybavení odinstalováno. V případě profesionální elektrolovné lodi se zabudovaným veškerým vybavením, průtočnou kádí na ryby, výkonným motorem (Obr. 5) a těžkým brzděným přívěsem se cena pohybuje okolo 1,5 mil. Kč. Hodinovou amortizaci veškerého elektrolovného vybavení lze odhadnout na 1 000 Kč, pohonné hmoty do motoru a agregátu na 500 Kč. K odlovům jsou třeba 4 pracovníci, což při hrubé hodinové mzdě 300 Kč představuje 1 200 Kč za hodinu. Při opravdu masivním tření je elektrolovná četa schopna odlovit



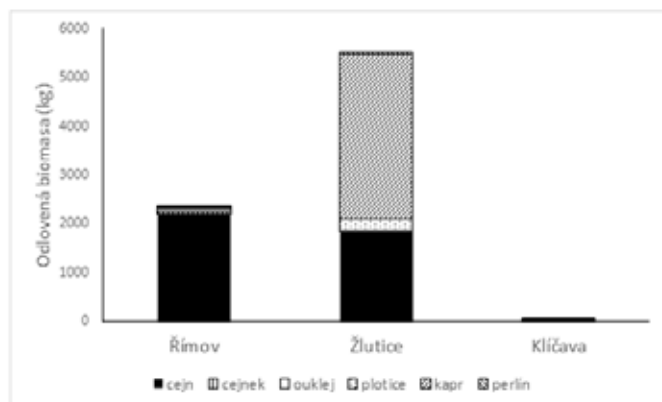
Obrázek 5. Elektrolovná loď používaná k odlovu ryb elektrickým proudem.

za hodinu přibližně 500 kg ryb. Jeden kilogram ulovených ryb tak vychází na 5 Kč, za předpokladu, že nepočítáme pořizovací cenu vybavení. Se započtením ceny vybavení lze odhadnout cenu uloveného kilogramu ryb na přibližně 15 Kč (Tabulka 1).

Odlovy pomocí vlečné sítě (tralu)

Tral (z angl. trawl – vlečná síť) je aktivně lovicí síť kuželovitého tvaru zakončená jádrem nebo zužujícím se rukávem, která je vlečena jedním nebo dvěma plavidly (Obr. 7). Ideálně by měla lovit celou svrchní vrstvu volné vody (sloupec vody od hladiny až po skočnou vrstvu, tzv. epipelagiál), kterou v našich nádržích obývá většina ryb (Prchalová a kol., 2008). Odlovy ryb pomocí tralu je možné provádět ve dne i v noci. Podle našich zkušeností se mezi oběma obdobími výrazně liší složení úlovku. Zatímco ve dne dominují úlovku především větší ryby (obvykle adultní jedinci cejna velkého), případně dospělé oukleje obecné, plotice obecné a perliní ostrobřiší, v noci jsou ve volné vodě loveny především mladší jedinci zmíněných druhů (jednoleté a dvouleté ryby, případně oukleje, Říha a kol., 2015). Hlavně v noci bývají často uloveny rovněž ryby tohoroční, vzhledem k velikosti ok v koncové části tralu (10 mm) jich však většina projde oky sítě (Říha a kol., 2012).

Na nádrži Římov bylo celkem odloveno 9 632 kg ryb, z toho naprostou většinu (8 671 kg) představoval cejn velký (Obr. 8). Cejn velký dominoval odlovené biomase rovněž na nádržích Žlutice a Klíčava, zde však byly biomasy odlovené pomocí tralu výrazně nižší ve srovnání s Římovem (570 kg Žlutice, 591 kg Klíčava, Obr. 8).



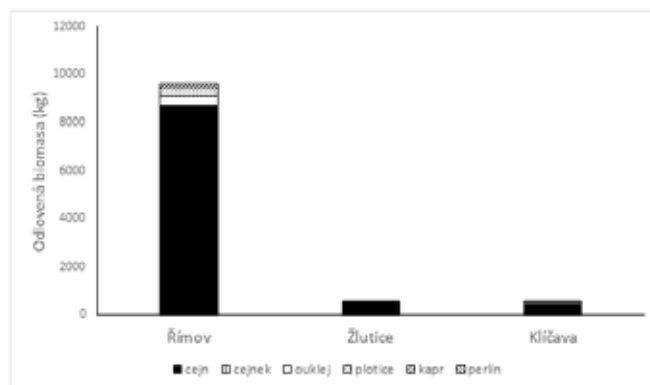
Obrázek 6. Biomasa různých druhů plevných ryb odlovená na nádržích Římov, Žlutice a Klíčava v letech 2020 a 2021 pomocí elektrolovu.

Pomocí tralu bylo odloveno jednoznačně nejvíce ryb ze všech metod. Obrovskou výhodou tralování je fakt, že jeho použití není vázáno na poměrně krátký časový úsek období tření, jako je tomu v případě elektrolovu a vězenců. Ačkoli je tralování velmi účinnou odlovnou metodou, je třeba si uvědomit, že náklady na kilogram ulovených nežádoucích ryb jsou vysoké. Pořizovací cena vybavení potřebného k tralování je velmi vysoká. Vlastní cena sítě včetně veškerého příslušenství jako jsou zátěže, bóje a lana se pohybuje okolo 200 tis. Kč. Nejnákladnější položkou jsou ale tažné lodě. Cenu každé z nich je v závislosti na velikosti a jejím vybavení možno odhadnout na 2 miliony Kč. Ke každé z těchto lodí je potřeba přivést k přepravě lodí mezi nádržemi. Cena dvou přívěsů se v závislosti na velikosti lodí může vyšplhat k 500 tis. Kč. Celkové vybavení potřebné pro tralování včetně pomocných



Obrázek 7. Grafické znázornění dvojlodního adultního tralování spolu s pomocnými loděmi v rozích tralu, regulujícími hloubku sporní žíně tralu.

pramic, vybírací lodi s motorem, malých echolotů, nádob na ryby a dalšího drobného materiálu přesáhne 5 mil. Kč. K odlovům je potřeba ideálně 8 pracovníků, což při hrubé hodinové mzdě 300 Kč představuje náklady na zaměstnance 2400 Kč za hodinu. Spotřebu pohonných hmot každé z tažných lodí můžeme odhadnout na 20 litrů benzínu nebo nafty na hodinu což odpovídá přibližně 2 000 Kč. Amortizaci vlečné sítě a tažných lodí můžeme odhadnout na 5 000 Kč za hodinu. Celkové hodinové náklady bez započtení pořizovací ceny materiálu tak lze odhadnout na částku kolem 9 tis. Kč. Při vyšších hustotách ryb je možné za hodinu tralování ulovit kolem 1 tuny ryb, což odpovídá zhruba 9 Kč za kilogram ryb. Je třeba si však uvědomit, že úlovek jedné tuny ryb za hodinu tahu je obvyklý pouze pro nádrže s velkou biomasou cejna velkého, případně jiných velkých ryb jako jsou například kapři. S opakovanými odlovy ryb ubývá a zároveň dojde k jejich rozplášení a naředění, další odlovy bývají proto obvykle méně účinné. S časem se tedy náklady na ulovení kilogramu nežádoucích druhů ryb zvyšují. Započítáme-li do výsledné cenové kalkulace rovněž cenu vlečné sítě, vychází cena jednoho uloveného kilogramu na přibližně 15 Kč na nádrži s vyšší hustotou obsádky a v první fázi odlovů, kdy jsou ryby ještě koncentrovány ve volné vodě (nerozplášená nádrž) a na přibližně 150 Kč při odloveh na nádrži s nižší hustotou obsádky či při pokračujících odloveh při snížení rybí obsádky (Tabulka 1). Odlovy tralovými sítěmi jsou možné jen na větších nádržích, kde je možné provést několik tahů tralovou sítí a tral bezpečně používat.



Obrázek 8. Biomasa různých druhů plevných ryb odlovená na třech sledovaných nádržích v letech 2020 a 2021 pomocí tralu.

Metoda Aktivní lovný prostředek:	Situace	Úsilí		Mzdové náklady			Provozní náklady - loď			Provozní náklady - lovný prostředek			Pohonné hmoty a ostatní	Úlovek	Celkové náklady	Cena úlovku
		Počet jednotek	Jednotka	Počet osob	Počet hodin	Mzda [Kč/hod.]	Celkem [Kč]	Pořizovací cena [Kč]	Životnost [mnohod.]	Celkem za jednotku [Kč]	Pořizovací cena [Kč]	Životnost [hod.]	Celkem za jednotku [Kč]			
Elektrolov jednoduchá loď	Vrchol tření	1	hodina	4	1	300	1 200	800 000	1 000	800	2 000	10 000	0,2	200	2 500	13
Elektrolov jednoduchá loď	Mírné tření	1	hodina	4	1	300	1 200	800 000	1 000	800	2 000	10 000	0,2	60	2 500	42
Elektrolov profesionální loď	Vrchol tření	1	hodina	4	1	300	1 200	2 000 000	2 000	1 000	2 000	10 000	0,2	200	2 700	14
Elektrolov profesionální loď	Mírné tření	1	hodina	4	1	300	1 200	2 000 000	2 000	1 000	2 000	10 000	0,2	60	2 700	45
Elektrolov profesionální loď	Mimo tření	1	hodina	4	1	300	1 200	2 000 000	2 000	1 000	2 000	10 000	0,2	20	2 700	135
Vlečná síť	Nerozplášená nádrž	1	hodina	8	1	300	2 400	4 000 000	1 500	2 667	200 000	500	400	500	7 467	15
Vlečná síť	Snížená obsádka	1	hodina	8	1	300	2 400	4 000 000	1 500	2 667	200 000	2 500	80	50	7 147	143
Pasivní lovný prostředek:																
Přítokový vězenec	Kontrola	1	síť	3	80	300	72 000	200 000	1 000	200	80 000	1 000	80	1 000	123 280	123
	Instalace a rozebrání			6	20	300	36 000									
Předsíňový vězenec	Kontrola	1	síť	2	64	300	38 400	200 000	1 000	200	28 000	1 000	28	160	48 228	301
	Instalace a rozebrání			2	6	300	3 600									
Předsíňový vězenec	Kontrola	10	síť	2	128	300	76 800	200 000	1 000	2 000	28 000	1 000	280	1 600	94 280	59
	Instalace a rozebrání			2	12	300	7 200									

Diskuze

Naše zkušenosti s odlovu nežádoucích druhů ryb na přehradních nádržích ukázaly, že odlovení většiny jejich biomasy je velmi obtížný úkol. Tenatové a akustické odhady biomasy rybí obsádky před a po odlověch naznačily, že se na nádrži Římov podařilo během dvou let poměrně intenzivních odlovů zredukovat biomasu rybí obsádky o přibližně 60 % (Jůza a kol., 2022). Odlovy, které pokračovaly rovněž v roce 2022, dále o něco zvýšily procento odlovených ryb, ale vzhledem k odlovení velkých cejnů v předchozích letech, se efektivita odlovů dlouhodobě snižuje a celkově se odlovy stávají neefektivními. Poměrně vysoká redukce biomasy nežádoucích druhů ryb se podařila pouze na Římově, kde v biomase dominovali velcí cejní. Na Žluticích by mohla mít vliv na kvalitu vody výrazná redukce kapra obecného. Kapr se však v našich přehradních nádržích rozmnožuje velmi zřídka a jeho původ lze hledat především v rybnících v povodí řek nad přehradami, odkud jsou odneseni převážně při povodních, nebo jsou do nádrží záměrně vysazeni člověkem.

Na nádržích Žlutice a Klíčava, které jsou ve srovnání se Římovem méně živinově zatížené, byla biomasa cejna výrazně nižší než na Římově. Dominovaly zde především drobnější druhy ryb jako plotice a perlm, jejichž odstranění se v úlovcích tenat před a po odlověch výrazněji neprojevovalo. Odlovení většiny biomasy těchto malých druhů je při zachování adekvátního úsilí a nákladů na odlovy prakticky nereálné. Pravděpodobně vhodnějším řešením je zde podpora dravých ryb vysazováním.

Jednoznačně nejúčinnější metodou hromadných odlovů ryb je tralování. Je účinné především k odlovu velkých cejnů, kteří využívají volnou vodu nádrží především ve dne (Říha a kol., 2015). Vhodnou doplňkovou metodou k tralování je elektrolov ve tření, kdy je nejnápadnější právě tření velkých cejnů. Velmi nápadné a intenzivní je rovněž tření kapra, elektrolov je tudíž vhodnou metodou i k odlovu tohoto druhu ve tření na nádržích, kde se hojně vyskytuje. Účinnost odlovů pomocí vězenců se podle našich zkušeností mezi jednotlivými roky velmi liší v závislosti na intenzitě tahu do přítoku ke tření, která je ovlivněna faktory jako vývoj teplot v průběhu jara, výška hladiny v období tření (zatopená nebo nezatopená vegetace v přehradě) atd. Doporučit lze použití malých samonosných vězenců v nádržích s menšími přítoky. Stavba velkého vězence s konstrukcí z lešenářských trubek je poměrně náročná, pracnosti adekvátní úlovek však nelze zaručit.

Další důležitou otázkou, kterou je třeba si uvědomit, přemýšlíme-li o hromadných odlověch ryb z přehradních nádrží, je, jak s tunami ulovených ryb naložit. Likvidace ryb v kafilerii je řešení nejen neekologické, kdy se likviduje cenné rybí maso, ale také neekonomické (likvidace jednoho kilogramu ryb v kafilerii stojí přibližně 20 Kč). Drobnější ryby jako plotice, oukleje, perlín nebo menší cejní je možné a osvědčené dodávat do zoologických zahrad, kde ryby poslouží jako krmivo pro chovaná rybožravá zvířata. Velcí cejní, kteří obvykle představují většinu odlovené biomasy, nejsou zoologické zahrady obvykle schopny plně využít a jako nejlogičtější se naskytá využití

těchto ryb pro lidskou spotřebu. Někteří lidé cejny udí nebo z nich vyrábějí rybí salát. Právě otázka využití méně atraktivních ryb jako jsou cejny pro lidskou konzumaci, by měla být ve spolupráci s ryby-zpracujícími podniky v budoucnu řešena.

Odpověď na otázku, zda jsou odlovy nežádoucích druhů ryb v přehradních nádržích efektivní nebo ne není jednoznačná. V nádržích, kde většinu biomasy představují velcí cejny, případně kapři, je možné zredukovat biomasu ryb poměrně efektivně. Na nádržích s převahou drobných druhů jako jsou oukleje, plotice nebo perlínky je zredukování biomasy těchto ryb při zachování rozumných nákladů spojených s odlovy zatím prakticky nereálné. Každopádně odlovené množství ryb z hektaru plochy nádrže během řešení projektu „Biomanipulace jako nástroj zlepšení vody nádrží“ je několikanásobně vyšší ve srovnání s biomanipulačními pokusy na českých nádržích v minulosti. Další důležitou otázkou je vlastní efekt odstranění nežádoucích druhů ryb na kvalitu vody. Toto téma vyžaduje hlubší rozbor na více trofických úrovních nádržového systému a není tak součástí tohoto příspěvku. V budoucnu, po zpracování veškerých dat o rybách, zooplanktonu, fytoplanktonu a chemii vody bude na toto téma pojednáno ve zvláštním příspěvku.

Poděkování

Výzkum byl podpořen ERDF/ESF projektem „Biomanipulace jako nástroj zlepšení kvality vody v přehradních nádržích“ (Číslo CZ.02.1.01/0.0/16025/0007417).

Literatura

- [1] Bednář Radomír, Karel Dubský, Vladimír Dvořák, Jiří Kaše, Pavel Nusl a Jaroslav Poupě. Lov ryb elektrickým agregátem. Český rybářský svaz, Praha, 2013, 136 pp.
- [2] Blabolil Petr, Milan Říha, Jiří Peterka, Marie Prchalová, Mojmír Vašek, Tomáš Jůza, Martin Čech, Vladislav Draštík, Michal Kratochvíl, Milan Muška, Michal Tušer, Jaroslava Frouzová, Daniel Ricard, Marek Šmejkal, Lukáš Vejřík, Jindřich Duras, Josef Matěna, Jakub Borovec a Jan Kubečka. Současný stav nádrží v České republice z hlediska složení rybích obsádek. Vodní hospodářství, 2014, 9: 5-11.
- [3] Blabolil Petr, Milan Říha, Daniel Ricard, Jiří Peterka, Marie Prchalová, Mojmír Vašek, Martin Čech, Jaroslava Frouzová, Tomáš Jůza, Milan Muška, Michal Tušer, Vladislav Draštík, Zuzana Sajdlová, Marek Šmejkal, Lukáš Vejřík, Josef Matěna, David S. Boukal, David Ritterbusch a Jan Kubečka. A simple fish-based approach to assess the ecological quality of freshwater reservoirs. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, 2017, 418, 53.
- [4] Hladík Milan a Jan Kubečka. Fish migration between a temperate reservoir and its main tributary. Hydrobiologia 504, 2003, 251–266.
- [5] Hrbáček Jaroslav. Produkční vztahy, výchozí struktura pro posuzování faktorů eutrofisace údolních nádrží. Studie ČSAV, 24: 58 pp.
- [6] Jůza Tomáš, Petr Blabolil, Martin Čech, Vladislav Draštík, Jaroslava Frouzová, Zuzana Sajdlová, Michaela Holubová, Luboš Kočvara, Tomáš Kolařík, Karlos R. Moraes, Milan Muška, Allan T. Souza, Mojmír Vašek, Milan Říha, Michal Tušer, Marek Šmejkal, Jiří Peterka, Marie Prchalová a Jan Kubečka. Fish stock mass reduction is indicated in standard abundance and biomass estimates from gillnets and hydroacoustics. Fisheries Research 253, 2022, 106389.
- [7] Kopp Radovan, Karel Halačka, Zdeněk Adámek, Pavel Jurajda, Jan Mareš, a Jan Grmela. Plán hospodaření na malých vodárenských nádržích typu Bojkovice a Ludkovice. Ústav biologie obratlovců AV ČR, Mendelova univerzita v Brně, Certifikovaná metodika, 2018, MZeR20/2018.
- [8] Kubečka Jan, Petr Blabolil, Tomáš Jůza, Jiří Peterka. Pevná vnější konstrukce pro zjednodušení čištění, opravy a vybírání úlovku z velkých vězenců při dlouhodobé instalaci. Prototyp. Biologické centrum AV ČR, v.v.i., 2020.
- [9] Mehner Thomas, Robert Arlinghaus, Søren Berg, Henrik Dörner, Lene Jacobsen, Peter Kasprzak, Rainer Koschel, Torsten Schulze, Christian Skov, Christian Wolter a Klaus Wysujack. How to link biomanipulation and sustainable fisheries management: a step-by-step guideline for lakes of the European temperate zone. Fisheries Management and Ecology 11, 2004, 261–275.
- [10] Marie Prchalová, Jan Kubečka, Mojmír Vašek, Jiří Peterka, Jaromír Seda, Tomáš Jůza, Milan Říha, Odřich Jarolím, Michal Tušer, Michal Kratochvíl, Martin Čech, Vladislav Draštík, Jaroslava Frouzová, Eva Hohausová. Distribution patterns of fishes in a canyon-shaped reservoir. Journal of Fish Biology 73, 2008, 54-78.
- [11] Říha Milan, Tomáš Jůza, Marie Prchalová, Tomáš Mrkvička, Martin Čech, Vladislav Draštík, Milan Muška, Michl Kratochvíl, Jiří Peterka, Michal Tušer, Mojmír Vašek, Jan Kubečka. The size selectivity of the main body of a sampling pelagic pair trawl in freshwater reservoirs during the night. Fisheries Research 127-128, 2012, 56-60.
- [12] Milan Říha, Daniel Ricard, Mojmír Vašek, Marie Prchalová, Tomáš Mrkvička, Tomáš Jůza, Martin Čech, Vladislav Draštík, Milan Muška, Michal Kratochvíl, Jiří Peterka, Michal Tušer, Jaromír Seda, Petr Blabolil, Martin Bláha, Josef Wanzenböck, Jan Kubečka. Patterns in diel habitat use of fish covering the littoral and pelagic zones in a reservoir. Hydrobiologia 747, 2015, 111-131.
- [13] Vašek Mojmír, Zdeněk Adámek, Jan Kubečka. Food-web manipulation by fish stock management. In: Randák et al. (Eds.) Fishery in Open Waters. Faculty of Fisheries and Protection of Waters, University of South Bohemia in České Budějovice, 2014, 206-218.

BISFENOLY V POVODÍ VN ŠVIHOV NA ŽELIVCE

Marek Liška, Magdaléna Balejová, Tereza Rutová a Jakub Dobiáš

Povodí Vltavy státní podnik, Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5 Smíchov, +420 251 050 708 marek.liska@pvl.cz

Abstrakt

Príspevek pojednáva o výskytu vysokých koncentrací látek bisfenol A (BPA) a bisfenol S (BPS) v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce. Zdrojem kontaminace povodí těmito polutanty jsou vypouštěné přečištěné odpadní vody z papírenského závodu na výrobu hygienického papíru. Základní výrobní surovinou na jeho výrobu je sběrový papír různé kvality, který je hlavním zdrojem bisfenolů. Hlavním kontaminantem je v současné době BPS. Maximální koncentrace látky BPS ve vypouštěných odpadních vodách v současné době přesáhla hodnotu 5 mg/l a v povrchových vodách významných vodních toků Trnava a Želivka se maximální koncentrace BPS a BPA pohybují v jednotkách až desítkách µg/l.

Klíčová slova: kvalita vody; Bisfenol A; Bisfenol S; významný vodní tok Trnava; výroba papíru; sběrový papír

Abstract

The paper discusses the occurrence of high concentrations of substances bisphenol A (BPA) and bisphenol S (BPS) in the Švihov drinking water reservoir catchment on the Želivka river. The main source of this pollutants is the pretreatment waste water from the papermill focused on the production of hygienic paper. The waste paper (different quality) is the main raw material for production of hygienic paper and it is also main source of bisphenols. Actually BPS is the main contaminant. The maximum concentration of BPS in waste water has currently exceeded the value of 5 mg/l. Maximum concentration of bisphenols reaches units or tens of µg/l in surface water in rivers Trnava and Želivka.

Key words: water quality; Bisphenol A; Bisphenol S; Trnava river; paper production; waste paper

Úvod

Bisfenoly jsou skupinou organických sloučenin se dvěma hydroxyfenylovými funkčními skupinami, většina z nich je založena na difenylmetanu. Bisfenol A (BPA) byl nejvíce využívanou látkou ze skupiny bisfenolů zejména v mnoha spotřebních výrobcích. Bisfenoly se obecně vyskytují v plastových lahvích na balenou vodu, v potravinových boxech, v plastových hračkách a kojeneckých lahvích, v nádobí vyrobeném z plastu, v povrchové vnitřní vrstvě potravinových konzerv, zubních výplních, ale i v elektrickém a elektronickém vybavení [1]. Jsou to látky, které činí tyto materiály pevnější, pružnější a odolnější. Lze říci, že bez těchto přidaných látek se současný plastový obal neobejde [2]. BPA a jeho analogy se široce používají při výrobě různých produktů pro každodenní použití, což vede k časté expozici lidí těmito látkám [1]. Bisfenoly se dostávají do potravin, vody a vstřebávají se do těla skrz pokožku, např. při kontaktu s tzv. termopapíry (pokladní účtenky, atd.). Ve velmi nízkých koncentracích potom kolují v krevním řečišti člověka [2]. Uvolňování BPA z mnoha spotřebních výrobků vedlo k zákazu jeho používání v mnoha zemích, kde byly na trh zavedeny alternativy k BPA. Alternativy BPA, jako je

bisfenol B (BPB), bisfenol F (BPF) a bisfenol S (BPS), mají podobnou chemickou strukturu a vykazují podobné toxikologické účinky na zvířata jako BPA [3], [4]. Bisfenoly působí jako endokrinními disruptory tzn., že v lidském těle jsou hormonálně aktivní. I ve velmi nízkých koncentracích narušují hormonální bilanci. BPA vykazuje široké spektrum negativních efektů na zdraví zvířat i lidí, proto bylo používání BPA v řadě výrobních procesů omezeno a u mnoha výrobků je garantováno, že BPA neobsahují. Avšak BPA může v plastech a některých dalších surovinách chybět, jen pokud je nahrazen jinými látkami. Jako náhrada za BPA se často používá BPS [3]. BPS je látka ve formě bílého prášku bez zápachu, je chemicky velmi stabilní za doporučených skladovacích podmínek. Lze jej nalézt především v termopapíru a plastech, dále pak v barvivech, přísadách nátěrových hmot, pokovovacích prostředcích, textilním a kožedělném průmyslu. Vzhledem k takto rozsáhlé škále průmyslových odvětví, kde se tato látka používá, může docházet k jejímu uvolnění do životního prostředí i prostřednictvím odpadních vod. BPS nevykazuje téměř žádnou míru degradace ve vodním prostředí [5]. BPS není zařazen na seznam látek vzbuzujících mimořádné obavy podléhající povolení dle Nařízení (EU) č. 1907/2006 (REACH), článek 57, jako je tomu v případě BPA [10], [15]. Jeho výskyt byl potvrzen v plastech, dále v konzervovaných potravinách, prachu ve vnitřních prostorách, v povrchových i odpadních vodách, přičemž nejčastěji se s ním setkáme právě na povrchu termopapíru [6], [11], [12]. BPS je označován za bezpečnější náhradu BPA díky lepší stabilitě při vysokých teplotách a při vystavení slunečnímu záření. BPS se neuvolňuje do prostředí v takovém množství jako BPA, na druhou stranu díky své stabilitě hůře metabolizuje a může zůstat v prostředí a v organismu delší dobu [13]. Produkce BPS neustále stoupá, např. v Evropské unii se vyprodukuje až 10 000 tun ročně [13], [14]. BPS nahradil BPA v plastech, konzervách, ale i jiných produktech, kde je bisfenolu zapotřebí a současně je obsah BPA regulován anebo přímo zakázán. BPS je všudypřítomný a lidé jsou této potenciálně toxické náhradě za BPA vystaveni při kontaktu s různými papírovými výrobky [7]. Výskyt BPS je velmi častý ve výrobcích označených jako BPA-free. S ohledem na podobné nepříznivé účinky BPS jako u BPA je tedy označení výrobků BPA-free celkově poněkud zavádějící. Toto označení tedy jednoznačně neznamená, že jsou BPA-free produkty skutečně bezpečnější, naopak mohou být ještě škodlivější [3], [9]. Je zřejmé, že použitý termopapír přenáší BPS do všech výrobků z recyklovaného papíru. Masivní vystavení obyvatelstva účinkům BPS na životní prostředí bylo prokázáno v řadě různých zemí [9]. Negativní dopad BPS byl prokázán v souvislosti s reprodukcí ryb (*Danio rerio*), kdy produkce jiker u samic byla významně snížena, zároveň u samců bylo pozorováno významné snížení koncentrace testosteronu. Vystavení rodičů znečištění BPS vedlo ke zpožděným a menším rychlostem líhnutí. Tyto údaje byly doloženy poklesem produkce a líhnutí vajec a zvyšujícím se počtem malformací embryí [8]. Kontinuální expozice >0,5 µg/l BPS vede ke snížení produkce vajíček a míry líhnutí, prodlužuje se doba líhnutí, zvyšuje se četnost malformace embryí, snižuje se počet spermií [16].

V povrchových vodách povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce jsou hlavním zdrojem látek BPA a BPS přečištěné odpadní vody z papírenského provozu závodu CEREP A s., zařízení na výrobu hygienických papírů na bázi sběrového papíru.

Materiál a metody

V povodí VN Švihov na Želivce a zejména v povodí jednoho z hlavních přítoků, kterým je významný vodní tok Trnava, byly vzorky pro stanovení chlorovaných fenolů a bisfenolů odebírány jako prosté bodové vzorky, jako slévané vzorky na odtoku z ČOV závodu CEREPA a také jako slévané vzorky z Trnavy pod zaústěním odpadních vod ze závodu CEREPA. Látka bisfenol A je v povodí VN Švihov již sledována dlouhodobě. Látka bisfenol S je vodohospodářskými laboratořemi státního podniku Povodí Vltavy v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce sledována od roku 2018 v následujících profilech:

CEREPA Červená Řečice – odtok ze závodu (v Parshallově žlabu), vypouštění odpadních vod do významného vodního toku Trnava v ř. km 9,1; profily povrchových vod: 4802 Trnava Červená Řečice nad JIP, ř. km 9,5; 4801 Trnava Červená Řečice pod JIP, ř. km 8,8; 4800 Trnava VN Trnávka Červená Řečice, ř. km 6,4; 4600 Trnava Brtná (Želiv), ř. km 0,6; 4200 Želivka Poříčí, ř. km 50,6; 2699 Želivka VN Švihov Vojslavice směsný, ř. km 35,7; 2699 Želivka VN Švihov Budeč směsný, ř. km 24,2; 0899 Želivka VN Švihov Dol. Kralovice směsný, ř. km 15,2; 0099 Želivka VN Švihov hráz směsný, ř. km 4,3; 1000 Želivka ÚV Hulice-surová voda, ř. km 4,15.

V laboratořích státního podniku Povodí Vltavy jsou látky BPA a BPS spolu s dalšími látkami ze skupiny chlorovaných fenolů stanovovány dvěma analytickými metodami: metodou plynové chromatografie s hmotnostní detekcí GC/MSD a metodou kapalinové chromatografie pomocí kapalinového chromatografu

s hmotnostním detektorem na principu trojitého kvadrupolu LC MS/MS. Na jaře 2021 proběhl monitoring forem bisfenolů vzorkovačem pro odběr hydrofilních sloučenin POCIS (Polar Organic Chemical Integrative Sampler) ve spolupráci laboratoří státního podniku Povodí Vltavy a Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích – Fakultou rybářství a ochrany vod. Vzorkování probíhalo in situ ve dvou po sobě navazujících obdobích v časovém období 20 – 30 dní. V rámci tohoto monitoringu byly instalovány vzorkovače POCIS před a pod místem vypouštění odpadních vod závodu CEREPA (profily 4802 Červená Řečice nad JIP a 4801 Červená Řečice pod JIP). Dále byly tyto vzorkovače také instalovány na některých dalších profilech podélného profilu Trnavy a Želivky, pro porovnání bylo také stejné vzorkování provedeno ve Vltavě pod Prahou v profilu Vltava Zelčín.

Výsledky a diskuse

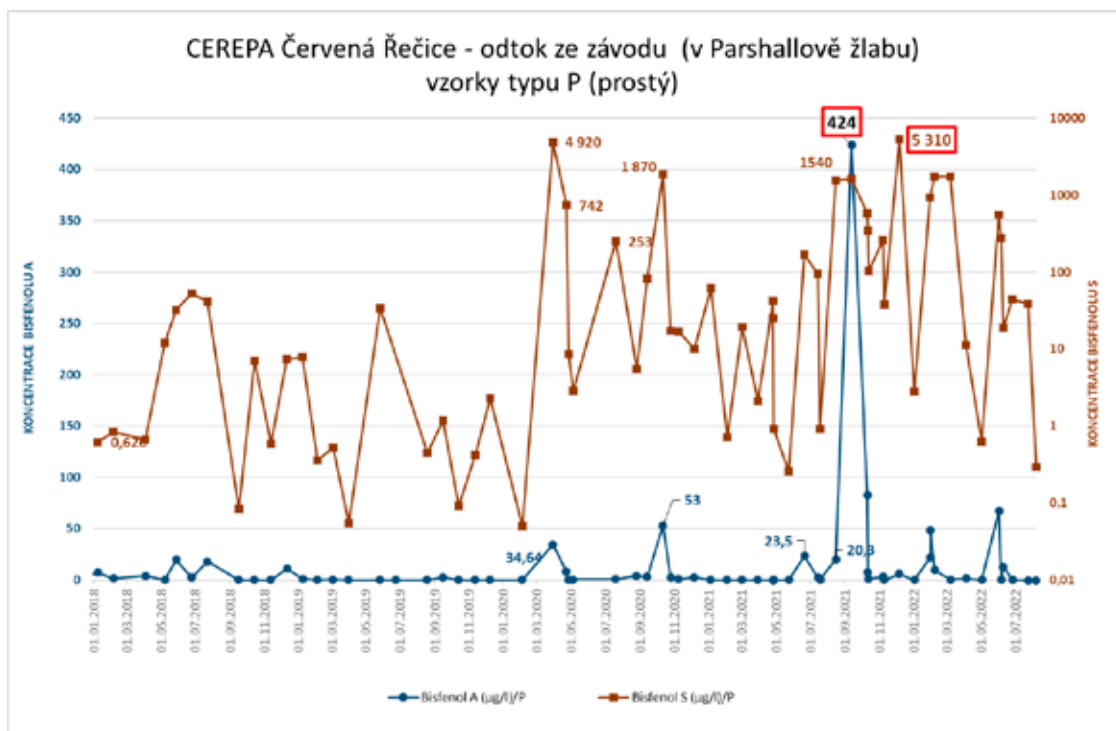
Problém výskytu bisfenolu A v povrchové vodě v povodí VN Švihov na Želivce byl identifikován již v roce 2015. V této době byly na profilu Želivka Poříčí analyzovány koncentrace BPA v desítkách ng/l, BPS a další bisfenoly v této době ještě nebyly vodohospodářskými laboratořemi analyzovány. Postupně byly za hlavní zdroj této látky označeny vypouštěné přečištěné odpadní vody ze závodu CEREPA a.s., která zpracovává sběrový papír (Obr. 1) a z této suroviny vyrábí tzv. hygienický papír včetně dalších produktů.



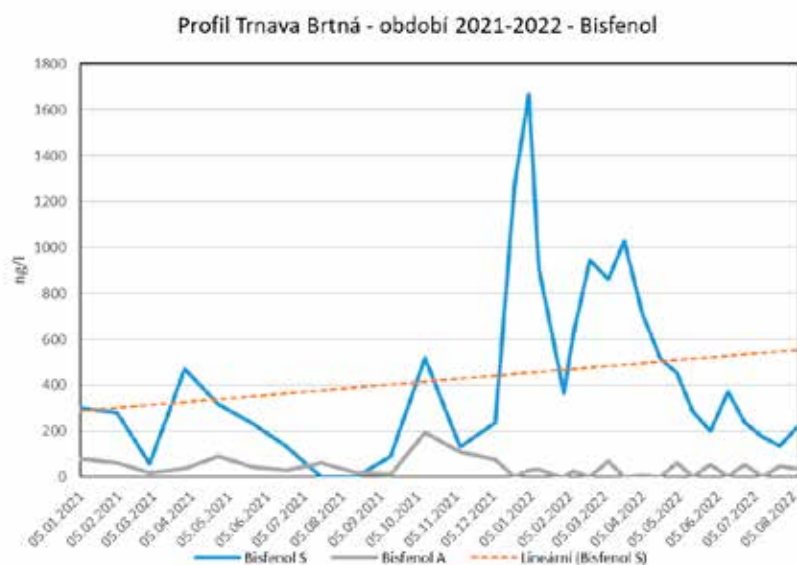
Obrázek 1. Uskladněná surovina – sběrový papír určený pro výrobu hygienického papíru a dalších výrobků

Koncentrace BPA ve vypouštěných odpadních vodách na odtoku z ČOV závodu CEREPA dlouhodobě dosahují hodnot jednotek až nižších desítek $\mu\text{g/l}$ (Obr.2). Po zaústění do Trnavy jsou po naředění v povrchové vodě měřeny koncentrace v řádu stovek až nižších tisíců ng/l , naměřené hodnoty vždy závisí na intenzitě výroby, účinnosti čištění odpadních vod a aktuálním průtoku vody ve vodním toku. Trnava napájí vodní nádrž Trnávku s celkovým objemem vody cca 5,3 mil. m^3 (stav k hraně přelivu). Vodní nádrž Trnávka s ohledem na objem vody a dobu zdržení cca 2-3 měsíce „průměruje“ koncentrační špičky vypouštění bisfenolů a dalších látek z papírny. Koncentrace bisfenolu A na odtoku z VN Trnávka se dlouhodobě pohybuje v řádu jednotek až stovek ng/l (viz.

Obr.3). V roce 2018 bylo zahájeno sledování dalších „typů“ bisfenolů (jedná se o izomery B a S). Ve velmi vysokých koncentracích byl v odpadní vodě měřen bisfenol S, řádově vyšší koncentrace než pro bisfenol A (Obr.2). Jeho koncentrace jak ve vyčištěné odpadní vodě, tak i v povrchové vodě toku Trnavy a následně i Želivky postupně v čase rostou s občasnými poklesy v závislosti na intenzitě výroby a velmi pravděpodobně také v závislosti na charakteru a kvalitě sběrového papíru, který papírna zpracovává (Obr.2, 3 a 4). V zimě na přelomu let 2021/2022 byly naměřeny jedny z dosud nejvyšších koncentrací BPS. Koncentrace BPS ve vyčištěné odpadní vodě vypouštěné ze závodu CEREPA dosahovaly hodnot vyšších než 5 mg/l (Obr.2).



Obrázek 2. Dlouhodobý vývoj koncentrace látek bisfenol A a bisfenol S ve vyčištěné odpadní vodě ze závodu CEREPA v období let 2018–2022

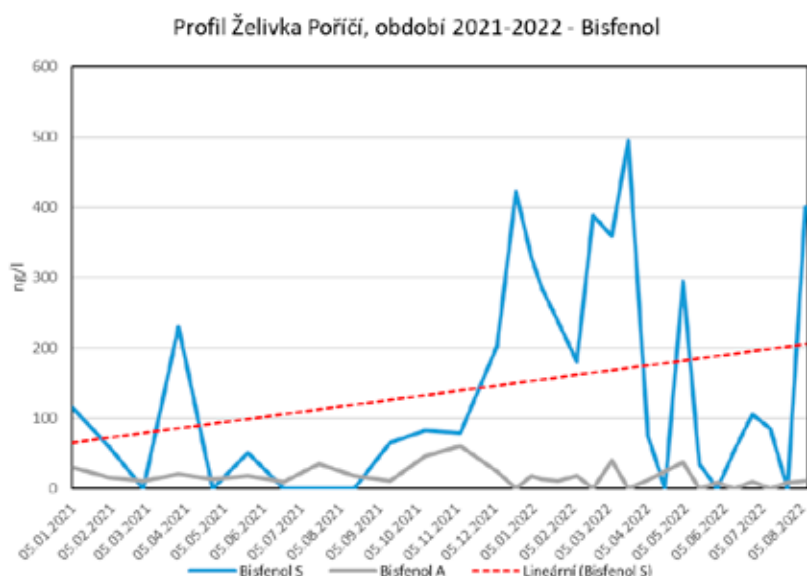


Obrázek 3. Vývoj koncentrace látek bisfenol A a bisfenol S na profilu Trnava Brtná (Želiv) v období let 2021–2022

Zvýšená produkce bisfenolu S velmi významně ovlivňuje jakost povrchových vod v podélných profilech vodních toků Trnavy a Želivky včetně horní části VN Švihov. Na odtoku z VN Trnávka v uplynulých dvou letech kolísala koncentrace této látky v rozpětí hodnot cca 200–1600 ng/l

V roce 2022 byla látka bisfenol S prvně od počátku sledování prokazatelně identifikována v povrchových vodách vodárenské nádrže Švihov na Želivce. Na počátku vzdutí vodárenské nádrže Švihov na Želivce na profilu „VN Švihov Vojslavice“ se v letošním

roce v období leden–duben vyskytovaly koncentrace této látky v rozmezí 121–220 ng/l. Do konce roku 2021 byly koncentrace bisfenolu S na tomto profilu vždy nižší než 50 ng/l. Dále byly naměřeny koncentrace bisfenolu S nad mezí stanovitelnosti také na profilu „VN Švihov Budeč“, a to dne 28.02.2022 hodnota 27,6 ng/l, dne 28.03.2022 hodnota 41,1 ng/l a dne 25.04.2022 hodnota 71,5 ng/l a na následujícím profilu „VN Švihov Kralovice“ (střed nádrže) byla tato látka detekovatelná dne 25.04.2022 o koncentraci 23,6 ng/l. U hráze nádrže nebyla doposud látka bisfenol S zachycena nad mezí stanovitelnosti.



Obrázek 4. Vývoj koncentrace látek bisfenol A a bisfenol S na profilu Želivka Poříčí v období let 2021-2022

Pro ilustraci míry znečištění povrchových vod vodního toku Trnava látkou Bisfenol S dále uvádíme výsledky analýz vzorkovačů POCIS na profilech povrchových vod nad a pod zaústěním odpadních vod ze závodu papírny CEREPA. Jednalo se o dvě na sebe navazující třítydenní expozice pasivních vzorkovačů v období 30.4. – 20.5.2021 a 20.5. – 10.6.2021. Z porovnání výsledků koncentrace BPS nad a pod zaústěním odpadních vod je zřejmý přibližně třířádkový rozdíl viz. níže uvedená tabulka (Tab.1).

Nižší výsledky druhé expozice pravděpodobně souvisí s krátkodobým omezením výroby papírny. Pro úplnost a ilustraci uvádíme, že na profilu Vltava Zelčín (před soutokem Vltavy a Labe) dosahují koncentrace BPS ve vzorkovačích POCIS pouhých jednotek ng/POCIS, tj. přibližně stejně jako ve vodním toku Trnava nad závodem CEREPA (referenční profil).

Místo odběru	Trnava Červená Řečice nad JIP	Trnava Červená Řečice pod JIP	Trnava Červená Řečice nad JIP	Trnava Červená Řečice pod JIP	MIN LOQ	MAX LOQ
Expozice POCIS	30.4. - 20.5.2021	30.4. - 20.5.2021	20.5. - 10.6.2021	20.5. - 10.6.2021		
ukazatel/jednotka	ng/POCIS	ng/POCIS	ng/POCIS	ng/POCIS	ng/POCIS	ng/POCIS
Bisfenol S	3,8	2 500	0,94	320	0,20	0,46

Tabulka 1. Výsledky monitoringu POCIS na profilech Trnava Červená Řečice nad a pod zaústěním odpadních vod ze závodu CEREPA (metoda měření/míra nejistoty: HPLC-APCI/APPI-HRPS(HRMS)/30 %):

Závěr:

Jednoznačným zdrojem látky bisfenol A a bisfenol S v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce jsou vypouštěné přečištěné technologické a splaškové vody z ČOV závodu CEREPA (výroba hygienických papírů ze suroviny na bázi sběrového papíru). Vyšší hodnoty koncentrací látky BPA zde byly identifikovány již v roce 2015. Látka BPS se na zmíněné lokalitě měří od roku 2018. Na přelomu roku 2021/2022 a v zimním období letošního roku byly zaznamenány extrémně vysoké koncentrace bisfenolu S ve vypouštěných odpadních vodách na odtoku z ČOV CEREPA. Dne 07.12.2021 byla naměřena maximální hodnota 5,31 mg/l BPS, hodnoty vyšší než 1 mg/l nebyly výjimkou. V povrchových vodách významných vodních toků Trnavy a Želivky se běžně vyskytuje BPS v koncentracích jednotek až desítek µg/l. V současně platné národní a evropské legislativě je normativně limitována pouze látka bisfenol A, Norma environmetální kvality (NEK) dle Přílohy č. 3 Tabulky 1c NV 401/2015 Sb. byla stanovena na hodnotu 0,035 µg/l. Vzhledem ke skutečnosti, že škodlivý vliv látky bisfenol S na člověka i na životní prostředí je již dlouho diskutován, jeho koncentrace není v povrchových vodách v současné době legislativně limitována a koncentrace BPS v povrchových vodách v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce je nejvyšší v celém povodí Vltavy, zadal státní podnik Povodí Vltavy zpracování materiálů „Výskyt bisfenolu S ve vodách“ u profesora Ing. Václava Jandy, CSc. a „Posouzení a porovnání toxicity bisfenolu A a bisfenolu S v povrchových vodách vzhledem k možným účinkům na vodní ekosystém a vodárenskému využití“ na Ústavu pro životní prostředí Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy u prof. RNDr. Tomáše Cajthamla, Ph.D, DSc..

Porovnáním zjištěných dostupných koncentrací bisfenolu S v odpadních vodách a v povrchových či brakických vodách ve světě a ve vypouštěných odpadních vodách závodu CEREPA a v povrchových vodách v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce je zřejmé, že zjištěné hodnoty koncentrací bisfenolu S ve vypouštěných odpadních vodách závodu CEREPA a v povrchových vodách v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce jsou extrémní.

Ze zpracovaných dokumentů vyplývá, že vlastnosti bisfenolu S mohou mít v mnoha ohledech téměř srovnatelné nežádoucí účinky jako bisfenol A (prokázaný endokrinní disruptor). Z hlediska poškozování vodních ekosystémů a snižování jakosti vody pro vodárenské využití se dále uvádí, že koncentrace bisfenolu S v povrchových vodách, které se pohybují nad hodnotou 500 ng/l, jsou genotoxické pro ryby při kontinuální expozici (vedou ke snížení produkce vajíček a míry líhnutí, prodlužuje se doba líhnutí, zvyšuje se četnost malformace embryí, atd...). Právě tyto a vyšší koncentrace jsou zjišťovány v povrchových vodách v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce.

Z výsledků monitoringu je zřejmé, že vypouštěné odpadní vody závodu CEREPA vykazují negativní vliv na jakost povrchových vod významných vodních toků Trnava i Želivka a následně i na jakost povrchových vod ve vodárenské nádrži Švihov na Želivce.

Povodí Vltavy, státní podnik, tento problém monitoruje, vyhodnocuje a také o závažných stavech několikrát informoval jak ČIŽP OI Havlíčkův Brod, tak příslušný vodoprávní úřad, Krajský úřad Vysočina, Odbor životního prostředí a zemědělství a další možné dotčené orgány. Současně státní podnik Povodí Vltavy požaduje doplnění ukazatele bisfenol S do povolení k vypouště-

ní odpadních vod, a to ve stejných limitech, které byly stanoveny pro látku bisfenol A (tj.: p = 2,0 µg/l, m = 4,0 µg/l a 0,4 kg/rok).

Vodárenská nádrž Švihov na Želivce je zdrojem pitné vody pro velkou část středočeské oblasti včetně Prahy, jedná se o největší a nejvýznamnější vodárenskou nádrž v České republice. Výskyt bisfenolu S a bisfenolu A v povrchových vodách v povodí této vodárenské nádrže může představovat negativní vliv na jakost povrchových vod i možné ohrožení tohoto vodárenského zdroje zejména v období, kdy dochází k častějšímu střídání extrémních hydrologických jevů, jako jsou přívalové srážky a sucha.

Seznam použité literatury:

- [1] Maćczak, A., Cyrkler, M., Bukowska, B. and Michałowicz, J., 2017. Bisphenol A, bisphenol S, bisphenol F and bisphenol AF induce different oxidative stress and damage in human red blood cells (in vitro study). *Toxicology in vitro*, 41, pp.143-149.
- [2] <https://www.osel.cz/9321-bisfenol-s-dela-z-plastu-hrozbu-pro-reprodukcii.html>
- [3] Žalmanová, T., Hošková, K., Nevoral, J., Prokešová, Š., Zámotná, K., Kotíková, Z. and Petr, J., 2016. Story of Bisphenol S-Steps from Bad to Worse. *Anthropologia Integra*, 7(1).
- [4] Ullah, A., Pirzada, M., Jahan, S., Ullah, H., Shaheen, G., Rehman, H., Siddiqui, M.F. and Butt, M.A., 2018. Bisphenol A and its analogs bisphenol B, bisphenol F, and bisphenol S: Comparative in vitro and in vivo studies on the sperms and testicular tissues of rats. *Chemosphere*, 209, pp.508-516.
- [5] National Center for Biotechnology Information. "PubChem Compound Summary for CID 6626, 4,4'-Sulfonyldiphenol" PubChem, https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/4_4_-Sulfonyldiphenol. Accessed 30 October, 2020.
- [6] Ike, M., Chen, M. Y., Danzl, E., Sei, K., & Fujita, M. (2006). Biodegradation of a variety of bisphenols under aerobic and anaerobic conditions. *Water science and technology*, 53(6), pp. 153-159.
- [7] Liao, C., Liu, F., & Kannan, K. (2012). Bisphenol S, a new bisphenol analogue, in paper products and currency bills and its association with bisphenol A residues. *Environmental science & technology*, 46(12), pp. 6515-6522.
- [8] Ji, K., Hong, S., Kho, Y. and Choi, K., 2013. Effects of bisphenol S exposure on endocrine functions and reproduction of zebrafish. *Environmental science & technology*, 47(15), pp. 8793-8800.
- [9] Žalmanová, T., Hošková, K., Nevoral, J., Prokešová, Š., Zámotná, K., Kott, T. and Petr, J., 2016. Bisphenol S instead of bisphenol A: a story of reproductive disruption by regrettable substitution—a review. *Czech Journal of Animal Science*, 61(10), pp. 433-449.
- [10] <https://www.sigmaaldrich.com/>
- [11] Viñas, P., Campillo, N., Martínez-Castillo, N., & Hernández-Córdoba, M. (2010). Comparison of two derivatization-based methods for solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometric determination of bisphenol A, bisphenol S and bisphenol migrated from food cans. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 397(1), pp. 115-125.

- [12] Song, S., Song, M., Zeng, L., Wang, T., Liu, R., Ruan, T., & Jiang, G. (2014). Occurrence and profiles of bisphenol analogues in municipal sewage sludge in China. *Environmental pollution*, 186, pp.14–19.
- [13] Černíková, T., 2020. Vliv bisfenolu S na vybrané markery meiotického zrání prasečích oocytů.
- [14] Del Moral, L. I., Le Corre, L., Poirier, H., Niot, I., Truntzer, T., Merlin, J. F., ... & Chagnon, M. C. (2016). Obesogen effects after perinatal exposure of 4, 4'-sulfonyldiphenol (Bisphenol S) in C57BL/6 mice. *Toxicology*, 357, pp. 11–20.
- [15] <https://www.sigmaaldrich.com/MSDS/MSDS/DisplayMSDSPage>
- [16] Cajthaml T., 2022. Posouzení a porovnání toxicity bisfenolu A a bisfenolu S v povrchových vodách vzhledem k možným účinkům na vodní ekosystém a vodárenskému využití. ÚŽP Př. F. UK Praha, 5

VN KAMENIČKA - VÝVOJ OŽIVENÍ FYTOPLANKTONEM V ZÁVISLOSTI NA PROVOZNÍCH MANIPULACÍCH

Emil Janeček

Povodí Ohře, státní podnik, Novosedlická 758, 415 01 Teplice, tel. +420 724 150 512, janecek@poh.cz

Abstrakt

Vodní nádrž Kamenička se nachází nad Chomutovem v Krušných horách. Vystavěna byla na stejnojmenném drobném toku Kamenička a do provozu byla uvedena v roce 1904. Je součástí systému (společně s VN Křímov a tokem Chomutovka) zásobování pitnou vodou pro město Chomutov s úpravou vody na ÚV III. Mlýn. Vzhledem k tomu, že pramennou oblast přítoku Kamenička tvoří Novodomské rašeliniště, je kvalita vody v něm a následně ve VN Kamenička silně ovlivněna huminovými látkami. Aby do nádrže nevnikalo nadměrné množství těchto látek, je na toku vybudován rozdělovací objekt, pomocí něž lze při nepříznivých stavech kvality vody, přítok odklánět mimo vodní nádrž. Další manipulace je prováděna s naplněním nádrže a např. v roce 2020 došlo k jejímu dlouhodobému úplnému vyprázdnění. Je známo, že huminové látky mají vliv na výskyt a rozvoj fytoplanktonu, který může být jak negativní, tak pozitivní. Cílem studie bylo nalezení souvislostí mezi manipulacemi na nádrži, obsahem huminových látek a rozvojem fytoplanktonu v hodnocené nádrži za období 1996–2020.

Klíčová slova: VN Kamenička; huminové látky; fytoplankton.

Abstract

The Kamenička water reservoir is located above Chomutov in the Ore Mountains. It was built on the small Kamenička river of the same name and was put into operation in 1904. It is part of the system (together with the Křímov reservoir and the Chomutovka stream) of drinking water supply for the town of Chomutov with water treatment at ÚV III. Mill. As the source area of the Kamenička tributary is the Novodomské peat bog, the water quality in this area and subsequently in the Kamenička HPP is strongly influenced by humic substances. In order to prevent excessive amounts of these substances from entering the reservoir, a distributing structure has been built on the stream, which can be used to divert the inflow out of the reservoir during adverse water quality conditions. Further handling is carried out as the reservoir fills up and, for example, in 2020 the reservoir was completely emptied for a long time. Humic substances are known to affect the occurrence and development of phytoplankton, which can be both negative and positive. The aim of the study was to find the relationship between tank manipulations, humic substances content and phytoplankton development in the assessed tank for the period 1996 - 2020.

Keywords: Kamenička reservoir; humic substances; phytoplankton.

Úvod

Hydrologické manipulace na nádržích spojené s kolísáním objemu vody mají výrazný vliv na její kvalitu v jejích chemicko-fyzikálních parametrech, např. koncentrace různých látek, včetně hlavních živin – fosfor a dusík. Na tyto změny často reagují primární producenti v jejichž společenstvu dochází ke změnám v množství vyprodukované biomasy a taxonomickém složení. V případě VN Kamenička jsou tyto manipulace časté a výrazné. Koncem roku 2000 nebylo této možnosti využito a po zvýšených srážkoodtokových poměrech se do nádrže dostala voda obohacená o huminové látky. Došlo k výraznému zhoršení kvality vody, odstávce odběru surové vody, a nakonec bylo rozhodnuto o vypuštění celého objemu nádrže. Po této události došlo k trvalému odklonění vod z horního úseku toku Kameničky přes stolu mimo povodí nádrže. Událost, kdy došlo ke kompletnímu vypuštění nádrže byla sice ojedinělá, na druhou stranu jsou na nádrži zcela běžné hydrologické manipulace, kdy koncem roku dochází k silnému poklesu hladiny a naplnění nádrže klesne ke 20 %. V roce 2020 došlo z důvodu oprav k celkovému vypuštění nádrže. Jedním z ukazatelů, který je manipulacemi ovlivňován, je obsah huminových látek ve vodním sloupci. Je známo, že tyto látky mohou svým působením rozvoj fytoplanktonu iniciovat nebo potlačit.

Vodní nádrž Kamenička (původní název přehrada Františka Josefa) byla vybudována na stejnojmenném toku v letech 1899–1904 pro zásobování pitnou vodou města Chomutova. Dnes je součástí vodohospodářské soustavy v oblasti severočeské hnědouhelné pánve. Vzhledem k charakteru povodí nádrže s vysokým zastoupením rašelinišť by nádrž mohla být zatěžována zvýšeným přísunem huminových látek. Z toho důvodu byl na soutoku přítoků od Nového a Starého rybníka vybudován rozdělovací objekt, na který je napojena převáděcí (Dieterova) štola do Chomutovky. Štola je ražena v kompaktní skále a odvádí mimo povodí nádrže huminové vody od Nového rybníka a při větších průtocích i částečně od Starého rybníka (<https://www.poh.cz/vodni%2Ddilo%2Dkamenicka/d-2610/p1=2708>). Dalším opatřením pro odvedení vod zatížených huminovými látkami je obtok okolo vlastního tělesa nádrže rovnou pod hráz. Plocha povodí nádrže je 12,36 km², zatopená plocha 6,01 ha, hloubka u hráze 13 m. Maximální dlouhodobý možný odběr vody pro úpravu vody (ÚV) III. Mlýn 75 l/s. Nádrž je dimiktická s tvorbou stabilní teplotní a kyslíkové stratifikace v letním období. Na podzim, při výrazném zaklesnutí termokliny, dochází u dna nádrže k výraznému úbytku kyslíku až tvorbě anoxie.

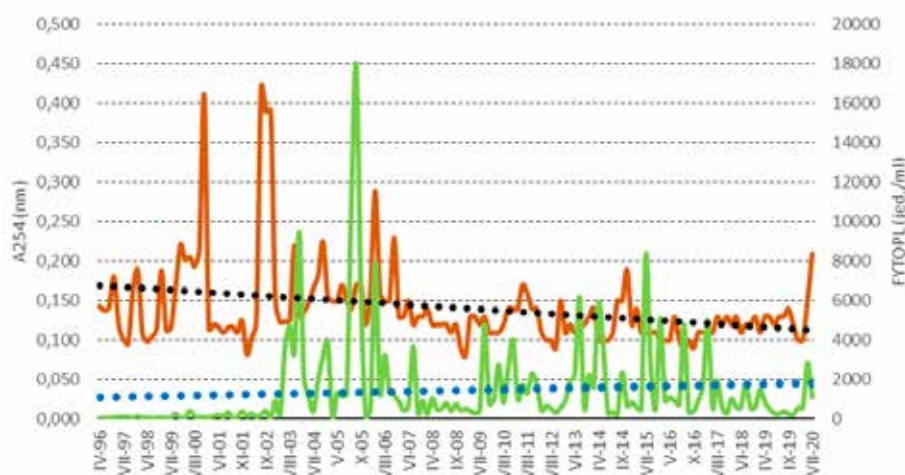
Materiál a metody

Hodnoty průhlednosti byly převzaty z provozního sledování dispečinkem Povodí Ohře s.p. za období 2002–2020. Měření jsou prováděna Seccioho diskem 3x týdně. Pro účely hodnocení byly využity výsledky provozního monitoringu Povodí Ohře s.p. za období 1996–2020. Všechny hodnocené ukazatele jsou stanovovány uzančnickými metodami dle norem: absorbance při 254 nm (A₂₅₄) – ČSN 75 7360, fytoplankton – ČSN 75 7712. Pro hodnocení jsou použity počty fytoplanktonu v jedincích (dle ČSN 75 7712), aby byla dodržena návaznost starých a nových dat.

Výsledky a diskuse

Byly hodnoceny dlouhodobé (1996–2020) časové řady dat o naplnění nádrže, absorbance při 254 nm (A254) a množství fytoplanktonu počítáno jako jedinci na 1 ml. V časové řadě se vymykají roky 2000 a 2002, kdy došlo k výraznému zvýšení hodnot A254 v důsledku přísunu huminových vod přítokem. Další pozorované zvýšení hodnot, které není již tak výrazné, s velkou pravděpodobností už jen částečně souvisí s přísunem huminových látek z povodí, ale s procesy probíhajícími v samotné nádrži (např. rozvoj fytoplanktonu). Je jisté, že do roku 2000 byl obsah

Ačkoliv nebyla zjištěna přímá korelace mezi obsahem organických látek a množstvím fytoplanktonu, z vyhodnocení dlouhodobého časového vývoje lze vypožorovat, že poté co se snížil jejich přísun do nádrže, především ve formě huminových kyselin, došlo k do té doby nebývalému rozvoji řas, a to včetně výskytu sinic. Dlouhodobě lze pozorovat opačný trend vývoje, tj. pozvolný nárůst, který koreluje i se zvyšující se průhledností. Samotný vliv hydrologických manipulací s naplněním nádrže nevykázal příčinnou souvislost.



Graf 1. Trendy vývoje absorbance při 254 nm (A254) a množství fytoplanktonu (FYTOPL jed./ml) na VN Kamenička za období 1996–2020.

organických látek v nádrži ovlivňován jejich přísunem z povodí především v jarním období. Po trvalém odklonění vod z rašelišť se tento vliv povodí výrazně zmenšil, s čímž lze dát do souvislosti i zjištěný dlouhodobý klesající trend obsahu organických látek v nádrži. S takovým vývojem koreluje postupně se zvyšující průměrná průhlednost ze 2 m v roce 2002 na 5 m v roce 2019. Z hodnocení nevyplynulo, že by samotné manipulace s naplněním nádrže měly zřetelný vliv na koncentraci organických látek.

Na výše popsany vývoj byla zjištěna reakce společenstva fytoplanktonu. Zatím co v době před odkloněním přítoku byl výskyt řas velmi nízký (desítky jedinců), po této technické manipulaci se stav mění a počty se stávají několikanásobně vyšší (tisíce). Tento jev nenastal hned po roce 2000, ale až od roku 2003, kdy mezi tím proběhlo ještě jedno velmi výrazné zvýšení hodnot A254. Od tohoto bodu zlomu nastala dvě období s rozvojem fytoplanktonu, 2003–2007 s velmi výrazným rozvojem a 2009–2017 kdy byl rozvoj menší, ale stále velmi znatelný. Ve zbývajícím období byl rozvoj nižší a v roce 2019 se téměř vrátil na původní hodnoty před provedenou manipulací.

Za zajímavé lze považovat vývoj druhového složení fytoplanktonního společenstva. Jarní složení je po celou dobu víceméně stabilní s dominancí zlatistých řas (Chrysophyceae) především z rodu *Chrysococcus*. V letně podzimním období dominují rozsivky (Bacillariophyceae) rodu *Cyclotella* a *Aulacoseira*. V prvním období zvýšeného rozvoje se s rozsivkami společně objevují zelené řasy (Chlorophyceae), přičemž dominantní druhy se každou sezónu střídají. V letech 2005 a 2006 se nadměrně rozvinuly i krásivky (Zygnematophyceae). Od roku 2010 se často v hojných počtech začaly objevovat velikostně drobné (2–5 µm) zelené řasy, které před tím nebyly zjišťovány. V roce 2014 se prvně objevila sinice (Cyanobacteria) *Woronichinia naegeliana*. Její výskyt byl zjišťován až do roku 2019, přičemž v letech 2014–2019 tvořila výrazný podíl ve vzorku síťového fytoplanktonu.

Závěr

Na množství organických látek měřeno jako A254 neměla podle výsledků vliv naplněnost nádrže, ale manipulace prováděná na přítoku. Stejně tak nebyl zjištěn vliv ani na samotný rozvoj fytoplanktonu. Byla však zjištěna souvislost mezi množstvím organických látek, které časem pozvolně klesá, vzrůstající průhledností a zvýšeným rozvojem fytoplanktonu. Nastalé změny lze považovat za tolik velké, že se došlo k výskytu sinic. Nepochybně se v této souvislosti budou projevovat i další faktory, jako je průběh stratifikace, tvorba anoxií, predáční tlak nebo množství dostupných živin (koncentrace celkového fosforu je po celou dobu víceméně stejná, v průměru 0,01 mg.l⁻¹).

Literatura

- [1] ADAMCZUKA, Małgorzata, PAWLIK.SKOWRONSKA Barbara, SOLIB Michał, Do anthropogenic hydrological alterations in shallow lakes affect the dynamics of plankton? Ecological Indicators 114, 2020
- [2] NUMBERG Gertrud K., Productivity of clear and humic lakes: Nutrients, phytoplankton, bacteria. Hydrobiologia 382: 97–112, 1999
- [3] REYNOLDS Colin S., What Factors Influence the Species Composition of Phytoplankton in Lakes of Different Trophic Status?, Hydrobiologia 369/370: 11–26, 1998
- [4] TAMMEORG Olga, NUMBERG Gertrud, NOGES Peeter, NIEMISTÖ Juha., Sediment Phosphorus Release in Boreal Lakes: The Role of Trophic State and Humic Substances, DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-529887/v1>

Vodárenská nádrž Koryčany

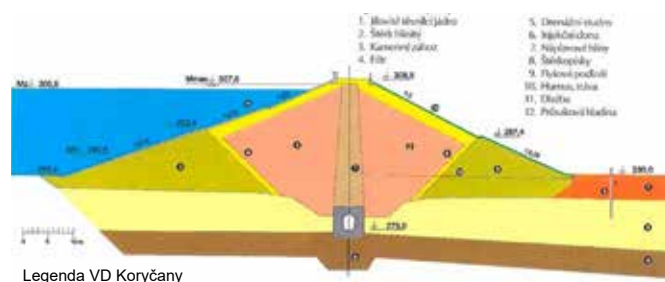
Vodárenská nádrž na toku Kyjovka se nachází asi jeden kilometr východně nad obcí Koryčany. Nádrž byla postavena v padesátých letech minulého století, kdy se hledaly nové zdroje vody pro rozvíjející se průmysl, zejména těžby hnědého uhlí, a zásobování obyvatelstva.

Projektový úkol byl schválen v lednu 1952, stavbu povolil Krajský národní výbor v Gottwaldově (dnešní Zlín) a výstavba se rozběhla od roku 1953. Protože nádrž byla určena k akumulaci vody pro vodárenské účely, bylo nařízeno plné odstranění vegetace z prostoru budoucí zátopy. Vodní dílo bylo dokončeno v roce 1958, zkušební provoz probíhal od března 1959 a do trvalého provozu bylo vodní dílo uvedeno v roce 1963.

Charakteristika vodního díla

Hráz je sypaná z různých materiálů, což byla v povodí Moravy dosud nepoužitá konstrukce. Skládá se ze středního jílového těsnícího jádra, pod nímž je betonový blok s injekční štolou. Po obou stranách středního jádra je výplňový materiál z hlinitých štěrků a paty obou svahů hráze tvoří kamenné záhozové patky. Návodní svah je opevněn dlažbou, vzdušní je oset travou.

Hráz je 150 metrů dlouhá a v koruně 8,5 metru široká. Celkový objem nádrže je přes 2,5 milionu m³ vody. Nádrž je určena k akumulaci vody pro vodárenský odběr do skupinového vodovodu Kyjov, trvalé zajištění minimálního zůstatkového průtoku v období sucha a snížení povodňových průtoků.



Vodárenský odběr

U pravého břehu nádrže jsou situovány funkční objekty včetně 28 metrů vysoké odběrné věže kruhového půdorysu o průměru 3,4 metru umožňující ovládat vodárenské odběry. Ty lze provádět ze čtyř různých úrovní pod hladinou. Potrubí je vedeno komunikační štolou pod hrází až ke vzdušné patě, a potom dále do úpravní vody. Odběrná věž není spojena s korunou hráze žádnou lávkou, a tak jediný přístup je možný pouze komunikační štolou dlouhou 94 metrů, vedoucí pod vodou na dně nádrže.

Rekonstrukce VD Koryčany

Povodí Moravy, s.p. dokončilo v roce 2020 rekonstrukci vodárenské vodní nádrže Koryčany. Cílem prací bylo zvýšit průtočnou kapacitu bezpečnostního přelivu, skluzu, a vývaru vodního díla. Přehrada nyní zvládne bezpečně převést tisíciletou povodeň a odpovídá moderním požadavkům na zabezpečení vodních děl. Odběr vody pro úpravu na vodu pitnou probíhal v plné míře i v průběhu prací.

Modernizace hráze probíhala od května 2017 do června 2020. K vydání kolaudačního souhlasu pak došlo na začátku září 2020. Celkové investiční náklady stavby byly téměř 108 mil. Kč.

Stavební práce spočívaly zejména ve zvýšení kapacity funkčních objektů a vedly ke zvýšení bezpečnosti nádrže. Koruna hráze byla zvýšena o 15 cm a skluz rozšířen z původních 3 m v návaznosti na spadiště až na 9 m. Délka skluzu je nově 73,5 m a podélný spád 17,1 – 70 ‰. Rozšíření byl také vývar z původních 3,1 m na šířku 7 m a jeho dno bylo zahlobbeno o 1,7 m pod úroveň stávajícího dna. Za vývarem byla provedena úprava odpadního koryta včetně zřízení nového přemostění odpadního koryta za vývarem.

V rámci rekonstrukce došlo také k vybudování další, druhé, spodní výpusti. Přehrada tak získala druhou samostatně použitelnou spodní výpust. V případě poruchy je tak např. v době povodňových průtoků možné bezproblémově manipulovat s hladinou vody a kontrolovat průběh povodně. Nová druhá spodní výpust DN 600 byla budována za plného provozu vodního díla. Osově je osazena o 4,5 m výše než první výpust. Při budování druhé spodní výpusti byla revidována i první spodní výpust.

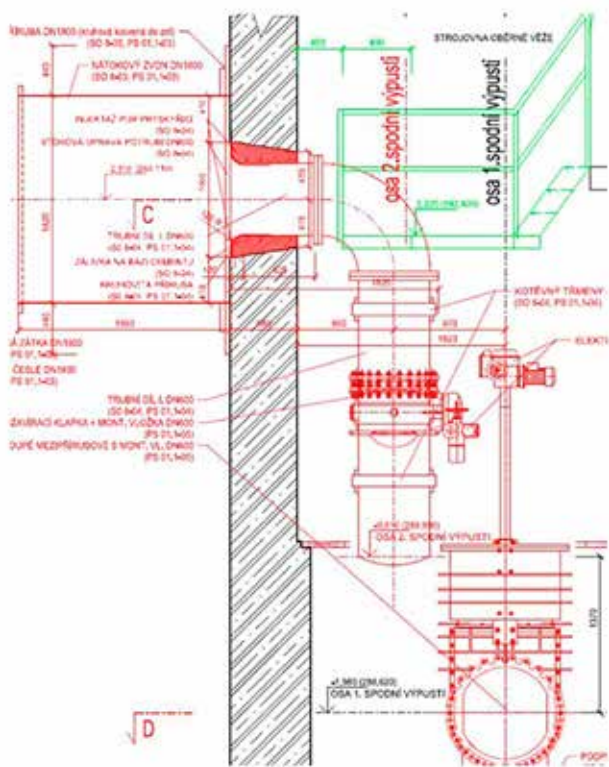


Schéma nově vybudované druhé spodní výpusti.



Dále byla v rámci rekonstrukce VD obnovena také injekční clona. Obnova injekční clony zahrnovala vrty zajišťovací injektáže, vlastní injekční clonu a pozorovací tlakoměrné vrty. Celková délka vrtů činila 5 452 m, z toho vrty zajišťovací injektáže 1 092 m (délky vrtů 6-12 m) a vlastní injekční clona 4 360 m (délky vrtů 25 – 35 m).

V průběhu rekonstrukce hráze došlo navíc k odtěžení sedimentů z konce vzdutí vodní nádrže. Odtěžení sedimentů navýšilo zásobní prostor nádrže a vedlo ke zlepšení kvality vody v nádrži, která je využívána pro úpravu na vodu pitnou.



Útvar rybářství

Povodí Moravy, s.p.



Výlov rybníka Skalice

Útvar rybářství na Povodí Moravy, s.p. zajišťuje především rybářské **obhospodařování vodárenských nádrží**. To je založeno na ovlivňování a udržování rybí obsádky vysazováním vhodných druhů ryb a odloveh nežadoucích.

Na základě provozního ichtyologického monitoringu je vždy pro konkrétní rok a pro jednotlivé vodárenské nádrže vypracován zarybňovací plán. Součástí ichtyologického monitoringu vodárenských nádrží je pravidelně i odběr vzorků ryb pro sledování zdravotního stavu v jednotlivých nádržích i obsahu cizorodých látek v jejich svalovině.

Útvar rybářství

- ▶ spravuje 13 vodárenských nádrží
- ▶ koordinuje činnost ostrahy vodárenských nádrží při kontrolách dodržování režimu v ochranných pásmech



Zarybňování vodních nádrží

Dále zajišťuje rybářské **obhospodařování malých vodních nádrží – rybníků**:

- ▶ 20 rybníků,
- ▶ z rybníků ročně vyloveno 25–30 tun ryb, které dále slouží jako nástraha dravých druhů ryb pro zarybňování vodárenských nádrží nebo jako tržní ryby (kapr, štika, candát, lín, amur) pro malo i velkoprodej.

Povodí Moravy, s.p. provozuje také **rekreační rybolov pro širokou rybářskou veřejnost na VD Těšany**:

- ▶ prodej Pověření k rybolovu pro širokou veřejnost na 16 ha vodní plochy,
- ▶ více na atraktivnirybolov.cz či na emailu rybarstvi@pmo.cz.



Záchranný transfer ryb VD Jevišovice

Speciální služby pro podnik Povodí Moravy, s.p. i externí subjekty:

- ▶ odlovy a výlovy ryb pomocí hromadných způsobů lovu (záťahové sítě, el. agregát),
- ▶ záchranné transfery ryb v rámci mimořádných manipulací na vodních dílech,
- ▶ odběry – odlovy vzorků ryb,
- ▶ poradenská činnost v oblasti rybářství, rybníkářství, hydrobiologie, rybářské legislativy.



Rekreační rybolov Těšany

Nové rybochovné hospodářství Koryčany

V prostoru pod hrází vodárenské nádrže Koryčany v místě stávajících rybochovných objektů byla v červnu 2021 dokončena rekonstrukce Rybochovného hospodářství Koryčany. Byla zde vybudována zcela nová moderní rybí líheň se žlabovou, zázemím pro obsluhu a skladovacími prostory. Současně s líhni byly kompletně zrekonstruovány všechny rybníčky, sádky a další odchovné objekty.

V tomto novém rybochovném objektu bude probíhat:

- ▶ výtěr a odchov raných stádií dravých druhů ryb (štika, candát, bolen),
- ▶ produkce lososovitých ryb (pstruh duhový, siven americký),
- ▶ sádkování ryb v průběhu výlovů rybníků,
- ▶ prodej ryb,
- ▶ edukační činnost.

Odchované plůdky dravých druhů ryb budou sloužit k zarybnění vodárenských nádrží a současně pro produkci násad nebo tržních ryb pro prodej. Produkce lososovitých druhů ryb, především pstruha duhového (případně sivena amerického či pstruha obecného), bude realizována jako uzavřený cyklus od jikry po tržní rybu. Díky tomuto způsobu hospodaření se minimalizuje riziko zavlečení nebezpečných nákaz do chovu a ohrožení celé produkce. Tržní ryby budou sloužit k prodeji především v nově plánované prodejně u vjezdu do areálu střediska Koryčany.

Zřízením edukační místnosti v provozní budově nového objektu líhně bude možné seznámit širokou veřejnost nejenom se základy a principy chovu ryb jak v řízených podmínkách rybochovného hospodářství v Koryčanech, tak i s chovem ryb v rybnících. Současně bude možné vysvětlit i principy hospodaření a důvody ochrany vodárenských nádrží jakožto strategických zdrojů pitné vody. Cílovou skupinou, kterou bychom v Koryčanech nejraději viděli a seznámili je s naší prací, jsou zejména děti a mládež.

Realizace akcí Rybochovné hospodářství Koryčany – líheň a Ry-

bochovné zařízení Koryčany – odchovné rybníčky a sádky bylo spolufinancované z prostředků Evropské unie - Evropského námořního a rybářského fondu, Operační program Rybářství 2014–2020.

Rybochovné hospodářství Koryčany – líheň

Nový objekt líhně se skládá ze tří částí - první částí je provozní budova zajišťující zázemí pracovníků obsluhy a edukační místnost, druhou je samotná rybí líheň a třetí část tvoří technické zázemí - skladové a technické prostory.

Voda pro všechny odchovné objekty v rybochovném hospodářství se odebírá z vodárenské nádrže Koryčany ze stávajícího vodárenského odběru. V případě rozvodu k inkubačním lahvím a žlabům prochází přehradní voda přes UV lampy, které zajistí likvidaci nebezpečných patogenů ve vodě. S ohledem na lepší chemicko-fyzikální vlastnosti, především optimální teplotu, je možné pro inkubaci jiker využít i vodu ze studny umístěné nedaleko objektu nové líhně.

Odchovné rybníčky a sádky

Nové sádky jsou zřízeny v prostoru dvou původních zemních jako železobetonové o vnitřních rozměrech 10,7 × 8 m s hloubkou 2 m. Sádky budou využívány především v rámci jarních a podzimních výlovů a pak především v průběhu vánočního prodeje ryb.

Čtyři železobetonové odchovné žlaby o rozměrech 39,8 resp. 36,7 × 2,5 m s průměrnou hloubkou 2,4 m slouží k odchovu lososovitých ryb od velikosti cca 0,1 kg do tržní velikosti.

V šesti zrekonstruovaných příkopových rybníčcích bude probíhat odchod rychlených plůdků ryb.

Veškerá voda z rybochovného zařízení Koryčany použitá k chovu ryb protéká přes sedimentační jímku. Průchodem přes sedimentační jímku se voda zbaví hrubých nečistot a pevných částic metabolitů vzniklých při chovu, čímž se výrazně sníží organické zatížení Kyjovky.

Pstruh duhový – násada





Váš partner v oboru vodního hospodářství

Projekční práce

Projekce a inženýring od studie po realizaci

BIM

Projekční práce a tvorba digitálních modelů BIM

Výzkumná činnost

Spolupráce na výzkumu využití sedimentu z nádrží

VD Labská

Zvýšení retenční funkce vodního díla rekonstrukcí spodních výpustí



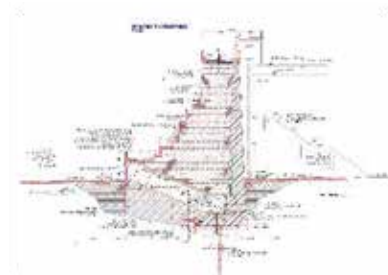
VD Višňová Víska

Suchá nádrž se speciálním založením na neúnosném podloží



VD Kutřín

Suchá nádrž s revitalizačními prvky a hrází s využitím válcovaného betonu



Revitalizace Bečvy

Protipovodňová úprava toku spojená s revitalizačními opatřeními



MVN Vlčkovice

Rekonstrukce funkčních objektů a odbahnění malé vodní nádrže



Studie Panenského p.

Studie odtokových poměrů a zadržení vody v krajině



**Rádi s Vámi Vaše problémy či záměry zkonzultujeme
Poradíme Vám z technického hlediska i z pohledu možností financování**

V případě zájmu se neváhejte obrátit na níže uvedené kontakty

Kontakt:

HG partner s.r.o.
Smetanova 200
250 82 Úvaly
+420 246 082 015
hgp@hgpartner.cz
www.hgpartner.cz

Člen klastru CREA Hydro&Energy, z.s.



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



 hawido

 ÖZKAN

 hawle

 SINCE 1932
Nova Siria®

 krammer

HAWLE. **MADE FOR GENERATIONS.**



ODBAHŇOVÁNÍ A TĚŽBA SEDIMENTU Z VODNÍCH PLOCH A TOKŮ

plovoucí **SACÍ BAGRY**

Těžba sedimentu z rybníků, jezer, kališť, řek, potoků

Naše nabídka zahrnuje veškeré potřebné činnosti od investičního záměru, přes **těžbu a dopravu materiálu, po zpracování a uložení** vytěženého sedimentu.

Těžíme z jakékoliv hloubky a materiál jsme schopni čerpat do vzdálenosti několika kilometrů. Vytěžený zvodnělý materiál můžeme dále zpracovat - odvodnit. Máme **dlouholeté zkušenosti**.



plovoucí **STROJE**

Beranění na vodě, bagrování a kamenné záhozy

Provádíme **výkopy pod vodou**, budování kamenných záhozů a další potřebné **práce z vodní hladiny** za pomoci plovoucích strojů s hydraulickým ramenem. **Opevňujeme břehy** kamenným záhozem, zatloukáme **dřevěné kůly nebo larseny** (štětovnice).



ODVODŇOVACÍ technologie

Těžba a zpracování sedimentu v odvodňovacích vacích

Jsme výhradním zástupcem pro technologii vaků TenCate Geotube® na území České a Slovenské republiky.

Odvodňujeme hydrosměs na technologické lince s **odstředivkou Flottweg**.



VZORKOVÁNÍ - ANALÝZY

Odběry a analýzy sedimentů a mapování dna

Nabízíme akreditovaný odběr vzorku sedimentu, zpracování a analýzy vzorku sedimentu v akreditované laboratoři, vyhodnocení výsledků analýz, odběr vzorku a zjišťování agrochemických vlastností půdy, na kterou má být sediment použit a zpracování studie o možnostech využití sedimentů z vodních nádrží.

Mapujeme dno měřícím čtunem.



✉ plosab@plosab.cz

www.PLOSAB.cz



PLOSAB s.r.o.
IČ : 27800393
DIČ : CZ27800393

TŘEBOŇ - kancelář a korespondenční adresa:
Dukelská 145, 379 01 Třeboň

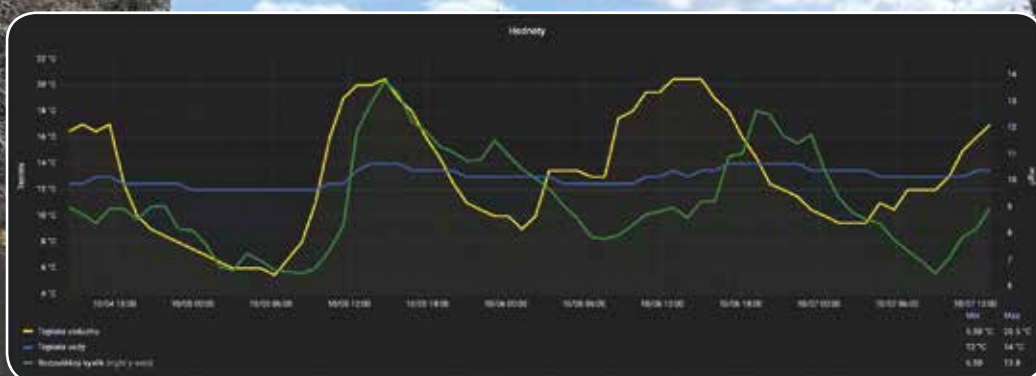
VELKÝ RATMÍROV - dílna, sklad a sídlo společnosti:
Velký Ratmírov 42, 377 01

SmonOX

Kyslík pod kontrolou

www.smonox.cz

- Měření rozpuštěného kyslíku, teploty vody a vzduchu
- Aktuální hodnoty a historie na telefonu nebo PC
- Kompaktní rozměry a vysoce odolná konstrukce
- Plně automatické měření, provoz i údržba
- Průběžné čištění a kalibrování sondy
- Varování pomocí SMS a emailu
- Sledování polohy podle GPS
- Bez potřeby napájení
- Snadná obsluha
- Servis a podpora po celé ČR





Stavbu připravuje Povodí Moravy, s.p. jako investor na základě usnesení vlády České republiky.

Společnost AQUATIS a.s. navazuje na soubor prací provedených v rámci předprojektové přípravy a pokračuje projektovou přípravou, která by měla být završena vydáním stavebního povolení.

GEOtest

**ŘEŠENÍ
PRO OBCE,
MĚSTA
A FIRMY**

**HOSPODAŘENÍ
S VODOU**

WWW.GEOTEST.CZ



Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s.



PROJEKTOVÁNÍ

V rámci našich služeb zajistíme veškeré kroky od identifikace problému, přes vypracování studie proveditelnosti a investičního záměru, zajištění veškerých podkladů až po projektovou dokumentaci ve všech stupních přípravy. V průběhu stavby zajišťujeme autorský dozor.



INŽENÝRING

Komplexní služby pro stavební investory všech segmentů trhu: vodohospodářské, inženýrské, průmyslové, pozemní stavby.



VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ A OCHRANA ŽP

Specializované služby v oboru vodního hospodářství a ochrany životního prostředí.

Povodí Moravy, s.p.
Dřevařská 11, 602 00 Brno
www.pmo.cz

