VODOHOSPODÁŘSKÁ KONFERENCE

VODNÍ NÁDRŽE 2017

3.–4. ŘÍJNA 2017

POVODÍ MORAVY

vodninadrze.pmo.cz

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

Záštity

Partneři

Mediální partneři

Odborní partneři

Ostatní státní podniky Povodí

Programový výbor konference
Prof. Ing. Miloš Starý, CSc., Vysoké učení technické v Brně
Prof. RNDr. Jaroslav Vrba, CSc., Přírodovědecká fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích
Doc. Ing. Josef Hejzlar, CSc., Biologické centrum AVČR
Doc. Ing. Radovan Kopp, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně
RNDr. Jakub Borovec, Ph.D., Biologické centrum AVČR
RNDr. Jindřich Duras, Ph.D., Povodí Vltavy, státní podnik
RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D., Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost
Mgr. Pavel Rosendorf, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka
Ing. David Fína, Povodí Moravy, s.p.
Mgr. Dušan Kosour, Povodí Moravy, s.p.

Vydavatel
Vydáno Tiskárnou Didot, spol. s r. o., Trnkova 119, 628 00 Brno pro Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno
1. vydání, 300 výtisků, 204 stran

Editor
Mgr. Dušan Kosour a kolektiv

Citace
KOSOUR, Dušan et al., eds. *Vodní nádrže 2017.* Brno: Povodí Moravy, s.p., 2017. ISBN 978-80-905368-5-2.

Tisk a grafická úprava
Tiskárna Didot, s. r. o., Brno

Za jazykovou úpravu a obsah příspěvků zodpovídají autoři.

ISBN 978-80-905368-5-2

POVODÍ MORAVY, S.P.

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

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

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

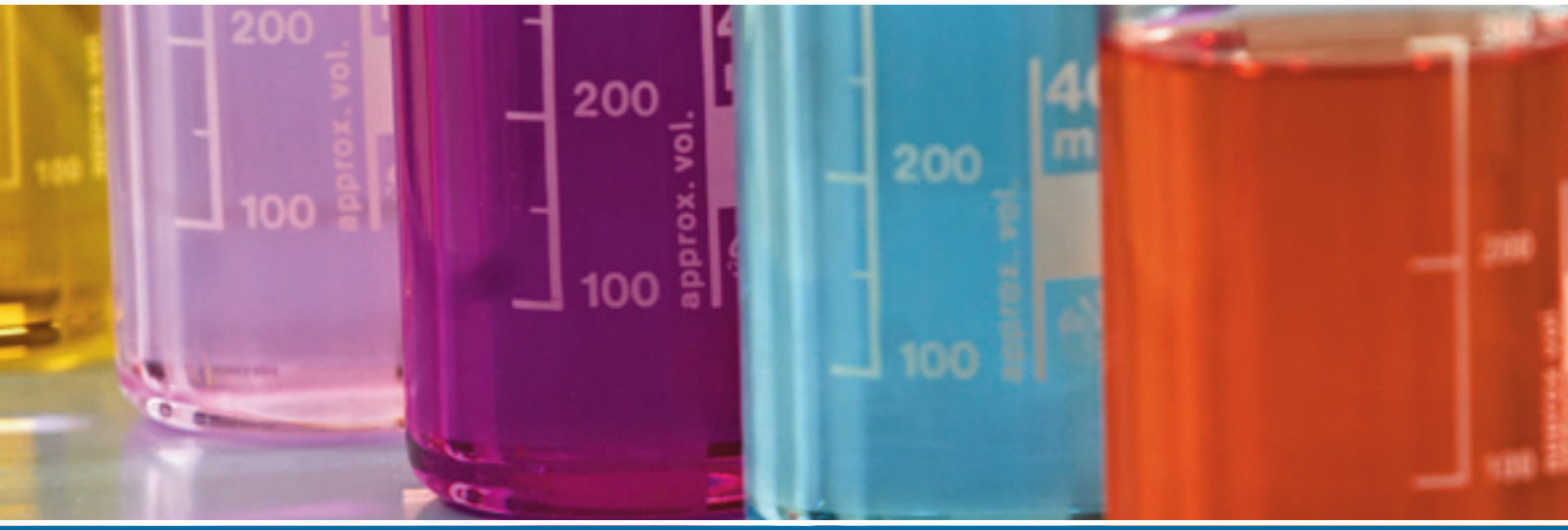
www.pmo.cz

POVODÍ MORAVY

POVODÍ MORAVY, S.P.

Vodohospodářské laboratoře Povodí Moravy, s.p.

Jsou zkušební laboratoří 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, fytobentos, makrofyta) dle platné legislativy,

- analytické, fyzikálně-chemické, biologické a mikrobiologické zkoušky pitných, podzemních, povrchových, odpadních vod a vod ke koupání, výluhů, plavenin, sedimentů, půd, kalů a biologického materiálu dle platné legislativy.

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

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

www.pmo.cz

POVODÍ MORAVY

OBSAH

Předpovědní povodňová služba: vývoj po roce 1997, současnost a trendy pro budoucnost
Daňhelka J., Čekal R., Vlasák T. 5

Rozvoj matematického modelování na Povodí Moravy od roku 1997
Špatka J., Tůma A., Bíza P., Gimun V. 9

Jaké chtějí občané ČR vodní nádrže a kolik jsou ochotní za ně zaplatit?
Máca V., Ščasný M., Zvěřinová I. 13

Příprava vodních nádrží Vlachovice a Skalička
Tůma A., Fína D. 17

Současný stav předpovědní povodňové služby v povodí řeky Moravy 19
Janál P.

Posouzení funkčních objemů vodního díla Vír I na aktualizovaná vstupní data
Marton D., Starý M. 24

Vliv významných nádrží a soustav na hydrologické extrémy v povodí Ohře
Tanajewski M. 28

Vplyv vodných stavieb Orava a Liptovská Mara na znižovanie rizika tvorby ľadochodu a srieňov
Caban P., Vykroč J., Šípka B. 34

Jak dobře naplánovat zmírňující opatření na vodních nádržích
Opatřilová L. 37

17 let Rámcové směrnice o vodě – přínos ano nebo ne?
Čudková K. 40

Česká fosforová platforma byla založena – a co dál?
Kosour D., Duras J., Holba M., Kočí V., Pešta J. 43

Třetí stupeň ČOV Třebíč – rok provozu
Foller J., Tůna L. 46

Komplexní analýza emisí fosforu ze všech obcí v povodích Lomnice, Skalice, Loděnice a Želivky a jejich vliv na stav vodních útvarů
Rosendorf P., Fiala D., Beneš J., Duras J., Potužák J., Liška M. 52

Koncentrace fosforu v nádržích Orlík a Slapy: výsledek socioekonomického vývoje v povodí a změny klimatu
Hejzlar J., Jarošík J., Kopáček J., Vystavna Y. 60

Samočistící procesy v povodí VN Švihov: rybníky a drobné vodní toky
Duras J., Marcel M., Boháček V. 68

Zanášení toků a nádrží – plošné zemědělské znečištění v povodí Vltavy
Krása J., Dostál T., Bauer M., Jáchymová B., Devátý J. 70

Monitoring kvality vody VN Jordán v Táboře – cesta od odbahnění ke srážení fosforu v povodí
Potužák J, Faina R., Duras J., Fišer J. 75

Vliv dostupnosti akceptorů elektronů na biogeochemické procesy a cyklus fosforu v sedimentu
Jan J., Borovec J., Petráš D., Osafo N., Tomková I., Hubáček T. 80

Preference Čechů pro adaptační opatření ke zmírnění dopadů povodní a sucha: technická, přírodě blízká, nebo doprovodná opatření?
Zvěřinová I., Ščasný M., Martínková Z. 86

Pozorované změny a výhled pro vodní bilanci a potřebu vody v zemědělské krajině České republiky
Trnka M. a kol. 91

Vláhová bilance jako ukazatel dostupné vody v krajině
Rožnovský J. , Chuchma F., Fiala R., Kohut M. 97

Modrozelená infrastruktura: naděje pro řeky, naděje pro člověka
Vítek J. 101

Ochranná pásma vodních zdrojů
Novák J., Oppeltová P. 103

Dynamika vyplavování pesticidních látek v povodí Čechtického potoka
Dobiáš J., Koželuh M., Zajíček A., Fučík P., Liška M. 106

Dynamika fytoplanktonu vodárenské nádrže Hamry v průběhu biomanipulačních opatření
Kopp R., Zapletal T., Jurajda P., Adámek Z., Jurek L., Hadašová L. 112

Vodní nádrže a vnitrozemská plavba
Němcová K. 118

POSTEROVÁ SEKCE

Protierozní opatření na hrázích rybníků
Badalíková B., Novotná J., Vymyslický T. 124

Mezinárodní projekt „CAMARO-D“ – optimalizace využití krajiny ve vztahu k vodnímu režimu v povodí Dunaje
Bauer M., Zumr D., Devátý J., Krása J., Dostál T., Jáchymová B. 126

Staňkovský rybník – jak rychle dnes probíhá eutrofizace velké mezotrofní rybniční nádrže (i bez přispění produkčních rybářů)
Baxa M., Pechar L., Benedová Z., Duras J., Kröpfelová L., Musil M., Potužák J., Šulcová J. 128

Využití výzkumného sonaru pro stanovení mocnosti sedimentů
Borovec J., Torrijos J., Jan J., Dadejík M., Borecký K., Vrzák J. 132

Plovoucí zelené ostrovy, perspektivní alternativa chybějících litorálních společenstev umělých vodních nádrží
Čtvrtlíková M., Kučerová A., Krolová M., Kubečka J., Hladík M. 135

VN Kunov – 50 rokov prevádzky vodnej stavby
Čulenová Z. 136

Projekt optimalizace ochrany vody a půdy v povodí Svratky
Konečná J., Karásek P., Fučík P., Hanák R., Ryšavý S., Sýkora L., Doležal P., Kriška M. 144

Retence a jakost vody
Kvítek T., Krátký M. 153

Vodná stavba Veľká Domaša – 50 rokov prevádzky
Mydla D. 156

Nové pojetí ekonomického návrhu nádrže v podmínkách změn klimatického systému s použitím vícekriteriální optimalizace
Paseka S., Marton D. 160

Polní geotechnické zkoušky horninového masívu v základové spáře budoucího VD Nové Heřminovy
Polák M., Pavlík I., Pavlík J. 165

Vplyv manipulácie na vybraných vodných nádržiach na tok so zreteľom na obdobie sucha
Poórová J., Melová K., Lovásová Ľ., Blaškovičová L. 169

Rybníky jako HMWB – jak přistoupit k hodnocení jejich ekologického potenciálu?
Potužák J., Duras J., Marcel M. 178

Monitoring rybničních sedimentů v letech 2011–2017
Šulcová J., Baxa M., Kröpfelová L., Baxová Chmelová I. 180

Využití matematických modelů při bilanci látek v povodích vodních nádrží
Tachecí P., Maťa M., Přibek P., Metelková A. 187

SEZNAM AUTORŮ 193

PŘEDPOVĚDNÍ POVODŇOVÁ SLUŽBA: VÝVOJ PO ROCE 1997, SOUČASNOST A TRENDY PRO BUDOUCNOST

Jan Daňhelka[1], **Radek Čekal**[2], **Tomáš Vlasák**[3]

[1]*Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, tel. +420 244 032 300, danhelka@chmi.cz*
[2]*Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, tel. +420 244 032 356, cekal@chmi.cz*
[3]*Český hydrometeorologický ústav – pobočka České Budějovice, Antala Staška 1177/32, 370 07 České Budějovice 7, tomas.vlasak@chmi.cz*

Abstrakt

Příspěvek stručně sumarizuje zásadní změny fungování předpovědní povodňové služby od roku 1997 ve smyslu dostupnosti dat v reálném čase, vývoje nástrojů pro jejich zpracování, hydrologických modelů. Právě předpovědní hydrologické modely využívající měřených a předpovídaných srážek představují kvalitativní změnu předpovědní služby v posledních 20 letech, která umožňuje častější predikce s delší dobou předstihu a pokrytí i malých zdrojových povodí. Zásadní pro efektivní využití těchto informací je však jejich pochopení a interpretace uživateli. Proto příspěvek uvádí rovněž výsledky dlouhodobého vyhodnocení předpovědí a diskutuje jejich „hodnotu" pro užití v povodňové ochraně. Závěrem jsou diskutovány trendy dalšího vývoje předpovědních modelů a produktů zejména pravděpodobnostních předpovědí a výzvy, které tyto informace přinášejí z hlediska jejich korektního a efektivního zpracování jejich uživateli.

Klíčová slova: *předpovědní povodňová služba; povodně; modely; trendy vývoje.*

Abstract

Paper summarizes a major changes in flood forecasting service that have taken place since 1997 flood, including changes in data near-real time availability and processing and Hydrological modelling. Implementation of Hydrological models has been a major qualitative change over last 20 years enabling more frequent forecast updates, forecasting of small headwater catchments and longer forecasting lead-times. We also present the basic results of evaluation of long term model performance to better describe its value for users. Finally, we discuss emerging and future trends and challenges in the field of flood forecasting and its implications.

Keywords: *flood forecasting service; floods; models; development trends.*

Úvod

Povodně v červenci 1997 byly první plošně rozsáhlou povodní po několika desetiletích. Poslední obdobné velké povodně z let 1890 v povodí Labe a 1903 v povodí Odry, již neměly pamětníků. Navíc povodně z roku 1954 na Vltavě, které byly významně transformovány v nově dokončené, dosud nenapuštěné přehradě Slapy, podpořily dojem, že budované nádrže nás před povodněmi ochrání. Ačkoliv hydrologové a vodohospodáři sice upozorňovali, že výskyt povodní je jen otázkou času, faktem však zůstává, že bez impulsů v podobě katastrofy, se jejich důraz na jejich prevenci propadá ve společenském žebříčku priorit. Poslední významný impuls v podobě povodní na Slovensku v červenci 1960 vedl k ustavení krajské struktury hydrologických služeben Hydrometeorologického ústavu [1], ale od té doby byl vývoj v oblasti předpovědní a hlásné služby velmi pozvolný.

Informace o hydrometeorologických prvcích za povodní 1997

V roce 1997 byla většina limnigrafických stanic provozována v podobě mechanických limnigrafických přístrojů zaznamenávajících průběh hladiny perem na vložený papír. Z vybrané hlásné sítě potom pozorování v ranním termínu případně doplněná informacemi o stavu v šestihodinovém kroku odečtených z papíru limnigrafu v ranním termínu telefonicky sdělovali na hydroprognózní pracoviště poboček dobrovolní pozorovatelé. Podobně v případě srážkoměrných pozorování byla situace obdobná. Data byla k dispozici v zásadě z omezené sítě profesionálních stanic (cca 30) a byla doplňována telefonickým hlášením od vybraných dobrovolných pozorovatelů udávající denní srážkové úhrny. Pro případ povodní byl implementován mechanismus zvaný HYDROSTART, což v podstatě bylo zavedení režimu častějšího manuálního měření a sdělování informací, jeho fungování však bylo poněkud chaotické.

V době povodně byly k dispozici, jako relativně nový produkt, obrázky z meteorologických radarů; nový byl zejména radar Skalky, který monitoroval srážkovou oblačnost nad postiženou oblastí s rozlišením 2x2 km [2]. Automatizace pozemních měření byla v plenkách. První limnigrafické stanice s digitálním záznamem byly instalovány v roce 1995. Jednalo se o přístroje firmy NOEL. Některé přístroje této firmy umožňovaly také přenos dat přes telefonní linky na předpovědní hydrologická pracoviště. V další variantě byla také možnost zjistit aktuální vodní stav a jeho tendenci pomocí hlasového automatu po vytočení příslušného telefonního čísla z libovolného telefonu. V roce 1997 bylo v povodí Moravy a Odry vybaveno přístrojem s přenosem jen 11 vodoměrných stanic [3]. Nevýhodou využívání pevných telefonních linek však byla skutečnost, že při povodni docházelo v důsledku rozlivů k zaplavování rozvoden elektrické energie i telefonních drátů, což se projevilo v nedostupnosti údajů v kritických fázích vrcholící povodně.

Předpovědi v roce 1997

Z výše uvedeného přehledu dostupnosti operativních dat, je zřejmé, že možnosti hydrologických předpovědí byly velmi, velmi omezené. Z hlediska predikcí meteorologického vývoje byly v roce 1997 k dispozici vybrané výstupy tří zahraničních numerických modelů – globálních modelů Duetsche Wetterdienst a britské Metoffice

nazývaný podle tehdejšího sídla Bracknell (rozlišení modelů bylo na úrovni ca 50 km) a lokálního modelu Duetsche Wetterdienst s rozlišením ca 15 km. Nově implementován a provozován byl lokální model ALADIN (počítaný v době povodně ještě v MetèoFrance v Toulouse), jehož rozlišení rovněž odpovídalo přibližně 15 km. Je třeba uvést, že z hlediska kvantitativní předpovědi množství srážek modely v důsledku omezeného rozlišení a tím i podhodnocení orografických efektů skutečnost výrazně podhodnotily.

V devadesátých letech byly v ČHMÚ činěny první pokusy s hydrologickými modely. Operativní předpovědi však byly založeny na manuální metodě postupových dob a odpovídajících si průtoků, která vycházela z metodiky navržené pro dolní Labe prof. Harlacherem [4] již v 19. století a postupně byla zpřesňována a rozvíjena i pro menší toky na celém území republiky. K dispozici tak byly předpovědi pro 4 profily na dolních tocích, a to s předstihem 6 až 24 hodin [3].

Opatření učiněná po povodni a dnešní stav

Povodeň 1997 byla základním impulzem pro změnu ochrany před povodněmi, což se promítlo jak do legislativních změn, tak do praxe odborných institucí. Zkušenosti z povodně se promítly do nových zákonů o krizovém řízení (č. 240/2000 Sb.), o integrovaném záchranném systému (č. 239/2000 Sb.) a do nového vodního zákona (č. 254/2001 Sb.). V souladu s tím byly kompletně revidovány předpisy pro hlásnou povodňovou službu a systém hlásných profilů a další dokumenty.

Rozvoj informačních technologií umožnil na povodeň zareagovat i v oblasti přístrojového vybavení pro měření vodních stavů a srážek, přenosu dat a jejich zpracování. Aktuálně jsou operativně k dispozici data ze sítě více než 400 automatických klimatických a srážkoměrných stanic ČHMÚ doplňované daty dalších organizací, automatizovány jsou rovněž veškeré vodoměrné stanice sítě ČHMÚ (507 stanic s vyhodnocováním průtoku), které jsou rovněž doplňovány informacemi od ostatních organizací, zejména s. p. Povodí. Změna technologie (GPRS) se ukázala jako vhodné řešení, které zajišťuje funkcionalitu i v průběhu krizových situací a umožňuje spolehlivé a levné zasílání dat s rozlišením a frekvencí 10 minut. Díky tomu je možné nejen zachytit nástup povodní i na malých tocích a v případě přívalových povodní, ale je možné i velmi dobře odhadovat vývoj vrcholné fáze povodně na základě měnící se intenzity srážek ve zdrojových oblastech.

Podobně radarové odhady srážek byly významně zdokonaleny (od roku 2016 jsou instalovány nové radiolokátory na vrchu Skalky a Praha), rozlišení se zvýšilo na 5 minut a 1 km, hlavně však byly významně zdokonaleny metody zpracování dat, které díky kombinaci s údaji ze srážkoměrů poskytují zlepšené informace o srážkovém množství i odhad posunu srážek v následujících desítkách minut (nowcasting).

Předpovědní služba a s ní i povodňové orgány a veřejnost tak mají k dispozici obrovské objemy dat a informací, které následně kladou velké nároky na jejich zpracování. Rozvoj meteorologických modelů dosáhl v případě lokálních meteorologických modelů aktuálně rozlišení méně než 5 km, významně se změnila fyzika modelů z hlediska modelování srážkotvorných procesů, implementují se pokročilé metody asimilace dat, využívají se ansámblové přístupy.

Hydrologické modely a nástroje se rovněž významně proměnily a vyvinuly. Hydrologické modely dnes produkují předpovědi pro stovky předpovědních profilů (111 z nich je publikováno pro potřeby veřejnosti) i na malých vodních tocích, předstih předpovědi se díky využití meteorologických modelů prodloužil až na 66 hodin. Kromě deterministických předpovědí jsou počítány i ansámblové předpovědi založené na 16 variantních predikcích systému ALADIN-LAEF.

V reakci na další povodňové události byly vytvořeny další nástroje a jsou zpracovávány další produkty pro potřeby povodňové ochrany:

- Indikátor přívalových povodní (flash-flood guidance) hodnotící nasycenost půdy, odhadující limity nebezpečných srážek i hodnotící aktuální riziko vzniku přívalové povodně (obr. 1) na základě vstupu měření meteorologických radarů [5].
- Vyhodnocování sněhových zásob v prostředí GIS
- Operativní vyhodnocování vodností ve vztahu k historickým hodnotám aj.

Došlo rovněž k rozšíření informací pro veřejnost a povodňové orgány, jak správně interpretovat hydrologické předpovědi a výstrahy, včetně publikace úplného vyhodnocení úspěšnosti hydrologických předpovědí. Ke zjištění aktuální stavu rozvoje metod a produktů doporučujeme návštěvu stránek ČHMÚ (http://www.chmi.cz; http://hydro.chmi.cz/hpps/), kde jsou všechny nové nástroje a produkty průběžně doplňovány.

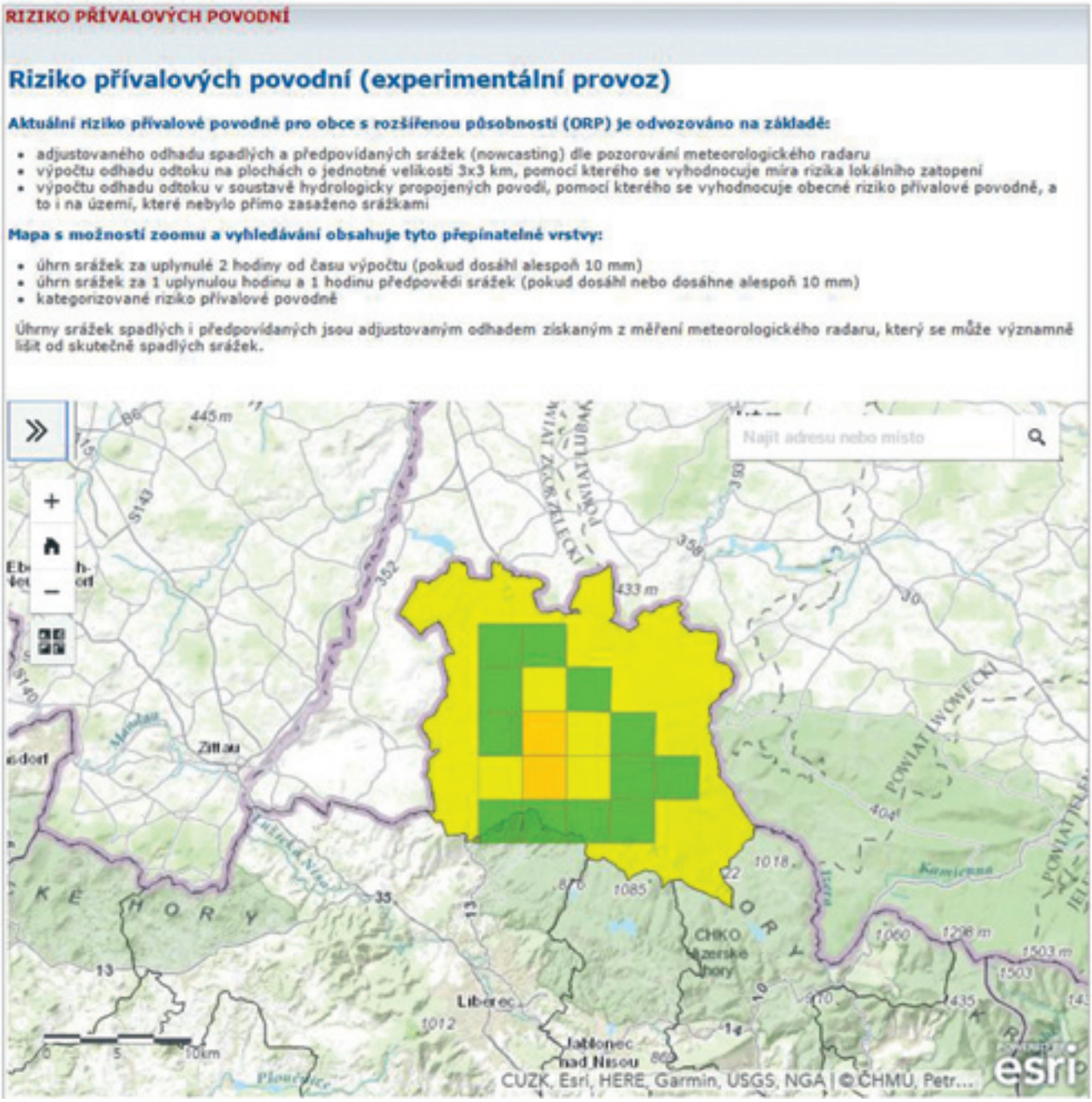
Pro uživatele je zásadní nejen vlastní předpověď, ale také informace o její věrohodnosti. Proto ČHMÚ dlouhodobě vyhodnocuje vydané předpovědi a výsledky vyhodnocení publikuje na internetových stránkách (http://hydro.chmi.cz/hpps/), na něž odkazuje pro získání podrobnějších výsledků. Celkově uveďme, že výsledky prokazují velkou závislost úspěšnosti předpovědi překročení stupňů povodňové aktivity na předstihu předpovědi, tedy v podstatě na tom, nakolik je výpočet průtoku v říční síti založen na již naměřených srážkách, a nakolik na předpovědi srážek meteorologickými modely. Jinými slovy nejlepším vodítkem pro posouzení spolehlivosti modelů je velikost předpovídaného povodí. V minulosti však vyhodnocení bylo použito i pro identifikaci území vyžadujících rekalibraci hydrologických modelů a jako podklad pro optimalizaci předpovědní strategie napříč hydroprognózními pracovišti.

Trendy vývoje hydrometeorologických služeb

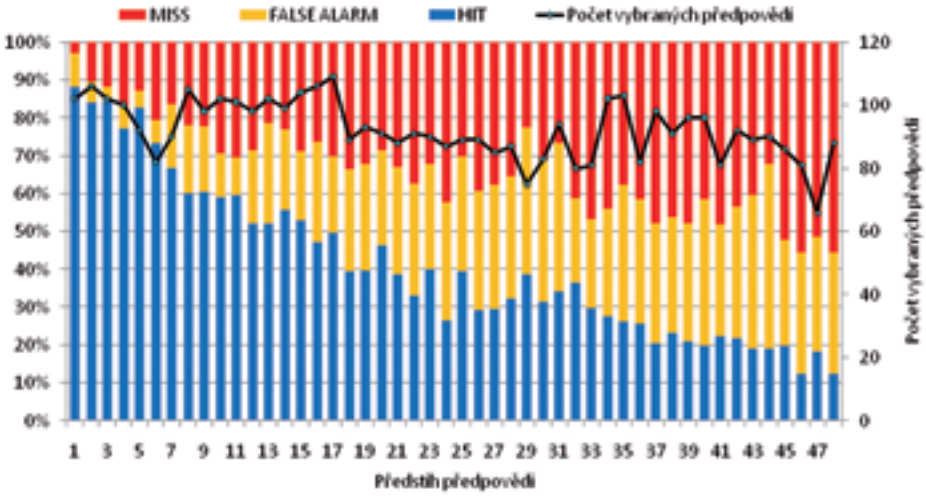
Hydrologické předpovědi se budou vyvíjet i do budoucna, avšak učinit jejich předpověď je velmi obtížné (nehledě na to, že člověk, který má zkušenosti s prognózováním vodních stavů je nadmíru opatrný, vědom si souboru nejistot budoucího vývoje). Každopádně jsou patrné určité trendy, u nichž lze předpokládat pokračující rozvoj či posílení. Obecně pak platí, že díky obecnému trendu globalizace bude rozvoj metod a nástrojů spíše akcelerovat. Důvodem je skutečnost, že k povodním sloužícím jako impulsy pro další rozvoj dochází někde na světě téměř neustále – viz nejnověji povodně v důsledku extrémních srážek hurikánu Harvey nad Texasem.

Jaké tedy jsou trendy vývoje předpovědí:

- **Pravděpodobnostní přístupy** jsou v současnosti již běžnou součástí některých předpovědních modelů. Prozatím jsou obvykle založeny na využití variantních (ansámblových) předpovědí meteorologických prvků přebíraných z numerických modelů počasí a produkují odpovídající varianty odtoku. Do budoucna však bude docházet k rozšiřování spektra nejistot postižených pravděpodobnostním přístupem, lze tedy předpokládat rozšíření ansámblů o varianty zohledňující rovněž různé parametry a strukturu hydrologických modelů a počátečního nasycení povodí. Do budoucna tak rozhodování bude nikoliv na základě jedné čáry udávající vypočtený budoucí průběh povodně, ale na základě pravděpodobnosti překročení určitých limitů, nebo přímo na základě optimalizace dlouhodobých škod a nákladů na jejich předcházení ekonomickými modely.
- **Seamless modeling**, neboli modely s neznatelným přechodem mezi produkty jsou uvažovány v různých dimenzích. Tou první je produkce předpovědí s různým předstihem (od nowcastingu na několik následujících minut až po sezónní předpovědi)



Obrázek 1. Ukázka výstupu Indikátoru přívalových povodní – operativně vypočtené riziko vzniku rychlého odtoku v ORP Frýdlant (žlutě naznačená plocha ORP) v důsledku nadlimitních srážek zaznamenaných radarem (naznačeno čtvercovou sítí)



Obrázek 2. Vyhodnocení podílu různých typů předpovědí překročení SPA za všechny předpovědní profily na území ČR v závislosti na době předstihu: Hit – úspěšné předpovědění překročení SPA; False Alarm – překročení SPA bylo předpověděno, ale nenastalo; Miss – nastalé dosažení SPA nebylo modelem předpověděno

ve spojité podobě tak, aby uživatel nemusel vyhledávat různé modely a produkty, ale obdržel jednu spojitou a konzistentní informaci. Druhou dimenzí je snaha o překonání vědeckých disciplín. Ideou je namísto vytváření a provozu meteorologických modelů, hydrologických modelů apod. provozovat modely zemského systému (Earth system models) které budou simulovat uzavřené a kompletní toky energií a látek. V tomto kontextu stojí za zmínku nový systém National Water Model, který je budován v USA tamní National Weather Service a který již je spojením meteorologického a hydrologického modelu WRF-Hydro. Uvedený trend pak v sobě skrývá jasnou tendenci ke globalizaci systému a produktů v rukách nejrozvinutějších institucí, které budou takového náročného modelování schopny (což konstatujeme s velkou nelibostí, neb dle našeho názoru jsou lokální znalosti a aspekty tím, co v realitě rozhoduje o kvalitě reakce na povodeň).

- **Bigdata a nové technologie** zasahují nejen do předpovědí ale i do oblasti měření a pozorování. Kromě satelitů jsou činěny pokusy s využíváním dalších informací – například útlum signálu mobilních telefonů je používán pro odhad srážek v městských aglomeracích aj. Ohromné množství dat, které lidská společnost vytváří je pak použitelné i pro tvorbu nových analýz a produktů. Lze proto očekávat, že do analýz a predikcí budou čím dál více pronikat metody umělé inteligence a statistické metody (např. artificial neural networks), které budou schopny poskytovat predikce vývoje atmosféry a hydrosféry bez přímé aplikace fyzikálních vztahů a rovnic (jako zatím velmi primitivní příklad uveďme sezónní predikce pro Austrálii [6]). Do budoucna však pravděpodobně na toto pole významněji vstoupí velké IT společnosti, jako Google, IBM apod. Podobně jako v předchozím bodě zde platí, že jde o tendenci jednoznačně směřující ke globalizaci služeb a produktů.
- **Komunitní platformy** jsou oproti předešlým již existující realitou. Delft-FEWS je platforma vyvinutá za účelem vytvoření prostředí pro provoz hydrologických modelů a komunitní (open source) sdílení rozvoje jeho komponent (http://oss.deltares.nl/web/delft-fews/). Delft-FEWS je základem předpovědních systémů velkých světových služeb, včetně např. National Weather Service v USA, Environmental Agency ve Velké Británii, Bureau of Meteorology v Austrálii aj. ČHMÚ aktuálně spouští jeho implementaci na svých pracovištích. Právě sdílení funkcionalit a usnadnění komunikace mezi různými modely tak to budoucna může být cestou pro usnadnění fungování národních hydrologických služeb v měnícím se globálním prostředí utvářeném předchozími trendy.

Závěr

Povodně v létě 1997 byly základním impulsem pro rozvoj předpovědní služby v České republice a přinesly neocenitelné zkušenosti se zvládáním extrémních povodňových událostí. Díky úsilí řady institucí a jednotlivců se ochrana před povodněmi a v jejím rámci i předpovědní služba v ČR po povodních dostala na světovou úroveň. Dynamika vývoje se však stále zrychluje a je nezbytné reagovat na globální trendy v oblasti pozorování a modelování atmosféry a hydrosféry i v dobách, kdy katastrofální povodně nepoutají pozornost politiků a veřejnosti k tomuto tématu. Doufejme, že se nám to v následujících letech bude dařit.

Literatura

[1] HLADNÝ, J. *Vznik Státní hydrologické předpovědní služby v roce 1960.* In: Daňhelka, J., Elleder, L. (Eds.): Vybrané kapitoly z historie hydrologické služby a povodní na území České republiky, ČHMÚ, Praha, 2012, str. 149–162.

[2] ČHMÚ, *Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997,* Souhrnná zpráva, ČHMÚ, 1998, dostupné z: http://voda.chmi.cz/pov97/obsah.html.

[3] SOUKALOVÁ, E., ŘEHÁNEK, T. *Povodeň v červenci 1997 – impuls k rozvoji předpovědní povodňové služby.* In: Daňhelka, J., Elleder, L. (Eds.): Vybrané kapitoly z historie hydrologické služby a povodní na území České republiky, ČHMÚ, Praha, 2012, str. 163–169.

[4] HARLACHER, A. R., RICHTER, H. *Ueber ein Verfahren zur Vorherbestimmung des Wasserstandes der Elbe in Böhmen und Sachsen,* Zeitschrift für Bauwesen, Jahrgang XXXVII., 1887, s. 600–606.

[5] ŠERCL, P., DAŇHELKA, J., BŘEZKOVÁ, L., JANÁL, P., NOVÁK, P., KYZNAROVÁ, H. *Možnosti predikce přívalových povodní v podmínkách České republiky.* Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu, svazek 60, ČHMÚ, Praha, 50 str.

[6] ABBOT, J., MAROHASY, J. *Skilful rainfall forecasts from artificial neural networks with long duration series and single-month optimization.* Atmospheric Research, 197 (2017), pp. 289–299.

ROZVOJ MATEMATICKÉHO MODELOVÁNÍ NA POVODÍ MORAVY OD ROKU 1997

Jan Špatka[1], **Antonín Tůma**[2], **Pavel Bíza**[2], **Vladislav Gimun**[2]

[1]*DHI, a.s., Na Vrších 1490/5, 100 00 Praha 10, tel. +420 267 227 111, j.spatka@dhi.cz*
[2]*Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno, tel. +420 541 637 111*

Abstrakt

Katastrofální povodeň, která před 20-ti lety zasáhla prakticky celé povodí Moravy, byla extrémní přírodní katastrofou a jako taková především způsobila obrovské škody. Tato povodeň z roku 1997 ale také inicializovala mnoho následných aktivit a projektů, které byly zaměřeny na zlepšení stávající situace protipovodňové ochrany. Jedním z takovýchto projektů byl také mezinárodní projekt s názvem „Flood Management in the Czech Republic", který byla zaměřen na přenos technologií a know-how matematického modelování a odstartoval dlouhodobou spolupráci v oboru hydroinformatiky. Výsledkem byly jedny z prvních rozsáhlých hydraulických studií, které jsou v dnešní době naprosto automatickou a samozřejmou součástí všech podstatných vodohospodářských rozhodnutí. Tento článek není zaměřen pouze na studie a modely, které vznikly v rámci již zmíněného mezinárodního projektu mezi Českou Republikou a Dánským Královstvím, ale popisuje vývoj v oblasti matematického modelování v podniku Povodí Moravy za období od roku 1997 až dodnes.

Klíčová slova: *matematické modelování; protipovodňová ochrana; hydraulické studie; převod know-how.*

Abstract

The catastrophic flood, which 20 years ago hit the whole area of Morava river basin, was an extreme natural disaster which caused great damages. But the same flood also initiated many follow-up activities and projects aimed at improving the current flood protection situation. One of these projects was also an international project entitled „Flood Management in the Czech Repblic", which focused on transfer of technology and know-how of mathematical modeling. The project initiated a long-term cooperation in the field of hydroinformatics. The result was one of the first large-scale hydraulic studies, which are nowadays automatic and mandatory part of all essential water management decisions. This article is not only about the studies and models that were created within the framework of the above mentioned project between Czech Republic and the Kingdom of Denmark, but it describes the development in the field of mathematical modeling in the Morava Water board in the period from 1997 until today.

Keywords: *mathematical modelling; flood protection; hydrological studies; transfer of know-how.*

Úvod

Tento článek se zabývá rozvojem aplikovaného matematického modelování na Povodí Moravy za posledních 20 let. Je tedy vhodné nejdříve specifikovat pojem matematického modelování v kontextu práce vodního hospodářství.

Matematické modely ve vodním hospodářství jsou praktické nástroje, které umožňují spočítat chování vodohospodářského systému (řeka, povodí, objekty na toku, …) při různých hydrologických stavech (povodeň, normální stav, sucho, …). Matematické modely jsou velmi flexibilní nástroj, který umožňuje také doplnit model stávajícího stavu o předpokládané nebo navrhované úpravy a následně posoudit jejich vliv na průtokové poměry ještě před jejich realizací. Toto je také hlavní účel využívání matematických modelů při projektování úprav toků, návrhů protipovodňových opatření, úpravy manipulací na objektech a dalších zásahů do vodního režimu. Navržená opatření se před jejich detailní projekcí a následnou realizací nejdříve posoudí matematickým modelem a případně se jejich návrh upraví tak, aby výsledná realizace takovéhoto opatření plnila svůj účel s optimalizovanými náklady a minimalizací případných nežádoucích vedlejších vlivů.

V dnešní době je vyžití matematických modelů ve vodohospodářské praxi naprosto běžným způsobem pro stanovování rozsahu záplavových území, návrhu protipovodňových opatření, optimalizaci hospodaření s vodou, analýze scénářů kvality vody, kvantifikaci jevů transportu sedimentů, optimalizaci energetického využití vodního potenciálu, při studiích plavby na tocích a mnoha dalších odvětvích vodního hospodářství. Před 20-ti lety tomu však tak nebylo a využívání matematických modelů bylo spíše ojedinělé.

1997

V červnu roku 1997 byl dokončen pravděpodobně první ucelený projekt matematického modelu na řece Vltavě v Praze pro podnik Povodí Vltavy. Byl to 1D matematický model zahrnující celé území hlavního města Prahy a úseku Vltavy nad a pod Prahou. Na tomto modelu se intenzivně pracovalo již od roku 1995 a jeho cílem bylo stanovení rozsahu záplavového území v Praze v případě katastrofální povodně z roku 1898 a návrhu systému protipovodňové ochrany Prahy. Jak již bylo zmíněno, tento model byl dokončen v červnu 1997 a o necelý měsíc později z příčiny neobyčejně intenzivních srážek přišly ničivé povodně na celé povodí Moravy a Odry.

Jelikož v tomto území nebyla historická zkušenost s takto extrémní povodňovou událostí, neexistovala ani matematická simulace takovéto povodně a tudíž zasažené území nebylo na takovouto situaci připravené, byly následky povodně opravdu ničivé. Během záplav v červenci 1997 zemřelo 49 osob a škody byly odhadnuty na 62,2 miliard korun. V mnoha případech povodňových škod by přitom stačilo, kdyby zasažené objekty měly zpracovaný povodňový a evakuační plán, měly informaci o možném rozsahu záplavy a případně i jistý způsob varování na přicházející situaci a právě k těmto

účelům by mohl velmi dobře posloužit právě matematický model – podobný jaký byl zpracován pro město Prahu.

Vznik projektu „Flood Management in the Czech Republic"

Bezprostředně po povodni z července 1997 se začal formovat projektový záměr, který byl iniciován Dánskou vládou (Danish Environmental Protection Agency). Cílem tohoto projektu mělo být především přenos nejmodernějších technologií matematického modelování a vyškolení místních expertů pro jejich použití a aplikaci při běžném provozu.

S ohledem na právě proběhlou katastrofickou povodeň na území povodí řeky Moravy a Odry byly nakonec zrealizovány dva téměř identické projekty. Jeden pro Českou republiku a povodí řeky Moravy a druhý pro Polskou republiku a povodí řeky Odry.

Projekty měly za cíl nejen dodávku technologie – tedy nástrojů pro matematické modelování, ale také zaškolení lokáních expertů – tedy přenos know-how. Je třeba připomenout, že tou nejpodstatnější částí tohoto projektu byl právě přenos know-how, který byl navržen jako on-job training při stavbě a kalibraci matematického modelu říčního systému povodí Moravy a Bečvy.

Pro realizaci byla vybrána Dánská společnost Dánský Hydraulický Institut, která celý projekt zaštítila a s pomocí lokální pobočky v ČR (v té době společností Hydroinform s.r.o.) tento projekt zrealizovala.

Projekt byl nakonec zrealizován v základním týmu DHI DK, Povodí Moravy a Hydroinform v období květen 1998 – září 1999 a jeho finanční příspěvek byl ve výši cca 4 mil. DKK (tehdy cca 20 mil CZK).

Z důvodu velkého úspěchu výstupů tohoto projektu byl tento projekt rozšířen o jeho druhou etapu, která probíhala v období od ledna 2000 do prosince 2001. Finanční podpora druhé etapy tohoto projektu byla v rozsahu cca 5,6 mil DKK a rozsah projektu byl doplněn o povodí toku Dědiny v působnosti podniku Povodí Labe a zástupce tohoto podniku Povodí na přenosu technologie a know-how matematického modelování.

Projektový tým a způsob realizace projektu a přenos technologie na pracoviště PM

Součástí projektového týmu byli 3 pracovníci Povodí Moravy (Antonín Tůma, Pavel Bíza a Vladislav Gimun), zástupce ČHMÚ (Petr Šercl) a zástupce Hydroinform (Jan Špatka). Projekt byl veden za strany DHI DK velmi zkušeným projektovým managerem Hans Christian Ammentorp a jeho kolegy. Tento základní projektový tým byl doplněn o zástupce dalších podniků povodí v ČR, zástupcem VÚV TGM a také zástupcem společnosti Aquatis a.s..

Projekt byl realizován formou několika 3-týdenních pracovních workshopů, které probíhaly střídavě v České republice a v Dánsku. Součástí workshopů v České republice byl především sběr informací a dat, zatímco součástí prací v Dánsku byla především práce na sesbíraných datech, stavbě matematických modelů, jejich kalibrace a analýzy.

Stavba modelů probíhala vždy jako interaktivní výuka na reálném příkladu a byla vedená zkušenými odborníky z Dánského Hydraulického Institutu, kteří měli bohatou zkušenost nejen s aplikací matematických modelů, ale také se základním výzkumem a vývojem matematických modelů.

Je třeba zmínit, že zástupci Povodí Moravy a především Ing. Gimun, nebyli v oblasti matematického modelování úplnými nováčky - již měli dřívější zkušenost s touto technologií, avšak realizace takto rozsáhlého projektu za podpory zkušených kolegů z Dánska byl velmi podstatným impulsem pro další rozšíření této technologie do denní praxe na Povodí Moravy.

Přenos technologie na pracoviště Povodí Moravy v Brně byl zajištěn instalací kompletního balíku modelovacího software Mike 11, který je, společně se získanými zkušenostmi a odborností, aktivně využíván až dodnes.

Cíle a výstupy projektu a jeho přínos pro protipovodňové plánování na Povodí Moravy

Základní cíle tohoto projektu v první fázi byly:
- Přenos technologií (transfer know-how)
- Vytvoření povodňového modelu Moravy a Bečvy
- Definice záplavových území
- Posouzení základních 4 scénářů protipovodňových opatření

V rámci druhé fáze byly cíle doplněny o:
- Posouzení cca 12-ti alternativních kombinací PPO, které vyšly jako kombinace opatření z první fáze projektu
- Cost-benefit analýzy navržených scénářů PPO
- 1D Studie transportu sedimentů na Bečvě a vliv navrhované protipovodňové nádrže v Teplicích
- 2D modelování morfologických změn na soutoku Moravy a Dřevnice

Na území povodí řeky Moravy byly zpracovávané modely pro následující toky:
- Morava od soutoku s Dyjí až po Hanušovice – celkem 255 km říční sítě
- Bečva od soutoku s Moravou až po Valašské Meziříčí – 61 km
- Desná od soutoku s Moravou po Mertu – 20 km
- Dřevnice od soutoku s Moravou po Lutonínku – 22 km
- Celková výměra zatopených ploch povodí – 650 km^2
- Celková plocha povodí pro zpracování hydrologických (srážko-odtokových) modelů – 9 700 km^2

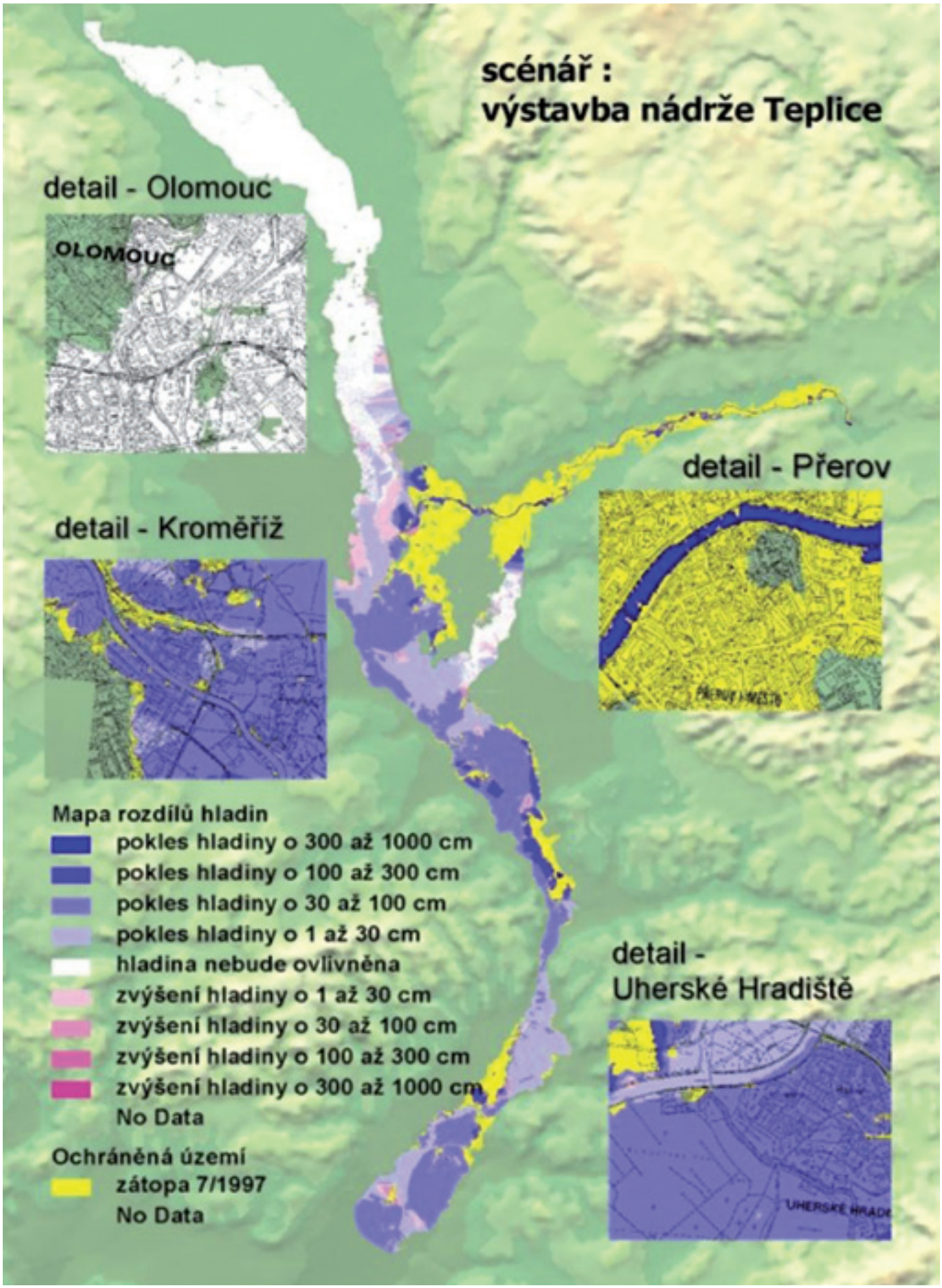
Z výše uvedeného výčtu aktivit a rozsahu modelů, které byly v rámci tohoto projektu sestaveny je zřejmé, že se jednalo o skutečně velice rozsáhlý projekt jak z hlediska získaných výsledků tak také z hlediska získaných znalostí a expertízy všech zúčastněných expertů z ČR. Výsledky tohoto projektu byly použity bezprostředně po ukončení projektu jako argumentace pro schvalování úvěru od Evropské Banky na získání prostředků pro realizaci nejefektivnějších protipovodňových opatření, které byly tímto projektem identifikovány.

Do dnešního dne jsou výsledky tohoto projektu aktivně využívány v rámci každodenní práce podniku Povodí Moravy a i přes nezbytné aktualizace a doplnění, které proběhly do dnešního dne, se jedná o nejucelenější dílo studie protipovodňových opatření, které bylo v tomto rozsahu v České Republice realizované.

Výsledky a diskuse

Celý průběh a výsledky tohoto, bezmála 4-letého, projektu přinesly do denní praxe podniku Povodí Moravy velmi silný nástroj a expertizu pro optimalizaci nákladů při návrhu a posuzování investičních akcí na tocích.

Výsledky, které byly v rámci projektu vytvořeny, převyšovaly svou komplexností veškeré do té doby realizované studie v ČR a to jak do rozsahu zájmového území, tak do komplexnosti zpracování a posouzení výsledků. Některé metody, které byly v rámci realizace projektu využity, byly podkladem pro nové způsoby vyhodnocování protipovodňových opatření, které jsou dodnes nepřekonané.



Obrázek 1. Výsledky posouzení Varianty „D“ – vliv nádrže Teplice

Komplexností zpracování lze hovořit o zcela novém způsobu řešení, které zahrnovalo sběr dat, stavbu a kalibraci hydrologických i hydraulických matematických modelů, stanovení záplavových území, návrh způsobů protipovodňové ochrany, hydraulické posouzení jednotlivých návrhů PPO doplněných finanční analýzou a posouzením cost-benefit analýzy jednotlivých scénářů opatření, prioritizace navržených způsobů protipovodňové ochrany, jejich projednání s veřejností a zpracování kompletní a detailní žádosti o dotační prostředky na realizaci opatření. Z tohoto hlediska se jednalo o první a značně nadčasový způsob zpracování podkladové dokumentace pro návrhy PPO, která nebyla obvyklá ani ve vyspělých státech západní Evropy.

Rozsahem předání know-how se tento projekt může směle řadit mezi takové projekty, kdy byla efektivně předána skutečně široká škála vědomostí a zkušeností v oblasti matematického modelování do praktického užití. Vždyť mimo komplexní znalosti stavby a kalibrace hydrologických (srážko-odtokových) a hydraulických modelů, včetně komplexní znalosti práce s objekty na tocích, tzv. control structures, dam breaks a dalšími se tento projekt věnoval také problematice matematického modelování transportu sedimentů a 2D matematickému modelování morfologických změn na soutoku dvou řek. V rámci realizace projektu se všichni zúčastnění pracovníci věnovali také využití GIS nástrojů pro analýzu a zpracování výsledků, porovnání vlivu jednotlivých opatření a tvorby mapových výsledků vykreslujících dosažené výsledky.

Složením týmu, který zahrnoval zástupce jednotlivých podniků povodí (především povodí Moravy, Odry a Labe), ČHMÚ, VÚV TGM a Aquatis bylo dosaženo toho, že tato znalost nezůstala izolovaná pouze na podniku Povodí Moravy, ale byla rozšířena prakticky do celého spektra klíčových organizací aktivně činných ve vodním hospodářství v ČR. Tato mezioborová a meziresortová spolupráce na projektu přinesla mnoho důležitých poznání a utužila velmi důležité osobní vztahy mezi jednotlivými účastníky a podniky. Přínos tohoto projektu byl podstatný také v oblasti vzájemného pochopení potřeb jednotlivých článků v procesu sběru a zpracování dat a jejich využití pro další zpracování.

Na základě výstupů z tohoto projektu vznikla na podniku Povodí Moravy, pod vedením Ing. Gimuna skupina matematického modelování, která na výstupech z tohoto projektu řešila stovky dalších studií a projektů s využitím zkušeností a znalostí získaných v průběhu řešení tohoto projektu.

Závěr

Bezprostředně po povodni v červenci 1997 byl nastartován mezinárodní projekt s názvem „Flood Management in the Czech Republic“, který byl zaměřen na přenos technologie a know-how matematického modelování do České Republiky. V rámci tohoto projektu vzniklo dílo, které svým rozsahem a obsahem vysoce převyšovalo tehdejší standardy využívání matematického modelování ve vodohospodářské praxi v České Republice a které výrazně ovlivnilo přístup k této moderní technologii a to nejen na Povodí Moravy ale v celé ČR.

Zkušenosti a znalosti získané v průběhu realizace tohoto projektu vedly k založení samostatného oddělení matematického modelování a hydroinformatiky na Povodí Moravy a byly a stále jsou aktivně využívány a rozšiřovány v rámci každodenní činnosti podniku Povodí Moravy až dodnes. Je jen velice málo specifických oblastí matematického modelování, které v současné době oddělení matematického modelování podniku Povodí Moravy aktivně neovládá a nevyužívá.

Závěrem lze tedy říci, že katastrofická povodeň z července 1997 paradoxně posunula podnik Povodí Moravy na přední místo v aktivním využívání matematických modelů pro plánování, prevenci a protipovodňovou ochranu.

Poděkování

Nejdříve a především bych chtěl poděkovat panu Vladislavu Gimunovi z podniku Povodí Moravy, bez jehož aktivního a naprosto profesionálního a zapáleného přístupu by tento projekt nikdy neskončil takovým úspěchem, a bez kterého by práce na jednotlivých projektových workshopech byla jen intenzivní pracovní rutina a dril. Díky Laďo za to co jsi pro projekt a pro Povodí Moravy udělal.

Druhé poděkování patří panu Hansovi Christianu Ammentorpovi z DHI DK, který dokázal svým vysoce profesionálním a zapáleným přístupem zaujmout všechny členy řešitelského kolektivu a udržet opravdu vysokou profesionální úroveň průběhu a výsledků celého projektu a současně se dokázal aktivně zapojit i do mimopracovních aktivit projektu.

Třetí poděkování patří všem ostatním partnerům projektu, kteří se aktivně podíleli na jeho řešení a kteří měli obrovský podíl na úspěchu celého projektu a to jak po profesionální tak po lidské stránce – díky za mnohá nová přátelství, která díky tomuto projektu vznikla.

A nakonec musím poděkovat panu Evženu Zemanovi, bez kterého by tento projekt asi vůbec nevzniknul.

JAKÉ CHTĚJÍ OBČANÉ ČR VODNÍ NÁDRŽE A KOLIK JSOU OCHOTNÍ ZA NĚ ZAPLATIT?

Vojtěch Máca, Milan Ščasný, Iva Zvěřinová

Univerzita Karlova, Centrum pro otázky životního prostředí, José Martího 2, 162 00 Praha 6, tel. +420 220 199 478, vojtech.maca@czp.cuni.cz

Abstrakt

Dotazníkové šetření na reprezentativním vzorku obyvatel ČR ukazuje, většina domácností by byla ochotna podpořit výstavbu alespoň části nových přehrad navržených v Generelu LAPV. Ochota podpořit výstavbu nových přehrad formou vyššího vodného však mezi respondenty klesá s rostoucím počtem přehrad a klesá i v případě, pokud přehrady nebudou zároveň využity pro výrobu elektřiny. Nejvyšší ochota platit byla za 20 přehrad (v průměru 822 Kč za domácnost a měsíc) a nejnižší za 120 přehrad (397 Kč za domácnost a měsíc). Za v současnosti zvažovaný plán výstavby 65 nových přehrad by české domácnosti byly ochotny zaplatit průměrně 568 Kč za měsíc, tedy celkem za všechny české domácnosti přibližně 27 mld. Kč za rok. Tato hodnota je využitelná pro politické rozhodování o výši prostředků alokovaných na výstavbu přehrad, ale nezohledňuje možné vedlejší využití těchto přehrad.

Klíčová slova: *výběrový experiment; ochota platit; Generel LAPV; adaptace na změnu klimatu.*

Abstract

A household survey conducted on a representative sample of the Czech population shows the prevailing preference for a construction of (at least some of) new dams proposed in the Master Plan of Sites Protected for Accumulation of Surface Water. The support expressed as willingness to pay decreases with the increasing number of dams and also decreases if these dams are not used for the production of electricity. The highest willingness to pay was for a plan with 20 dams (CZK 822 per household and month) and the lowest for 120 dams (CZK 397 per month). For the construction of 65 new dams the average willingness to pay was CZK 568 per month, which – summed to all Czech households – amounts to CZK 27 billion per year. This value is relevant for policy makers when considering what budget may be allocated for construction of such dams but does not take into account possible secondary uses.

Keywords: *discrete choice experiment; willingness to pay; Master Plan of Sites Protected for Accumulation of Surface Water; climate change adaptation.*

Úvod

Jedním z adaptačních opatření pro snížení nepříznivých účinků povodní a sucha má být Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod (tzv. Generel LAPV) [1]. Platný vodní zákon území chráněná pro akumulaci povrchových vod v § 28a definuje jako „plochy morfologicky, geologicky a hydrologicky vhodné pro akumulaci povrchových vod pro snížení nepříznivých účinků povodní a sucha“ [2], které se vymezují v celorepublikové Politice územního rozvoje a v územně plánovací dokumentaci (mj. krajské zásady územního rozvoje a územní plány obcí), přičemž podkladem pro ně je právě Generel LAPV pořízený Ministerstvem zemědělství v dohodě s Ministerstvem životního prostředí. Ochrana těchto území spočívá primárně v omezení možnosti využívat tato území způsoby, které by znemožňovaly nebo podstatně omezovaly budoucí využití pro akumulaci povrchových vod.

Tato ochrana s sebou ovšem nese i omezení hospodářského rozvoje obcí, často i odmítavé postoje místních obyvatel jak k těmto omezením, tak i k případné realizaci [3,4]. Výběr lokalit – i přes podstatnou redukci jejich počtu oproti dřívějšímu Směrnému vodohospodářskému plánu – je často problematický i z hlediska zájmů ochrany přírody a krajiny [5].

Cílem tohoto příspěvku je představení vybraných výsledků studie přijatelnosti adaptačních opatření na změnu klimatu, konkrétně scénáře s realizací většího počtu přehradních nádrží, s využitím kontextu schváleného Generelu LAPV a již delší dobu v různé míře veřejně diskutované možné aktualizace generelu, včetně varianty rozšíření počtu chráněných lokalit.

Materiál a metody

Za účelem zjistit přijatelnost a ochotu nést zvýšené náklady byla v dotazníkovém šetření využita metoda výběrového experimentu. Jedná se o jednu z metod netržního oceňování založených na vyjádřených preferencích [6]. Tato metoda vychází z teoretického rámce ekonomického modelu náhodného užitku [7] a staví na atributové teorii, podle níž je užitek z určitého statku určen jeho atributy, tedy že při rozhodování respondentů ve výběrovém experimentu je jejich volba determinována atributy té které nabízené alternativy.

Ve scénáři výběrového experimentu byl respondentům představen plán výstavby nových přehradních nádrží (jako možné varianty aktualizace Generelu LAPV) jako adaptační opatření na přizpůsobení se zvýšenému riziku povodní a sucha v příštích 50 až 100 letech. Pro nastínění problematiky byl připojen krátký přehled epizod sucha resp. povodní v ČR v posledních 20 letech, zároveň byly zmíněny i nejčastější argumenty pro a proti stavbě a provozu přehrad.

Podle navrženého scénáře by tyto přehrady měly plnit jednu ze dvou hlavních funkcí – buď vytvořit či doplnit zdroje pro zásobování vodou nebo chránit obyvatele a majetek před povodněmi; podíl těchto funkcí byl vždy 100 %. V první ze dvou variant experimentu pak byly uvedeny i možné další účely – výroba elektřiny a rekreační využití.

Respondentům byl poté popsán platební mechanismus – úhrada nákladů realizace plánů přehrad prostřednictvím zvýšení ceny vody (vodného), tedy zvýšení nákladů domácností. Následně byla představena výběrová karta experimentu, která umožňovala volbu mezi plánem nových přehrad a současným stavem (tj. bez realizace plánu).

Dle varianty experimentu bylo uvedeno 4 nebo 6 charakteristik plánů – v první variantě figuroval i podíl využití přehrad pro další účely – výrobu elektřiny a rekreaci, ve druhé byly pouze

Tabulka 1. Charakteristiky výběrového experimentu a jejich úrovně

charakteristiky plánů	úrovně
počet nových přehrad	20, 30, 45, 65, 100, 120
– z toho pro zásobování vodou (x %)	0 %, 30 %, 70 %, 100 %
– z toho pro ochranu před povodněmi (100 % – x %)	0 %, 30 %, 70 %, 100 %
možnost rekreačního využití (*pouze varianta 1*)	0 %, 30 %, 70 %, 100 %
využití pro výrobu elektřiny (*pouze varianta 1*)	0 %, 30 %, 70 %, 100 %
měsíční zvýšení vodného (v Kč za domácnost)	100 Kč, 250 Kč, 400 Kč, 600 Kč, 800 Kč

Tabulka 2. Odhady regresních koeficientů z panelového probit modelu

	varianta 1			varianta 2		
	koeficient		sm. chyba	koeficient		sm. chyba
konstanta (¥)	0.8452	***	0.0857	1.4541	***	0.1078
počet přehrad = 30	-0.0383		0.0801	-0.2202	*	0.1011
počet přehrad = 45	-0.0354		0.0766	-0.3038	**	0.1010
počet přehrad = 65	-0.1770	**	0.0661	-0.4492	***	0.0978
počet přehrad = 100	-0.1753	**	0.0619	-0.7310	***	0.1001
počet přehrad = 120	-0.1320	*	0.0584	-0.7522	***	0.1021
hl. účel – zásob. vodou (1 % přehrad)	0.0001		0.0005	0.0013		0.0008
vedl. účel – elektřina (1 % přehrad)	0.0013	**	0.0004			
vedl. účel – rekreace (1 % přehrad)	-0.0009	*	0.0004			
náklady plánu	-0.0013	***	0.0001	-0.0018	***	0.0001
sigma	1.34	***	0.0453	1.44	***	0.0781
rho	0.57			0.57		
N	1417			842		
log-likelihood	-5058.9			-1964.7		

*Pozn.: ¥ v konstantě je jako základní stav počet přehrad=20 s 0% využitím pro zásobování vodou a bez jakéhokoliv vedlejšího využití. Hladiny statistické významnosti: ***<0.001, **<0.01, *<0.05*

Tabulka 3. Ochota platit (Kč/měsíc/domácnost; při předpokladu 50% využití pro rekreaci ve variantě 1)

počet přehrad v navrženém plánu	varianta 1				varianta 2
podíl přehrad s výrobou elektřiny	*0 %*	*30 %*	*70 %*	*100 %*	–
20	595 (*)	624 (*)	662 (*)	691 (*)	822
30					698
45					650
65	478 (*)	507 (*)	546 (*)	575 (*)	568
100					409
120	512	541	580	609	397

*Pozn.: * rozdíl mezi odhady pro plány s 20, 30 a 45 přehradami a mezi plány s 65 a 100 přehradami není ve variantě 1 výběrového experimentu statisticky signifikantní.*

podíly hlavních účelů. Úrovně jednotlivých charakteristik plánů byly nastaveny na základě předchozího testování a do jednotlivých výběrových situací dosazeny na základě D-efektivního designu (použité úrovně uvádí Tabulka 1).

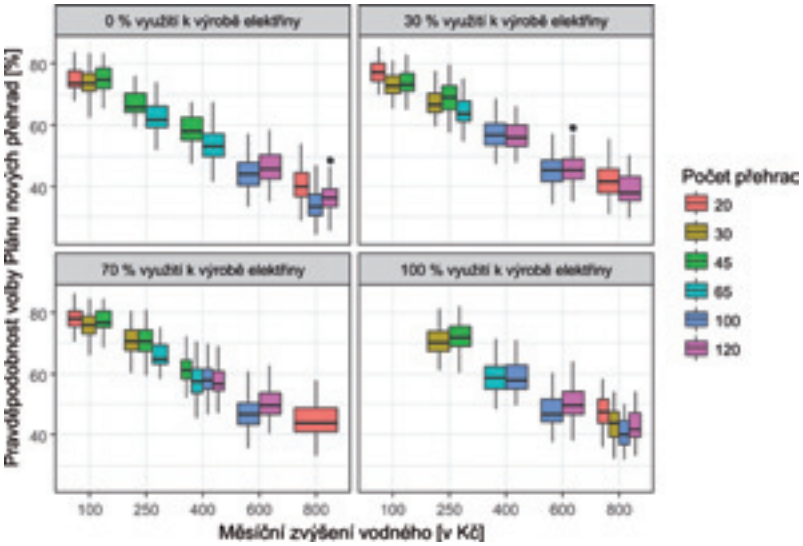
Každý respondent provedl 6 (ve variantě 1) resp. 4 (ve variantě 2) navzájem nepodmíněných voleb s různými úrovněmi jednotlivých charakteristik plánu realizace přehrad a vždy měl na výběr mezi realizací plánu a zachováním současného stavu.

Sběr dat v dotazníkovém šetření byl realizován na jaře 2016 na reprezentativním vzorku obyvatel ČR prostřednictvím webového dotazníku zaslaného respondentům vybraným agenturou Nielsen Admosphere, a.s., z Českého národního panelu.

V ekonometrické analýze byly odpovědi respondentů z výběrových experimentů vyhodnoceny pomocí panelové probit regrese v statistickém programu R [8] s využitím balíčku mlogit [9]. Probit je druhem lineární regrese, kdy je vysvětlována binární proměnná, tj. v našem případě volba mezi plánem výstavby přehrad a zachováním současného stavu. Vzhledem k tomu, že každý respondent odpovídal na 4 nebo 6 rozhodovacích situací, je vhodné rovněž odlišit efekt jednotlivce od efektu jednotlivých úrovní charakteristik v každé rozhodovací situaci, což umožňuje právě použití panelové regrese (tj. vícero pozorování od jednoho subjektu).

Výsledky a diskuse

V první variantě výběrového experimentu byly získány kompletně vyplněné dotazníky od 1594 respondentů, ve druhé variantě od 968 respondentů. V rámci kontroly dat bylo identifikováno 81 respondentů v první a 50 respondentů ve druhé variantě, kteří dotazník vyplnili za méně než 48 % mediánového času a velmi pravděpodobně dotazníku nevěnovali náležitou pozornost – tyto



Graf 1. Predikce volby plánu výstavby přehrad ve variantě 1 výběrového experimentu

odpovědi nebyly do analýzy zahrnuty. Rovněž do analýzy dat nebyly zahrnuty odpovědi těch respondentů, kteří projevovali nesouhlas s hypotetickým scénářem či některými jeho předpoklady (typicky, že dodatečně vybrané finanční prostředky budou skutečně využity na realizaci plánu). Vyřazeny z další analýzy proto byly odpovědi těch respondentů, kteří ve všech volbách zvolili „současný stav" (96 respondentů ve Variantě 1 a 76 respondentů ve Variantě 2) a současně jako hlavní důvod své volby zvolili takový, který indikoval nesouhlas s výběrovou situací (protestní volba), nikoli cílenou volbu stávajícího stavu. Jako protestní volba byla klasifikována nedůvěra k informacím poskytnutým v dotazníku, v uskutečnění plánu či ve využití peněz na výstavbu přehrad.

Pro každou variantu výběrového experimentu je představen jeden model diskrétní volby, v němž jsou zahrnuty pouze představené charakteristiky plánu, další modely se zahrnutím vybraných socioekonomických charakteristik respondentů jsou uvedeny v souhrnné zprávě z výzkumu [10]. V souhrnu by plán nových přehrad oproti zachování současného stavu volilo bezmála 60 % respondentů. Odhady regresních koeficientů panelového probitu pro za každou variantu představuje Tabulka 2.

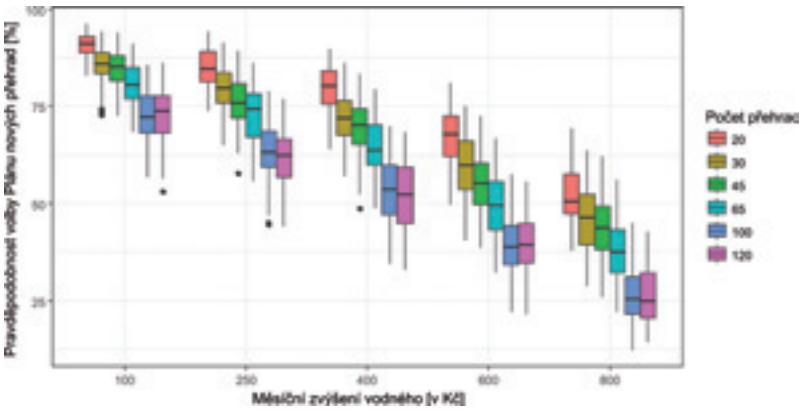
Výsledky modelu diskrétní volby pro variantu 1 výběrového experimentu ukazují, že respondenti jsou převážně ochotni nést vyšší výdaje za vodné na úhradu plánu výstavby nových přehrad a že pravděpodobnost volby plánu nových přehrad není statisticky významně odlišná mezi plány s 20, 30 či 45 přehradami, s vyšším počtem plánovaných přehrad však pravděpodobnost volby plánu klesá. Volbu plánu nových přehrad prakticky neovlivňuje, jaký je podíl účelů (pro zásobování vodou nebo pro ochranu mezi povodněmi), respondenti tedy pravděpodobně nemají jednoznačnou preferenci pro jeden z těchto účelů oproti tomu druhému. Naopak větší využití přehrad pro výrobu elektřiny zvyšuje pravděpodobnost volby plánu nových přehrad, tj. respondenti preferují tento způsob vedlejšího využití přehrad, zatímco větší možnost využití pro rekreaci pravděpodobnost volby plánu nových přehrad snižuje; efekty těchto dvou účelů jsou přitom srovnatelné velké. Pravděpodobnost volby plánu nových přehrad klesá se zvýšením nákladů plánu pro domácnost. To je v souladu s předpoklady vycházejícími z ekonomické teorie a potvrzuje to i validitu modelu.

Nenulový parametr rho (vyjadřuje podíl rozptylu na úrovni panelu na celkovém rozptylu odhadu modelu) naznačuje, že panelový model má lepší vypovídací schopnost než by měl model spojených dat.

Vztah mezi volbou plánu nových přehrad, počtem přehrad a jejich využitím pro výrobu elektřiny přibližují následující grafy znázorňující predikci modelu diskrétní volby pro variantu 1. Na ose x jsou vyneseny měsíční náklady plánu pro domácnost, na ose y je vynesena pravděpodobnost volby tohoto plánu, barevně je odlišen počet přehrad v navrhovaném plánu a jednotlivé grafy se liší podílem využití přehrad pro výrobu elektřiny (0 %, 30 %, 70 %, 100 %). [Graf 1].

Výsledky modelu diskrétní volby pro variantu 2 výběrového experimentu, tedy scénáře bez uvedení vedlejších využití přehrad pro výrobu elektřiny nebo pro rekreaci v zásadě potvrzují odhady z modelu pro variantu 1. Podíl hlavních účelů opět není statisticky významný, což podtrhuje domněnku, že respondenti nedávají jednoznačnou přednost ochraně před povodněmi před zajištěním zásobování vodou (či naopak). Oproti variantě 1 se výsledky liší zejména v tom, že pravděpodobnost volby plánu nových přehrad statisticky významně klesá s rostoucím počtem přehrad navržených v novém plánu již od nejnižšího počtu přehrad, jak to ilustruje Graf 2.

Odhadnuté modely diskrétní volby umožňují odvození ochoty platit za různé varianty plánu nových přehrad, jak ukazuje následující tabulka. Ochota platit za nový plán přehrad se pohybuje v rozmezí cca 400–800 Kč za domácnost a měsíc, s rostoucím počtem přehrad v navrženém plánu ochota platit v obou variantách výběrového experimentu klesá, ve variantě 2 je však tento pokles výraznější. Ve variantě 1 ochota platit roste s podílem přehrad, u nichž bude vedlejším využitím výroba elektřiny (ve variantě 2 nebyl tento atribut ve výběrovém experimentu uváděn). [Tabulka 3].



Graf 2. Predikce volby plánu výstavby přehrad ve variantě 2 výběrového experimentu

Závěr

Většina respondentů v obou výběrových experimentech (téměř 60%) projevila ochotu platit vyšší vodné za účelem realizace představených plánů výstavby nových přehrad jako adaptačních opatření na změnu klimatu. S rostoucím počtem přehrad v navrženém plánu však tato ochota platit klesá a klesá i v případě, pokud přehrady nebudou zároveň využity pro výrobu elektřiny. Větší možnost rekreačního využití nových přehrad přijatelnost plánu přehrad naopak snižuje. Průměrná ochota platit za plán nových přehrad se dle varianty a charakteristik plánu pohybuje v rozmezí přibližně 400–800 Kč za měsíc a domácnost, což v kumulativním vyjádření za všechny české domácnosti představuje ochotu platit v rozmezí 20 až 40 mld. Kč za rok.

Ochota platit ve druhé variantě výběrového experimentu zaměřené na počet přehrad a hlavní účely přehrad (zásobování vodou a ochrana před povodněmi) vyjadřuje celkovou (hrubou) hodnotu pro plán výstavby přehrad, přičemž se tato hodnota liší podle počtu přehrad (s rostoucím počtem klesá). Nejvyšší ochotu platit mají respondenti za 20 přehrad (822 Kč za měsíc) a nejnižší za 120 přehrad (397 Kč za měsíc). Za plán výstavby 65 nových přehrad (tj. odpovídající počtu lokalit v Generelu LAPV) by české domácnosti byly ochotny zaplatit průměrně 568 Kč za měsíc, celkem za všechny české domácnosti tedy zhruba 27 mld. Kč za rok. Tato hodnota může být indikativním ukazatelem pro politické rozhodování o výši prostředků alokovaných na výstavbu přehrad, aniž by bylo dále diskutováno vedlejší využití těchto přehrad. Pro odhad velikosti přínosů je zde důležitý počet přehrad.

Výsledné odhady pro první variantu výběrového experimentu vyjadřují spíše čistý efekt počtu přehrad a dodatečné efekty dalšího využití přehrad, které v hodnocení přínosů hrají podstatnou roli. Výroba elektřiny zvyšuje ochotu platit přibližně o 15–20 %, zatímco rekreační využití ochotu platit v obdobném rozsahu snižuje. Zvýšení využití přehrad k výrobě elektřiny o jeden procentní bod zvyšuje ochotu platit přibližně o 1 Kč za měsíc a domácnost, naopak zvýšení využití pro rekreaci o jeden procentní bod ochotu platit o 0,8 Kč za měsíc a domácnost snižuje. To také například znamená, že ochota platit za plán výstavby přehrad při plném využití na výrobu elektřiny a bez rekreačního využití je přibližně o 40% vyšší než ochota platit za stejný plán, který dá přednost 100% rekreačnímu využití a naopak nulovému využití pro výrobu elektřiny.

Poděkování

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

Literatura

[1] Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území. Praha: Ministerstvo zemědělství a Ministerstvo životního prostředí, 2011, 153 s.

[2] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů.

[3] SLAVÍKOVÁ, L., KVĚTOŇ, V. *Představují navržené hájené lokality pro akumulaci povrchových vod omezení pro rozvoj zasažených obcí?* Vodní hospodářství, 2008, č. 3, s. 65–68.

[4] FOREJTNÍKOVÁ, M., OŠLEJŠKOVÁ, J., MORÁVEK, T. *Zvládání sucha a výstavba vodních nádrží v kontextu územního plánování.* VTEI-Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 2015, č. 6, s. 17-23.

[5] FRANKOVÁ L., DOBROVSKÝ P. *Generel lokalit pro akumulaci povrchových vod.* Ochrana přírody, 2009, č. 5, s. 7–9.

[6] DVOŘÁK, A., BRŮHA, J., BRŮHOVÁ-FOLTÝNOVÁ, H., MELICHAR, J., ŠČASNÝ, M. *Kapitoly z ekonomie přírodních zdrojů a oceňování životního prostředí.* Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze, Oeconomica, 1. vyd. 2007. 195 s., ISBN 978-80-245-1253-2.

[7] MCFADDEN, D. *Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior.* In: Zarembka, P. (ed.) Frontiers in Econometrics, 1973. New York: Academic Press. s. 105–142.

[8] R CORE TEAM. R: *A language and environment for statistical computing.* Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016. ISBN 3-900051-07-0, dostupné z http://www.R-project.org/.

[9] CROISSANT, Y. *mlogit: multinomial logit model. R package version 0.2–4,* Université de la Réunion, 2015, dostupné z https://CRAN.R-project.org/package=mlogit.

[10] ŠČASNÝ, M., ZVĚŘINOVÁ, I., MÁCA, V., MARTÍNKOVÁ, Z., HAVRÁNEK, M. *Jaká adaptační opatření Češi upřednostňují? Výzkumná zpráva z dotazníkového šetření postojů a preferencí vůči adaptačním opatřením.* Praha: Univerzita Karlova – Centrum pro otázky životního prostředí, 2016, 83 s., dostupné z https://www.czp.cuni.cz/czp/images/2016/KLIMA.pdf.

PŘÍPRAVA VODNÍCH NÁDRŽÍ VLACHOVICE A SKALIČKA

Antonín Tůma[1], **David Fína**[2]

[1]*Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno, tel. +420 541 637 221, tuma@pmo.cz*
[2]*Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno, tel. +420 541 637 337, fina@pmo.cz*

Abstrakt

Omezená dostupnost vodních zdrojů v České republice, dopady sucha a klimatické změny na naše území stále aktuálněji vyvolávají nezbytnost hospodárného využívání stávajících vodních zdrojů a přípravu nových vodních zdrojů povrchových vod – vodních nádrží. Pouze vodní nádrže se zásobním prostorem jsou využitelné pro hospodaření s povrchovou vodou – akumulovat v zásobních prostorech v době nadbytku povrchové vody a zabezpečovat odběry a minimální zůstatkové průtoky v toku pod vodním dílem v době sucha. Díky vymezeným retenčním prostorům jsou nádrže schopné transformovat i druhý hydrologický extrém a to povodně.

Klíčová slova: *vodní zdroje; vodní nádrž Vlachovice; vodní nádrž Skalička; hospodaření s vodou; protipovodňová ochrana.*

Abstract

The limited availability of water resources in the Czech Republic, the effects of drought and climate change on our territory are still more and more challenging by the need to exploit existing water resources economically and to prepare new water sources of surface water – water reservoirs. Only water reservoirs with effective storage are usable for surface water management – they accumulate water in effective storage at a time of water excess and they provide minimum guaranteed discharge in the river during dry periods. Thanks to the defined flood storage, the reservoirs are capable of transforming the second hydrological extreme – the floods.

Keywords: *water resources; water reservoir Vlachovice; Skalička water reservoir; water management; flood protection.*

Úvod

Česká republika, nazývaná z pohledu odtokových poměrů též střechou Evropy, je závislá v oblasti vodních zdrojů pouze na srážkách. Žádné významné vodní toky do České republiky nepřitékají, a proto Česká republika musí hospodařit s velmi omezenými vodními zdroji. Vodní zdroje podzemních vod slouží převážně k zásobování obyvatelstva pitnou vodou. Tyto zdroje však nestačí k pokrytí potřeb odběrů pitné vody a proto jsou doplněny dodávkou surové vody z povrchových zdrojů – vodárenských nádrží. Omezenost vodních zdrojů, jejich zranitelnost, snížená vydatnost vlivem dlouhodobého sucha vedla vodohospodáře již v minulosti k ochraně území, která by umožnila dalším generacím vybudovat nové vodní nádrže v morfologicky, hydrologicky a geologicky vhodných lokalitách a profilech – v tzv. hájených lokalitách akumulace povrchových vod. V poslední době celá naše společnost vnímá nedostatečnou protipovodňovou ochranu měst a obcí způsobenou větší četností a intenzitou povodňových epizod a bleskových povodní, na druhé straně vlivem dlouhodobého sucha absenci vodních nádrží s dostatečným zásobním prostorem k pokrytí požadavků na odběry vody pro obyvatelstvo, průmysl, zemědělství a zejména závlahy a zabezpečení ekologických podmínek pro vodní živočichy a na vodu vázané ekosystémy. Toto funkci jsou v období dlouhodobého sucha a v období povodní schopny zabezpečit pouze víceúčelové vodní nádrže s dostatečným zásobním a retenčním prostorem. V rámci opatření k zmírnění následků povodní na Bečvě vláda zařadila mezi priority výstavbu nádrže Skalička a v rámci boje se suchem přípravu výstavby nádrže Vlachovice na Zlínsku.

Vodní nádrž Vlachovice

Lokalita Vlachovice je uvažována jako významný vodní zdroj pro posílení zásobování pitnou vodou v území s nedostatkem podzemních zdrojů vody v povodí Vláry, případně v části Zlínska a Uherskohradištska. Dále by umožnila zajistit lokální protipovodňovou ochranu sídel ležících podél řeky pod uvažovanou nádrží a také nadlepšování minimálních průtoků pro zajištění nezbytných ekologických funkcí dolního úseku Vláry.

Lokalitě Vlachovice předcházela od 50. let 20. století („Státní vodohospodářský plán XXVIII – Dolný Váh", r. 1954) lokalita Bohuslavice, tj. profil byl stanoven severně od obce Bohuslavice nad Vláří. Z důvodů zatopení obce Vlachovice a Vrbětice byl v 70. letech profil hráze přesunut výše proti proudu, nad obec Vlachovice („Směrný vodohospodářský plán ČSR", r. 1975). Uvažovaná zatopená plocha měla velikost 241,0 ha a celkový objem 30,2 mil. m^3. Následně („Směrný vodohospodářský plán ČSR", r. 1988) se uvažovalo zvýšení hráze a tím nárůst zatopené plochy na 388,5 ha a celkový objem na 58,6 mil. m^3. Převod vody byl navržen ze Smolinky, a dále Klobouckého potoka a Senice.

Dokument „Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území" z roku 2011, posunuje profil hráze proti proudu, nad soutok se Sviborkou a uvažuje tak zatopenou plochu 156,30 ha. Na něj navazuje technicko-ekonomická studie s názvem „Vlára, vodní dílo Vlachovice" z roku 2015. V této studii jsou uvažovány dvě velikostní varianty o parametrech: zatopená plocha 156,9 ha a celkový objem 18,5 mil. m^3, a zatopená plocha 212,9 ha a celkový objem 29,1 mil. m3. V obou případech je uvažován převod vody ze sousedních toků Smolinka a Sviborka. V současné době probíhá předprojektová příprava.

Vodní dílo Skalička

Lokalita Skalička, uváděna dříve pod názvem Teplice je uvažována jako hlavní protipovodňová ochrana Pobečví. Dále by umožnila nadlepšování minimálních průtoků pro zajištění nezbytných ekologických funkcí a odběrů níže po toku. V neposlední řadě také výrobu elektrické energie a rekreaci.

Jako s klíčovou lokalitou k řešení vodohospodářských poměrů Pomoraví je s VD Teplice poprvé uvažováno v polovině 50. let 20. století („Státní vodohospodářský plán XX – Bečva", r. 1954). Od 70. let je uvažován celkový objem 200,4 mil. m^3, celkový ovladatelný objem 190,4 mil. m^3 a zatopená plocha celkového ovladatelného objemu 1 965,0 ha („Směrný vodohospodářský plán ČSR", r. 1975). Měla

sloužit k ochraně údolí pod nádrží před povodněmi, zásobování průmyslu v údolí Bečvy (Hranice, Lipník nad Bečvou, Přerov), závlahy v Pobečví a Pomoraví, využití vodní energie v průtočné elektrárně, k plavebnímu účelu (v rámci průplavu Dunaj–Odra–Labe boční nádrž nebo přímo na trase) a neméně rekreační využití nádrže. Později („Směrný vodohospodářský plán ČSR", r. 1988) se také uvažovala potřeba chladící voda pro možnou jadernou elektrárnu Blahutovice. Místo uvažovaného VD Spálov bylo variantně uvažováno posílení Teplic převodem vody z Odry a Luhy.

Po roce 2000 se uvažovalo se Suchou nádrží Teplice („Plán oblasti povodí Moravy 2010–2015", „Plán dílčího povodí Moravy a přítoků Váhu 2016–2021" a „Plán pro zvládání povodňových rizik v povodí Dunaje 2016–2021") o velikosti zatopené plochy při max. hladině 700 ha a retenčním objemu při maximální hladině 38,0 mil. m3. V roce 2016 byla zpracována technicko-ekonomická studie s názvem „Bečva, vodní dílo Skalička", která uvažuje se zásobním prostorem v nádrži pro možné nadlepšování Bečvy a případně dalším účelům. Toto vodní dílo má celkový objem o velikosti 42,1 mil. m3. V podstatě se jedná o jednu variantu dispozičního řešení hrázového systému s podvariantami suché nádrže nebo nádrže se zásobním prostorem. V současné době dále probíhá zpracování technicko-ekonomické studie pro tzv. 2. variantu, která vodní dílo řeší jako boční nádrž v levé inundaci řeky Bečvy, a to opět ve dvou podvariantách, suché nádrže nebo nádrže se zásobním prostorem. Tato další koncepce řešení vychází z návrhů nevládních organizací. V prostoru plánované výstavby vodního díla a jeho zátopy probíhá od roku 2016 postupný výkup pozemků.

V návaznosti na projednání záměru vládou budou zahájeny předprojektové práce, jejichž cílem je podrobný průzkum lokality a rozšíření dosavadního souboru informací na základě podrobných technických studií. Současně s tímto bude probíhat majetkoprávní vypořádání s majiteli dotčených pozemků a staveb, samotný proces výkupů pozemků zabere nejméně 6 let. Dobu přípravy lze rámcově odhadnout na 12 až 15 let. Následovat bude čtyřletá vlastní výstavba.

Realizace VD Skalička přinese především ochranu obyvatel Pobečví před povodněmi až takového rozsahu, jako měla povodeň v roce 1997. V tomto roce povodeň způsobila škody na životech i velké škody na majetku. Vedle bezpečnosti obyvatel, žijících v obcích a městech podél Bečvy, přehrada ochrání majetek, který je vypočítán na 6,8 mld. Kč a z hlediska ochrany před povodněmi má chránit přibližně 110 tisíc obyvatel, rozsah chráněného území po soutok s Moravou je 5 800 ha. Dalším důležitým efektem navrhované nádrže je nadlepšování minimálních průtoků v době dlouhodobého sucha na průtok tzv. 330 denní vody. To bude znamenat významné posílení biologických a hygienických funkcí vodního toku, zejména v déle trvajících suchých obdobích, jak tomu bylo např. v roce 2014 a 2015. Rovněž se tím může dosáhnout větší spolehlivosti dodávek pro různé odběratele vody z řeky. To se týká zejména průmyslových odběrů v Přerově a případně i zemědělských odběrů níže pod soutokem na řece Moravě.

Náklady na vlastní výstavbu a přípravu nádrže jsou odhadovány na 3,25 mld. Kč. Samostatnou položku bude tvořit majetkoprávní vypořádání, které jsou odhadovány na 1 mld. Kč.

Předpokládaný termín zahájení realizace 2024, aktuálně schváleno usnesením vlády ze dne 21. prosince 2015 č. 1070.

SOUČASNÝ STAV PŘEDPOVĚDNÍ POVODŇOVÉ SLUŽBY V POVODÍ ŘEKY MORAVY

Petr Janál

Český hydrometeorologický ústav – pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno,
tel. +420 541 421 020, petr.janal@chmi.cz

Abstrakt

Faktorem, který nejvíce ovlivňuje přesnost předpovědi průtoků v našich podmínkách, je chyba předpovídané srážky. Deterministická předpověď, založená pouze na jednom srážkovém scénáři, je zatížena velkým zjednodušením reálného stavu – nejistoty ovlivňující celý proces výpočtu nejsou v takové předpovědi zohledněny. Pokud má ale na základě předpovědi průtoků docházet v průběhu povodní k významným rozhodnutím, je nutné odhadnout míru rizika. To je důvod, proč jsou vyvíjeny nové produkty hydrologické předpovědi jako je pravděpodobností, variantní a stochastická předpověď, které poskytují možnost zahrnout do výpočtů některé nejistoty, které provázejí celý proces tvorby předpovědi průtoků.

Klíčová slova: *hydrologická předpověď; hydrologický model; operativní hydrologie.*

Abstract

The error of the precipitation forecast is usually the main factor that influences the accuracy of the discharge forecast. The deterministic discharge forecast based on one rainfall scenario is a great simplification of the real situation – the indeterminations, which influence the whole calculation process, are not expressed in the final discharge forecast. When significant decisions are to be made according to the discharge forecast, it is necessary to estimate the hazard factor. That is why new hydrological forecasting products such a probabilistic, variant and stochastic forecast are developed to take into account the uncertainties included in the whole forecasting process.

Keywords: *hydrological forecast; hydrological model; operative hydrology.*

Úvod

Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ), který zajišťuje národní hydrologickou službu, denně vydává předpovědi průtoků na 66 hodin dopředu pro více než stovku vodoměrných stanic. V zájmovém území – povodí Moravy – se nachází 25 předpovědních profilů na území České republiky a 3 v zahraničí. Posledním předpovědním profilem je vodoměrná stanice Hohenau an der March resp. Moravský Svätý Ján pod soutokem Moravy a Dyje. Protože se části povodí Moravy nachází v Rakousku a Slovensku, je pro efektivní provoz hlásné a předpovědní povodňové služby (HPPS) nezbytná vzájemná výměna dat a fungující komunikace. Hlavními partnery ČHMÚ při zajišťování HPPS jsou Povodí Moravy s. p. (správa vodních nádrží), dolnorakouská hydrologická služba a Slovenský hydrometeorologický ústav.

Materiál a metody

Hydrologický model

Pro výpočet hydrologických předpovědí v povodí řeky Moravy se na pobočkách ČHMÚ v Brně a Ostravě používá distributivní srážkoodtokový model HYDROG [7]. Modely tohoto typu jsou schopné pracovat s časovým i prostorovým rozdělením vstupních dat jako jsou srážkové úhrny, teploty a sněhová pokrývka. Současné hydrologické modely jsou schopny simulovat srážkoodtokový proces s dostačující přesností, úspěšnost hydrologické předpovědi závisí především na kvalitě vstupních dat (v horních částech povodí zejména na přesnosti předpovídané srážky).

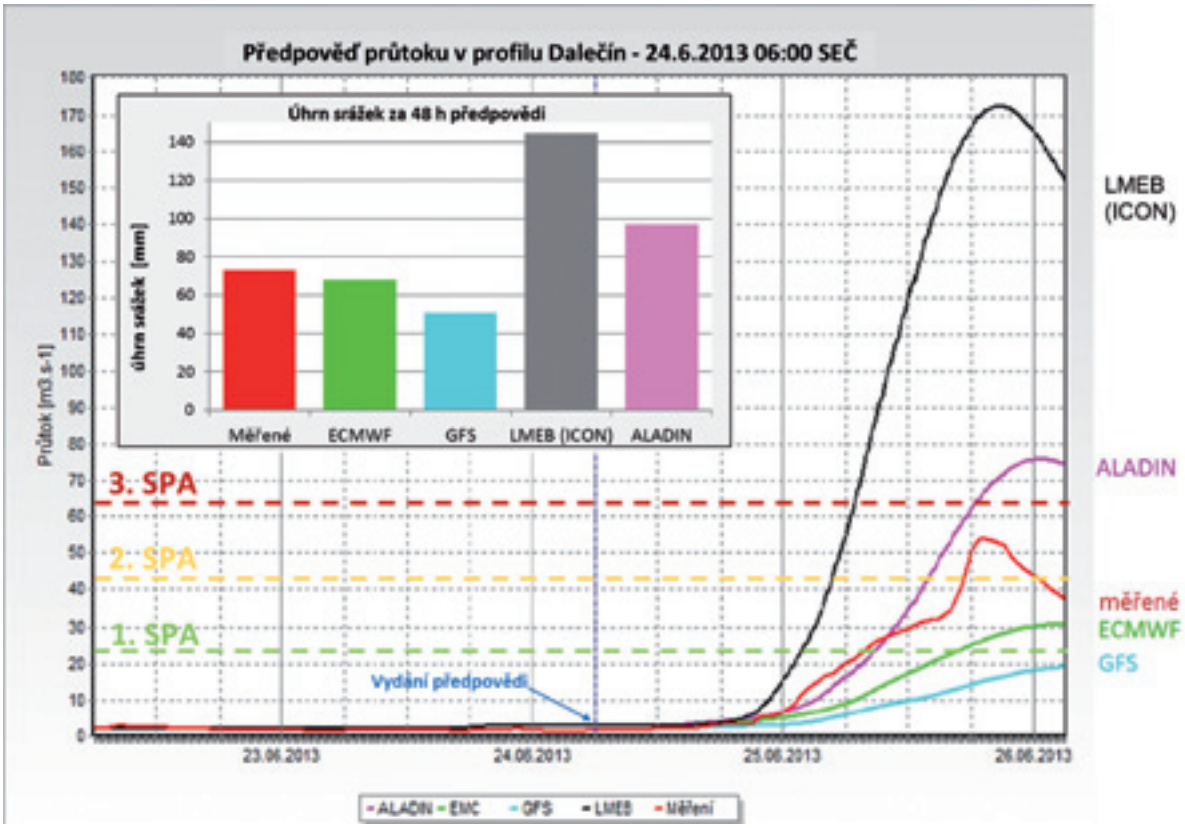
Vstupní data

Kvalitní a věrohodná vstupní data jsou základem operativní hydrologie. Nejistotám na vstupních datech se však nelze vyhnout, proto by při výpočtu hydrologického modelu měly být brány v úvahu odhadované chyby měřených i předpovídaných vstupů. Dalším požadavkem je udržet transparentnost vstupních dat v celém procesu tak, aby bylo možné je v případě potřeby odpovídajícím způsobem upravovat. V praxi je to často zapotřebí např. u vodní hodnoty a výšky sněhu, kdy interpolované hodnoty nemusí vždy dostatečně korespondovat s realitou.

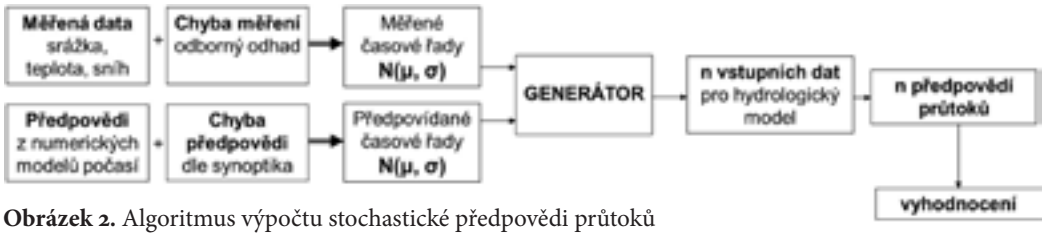
Pro výpočet hydrologickým modelem jsou zájmová povodí rozdělena do menších celků (polygonů), pro které jsou uvažovány průměrné hodnoty vstupních veličin. V hornatých částech území dosahují polygony velikosti maximálně několika desítek km², v nížinách je možné počítat s většími plochami.

Časové řady vstupních dat v hodinovém kroku jsou připravovány automaticky pomocí nástrojů GIS. Údaje ze srážkoměrů jsou kombinovány s daty z meteorologických radarů, a to ve více variantách [8]. Hodnoty teploty a sněhové pokrývky jsou na základě bodových měření prostorově interpolovány, přičemž je zohledňována nadmořská výška. Jako předpovídaná vstupní data jsou používány výstupy z různých modelů pro numerickou předpověď počasí (numerical weather prediction-NWP), jakým je např. ALADIN [1], příp. korigované meteorologem. První tři hodiny předpovědi srážek z NWP modelu jsou nahrazeny tzv. nowcastingem srážek. Metody nowcastingu pracují s extrapolací radarových dat a v prvních hodinách předpovědi dosahují zpravidla vyšší úspěšnosti než NWP modely. Používané metody nowcastingu jsou CORTEC [5] a INCA [4].

Základem každodenní předpovědní praxe je ruční výpočet modelu hydrologem. Subjektivní přínos hydrologa je v procesu tvorby předpovědi velice důležitý a nelze ho nahradit automatizací. Nicméně proces vytváření vstupních dat a výpočtu modelu je možné provádět také automaticky. Krátkodobě (do provedení další manuální předpovědi v modelu HYDROG) lze hydrologickou předpověď automaticky aktualizovat, např. každou hodinu, kdy jsou k dispozici nová vstupní data. Hydrolog má tak možnost sledovat vývoj situace na základě nejaktuálnějších vstupních dat a může rychle reagovat na změnu vývoje povodňové situace v povodí vydáním nové předpovědi.



Obrázek 1. Variantní předpověď – hydrologická předpověď založená na různých NWP modelech



Obrázek 2. Algoritmus výpočtu stochastické předpovědi průtoků

Nejistoty

Hydrologická předpověď je vytvářena v podmínkách značných nejistot a chyba předpovídaných i měřených vstupních dat může být velká. To je jeden z hlavních důvodů, proč čistě deterministický přístup nemusí být dostačující. Nové produkty hydrologické předpovědi, prezentované níže, mají za cíl stanovit míru nejistot a zohlednit je ve výpočtu hydrologického modelu.

Výsledky a diskuse

Deterministická předpověď

Deterministická předpověď průtoků je obvykle založena na předpovídaných hodnotách srážek (a teplot) z NWP modelu ALADIN (první hodiny předpovědi srážek jsou nahrazeny nowcastingem). Vstupní data pro hydrologický model mohou být upravena na základě konzultace s meteorologem. Deterministická předpověď průtoku je koncipována jako nejlepší odhad budoucího vývoje průtoků v povodí, v průběhu jejího vytváření se však nijak nezohledňují nejistoty vstupních dat. Je hlavním výstupem HPPS a pro předpovědní profily je prezentována na webu ČHMÚ. Standardně je počítána 1–2 krát denně, dle potřeby častěji.

Pravděpodobnostní předpověď

V roce 2012 byly na ČHMÚ do provozu zavedeny pravděpodobnostní předpovědi. Vstupní data (srážky a teploty) pro tento typ předpovědi jsou tvořeny ansámblem (16 prvků) výstupů NWP modelu ALADIN-LAEF. Výstupem je 16 obecně různých hydrogramů pro každý předpovědní profil. Veřejnosti jsou výsledky prezentovány formou tabulky s uvedením pravděpodobnosti překročení jednotlivých stupňů povodňové aktivity (SPA) ve zvolených časových intervalech, viz webové stránky HPPS.

Variantní předpověď

V případě variantní předpovědi jsou jako vstupy pro hydrologický model (srážky a teploty) využity výstupy různých NWP modelů, jde tedy o různé varianty deterministické předpovědi. V současnosti jsou uvažovány čtyři NWP modely:

- ALADIN (CZ) – rozlišení 4.5 x 4.5 km (lokální model)
  Dostupnost 4 x denně (v 00:00, 06:00, 12:00 a 18:00 SEČ), předpověď na 72 h [1]
- ICON-EU (D) (původní název LMEB) – rozlišení cca 6 x 6 km (lokální model)
  Dostupnost 4 x denně (v 00:00, 06:00, 12:00 a 18:00 SEČ), předpověď na 72 h [9]

- ECMWF (GB) – rozlišení 16 x 16 km (globální model)
  Dostupnost 2 x denně (v 0:00 a 12:00 SEČ), předpověď na 240 h [6]
- GFS (USA) – rozlišení 13 x 13 km (globální model)
  Dostupnost 4 x denně (v 0:00,06:00,12:00 a 18:00 SEČ), předpověď na 96 h [3]

Na stránkách HPPS je publikována vždy jen jedna varianta deterministické předpovědi. Jak bylo uvedeno, většinou je založena na předpovědi počasí z modelu ALADIN. Hydrolog má však možnost zhodnotit i zbývající varianty a v případě, že aktuální vývoj situace odpovídá více předpovědi jiného NWP modelu, může po konzultaci s meteorologem založit hydrologickou předpověď na základě patřičného NWP modelu. Jednotlivé varianty nelze považovat za zcela rovnocenné vzhledem k rozdílnému rozlišení modelů (jde o 2 globální a 2 lokální modely). Rozdíly mezi jednotlivými variantami mohou být markantní [viz obr. 1].

V roce 2017 byly variantní předpovědi na brněnské a ostravské pobočce ČHMÚ zavedeny do každodenního testovacího provozu. Jejich výpočet probíhá automaticky, kdy nastavení parametrů hydrologického modelu vychází z manuálního výpočtu.

Stochastická předpověď

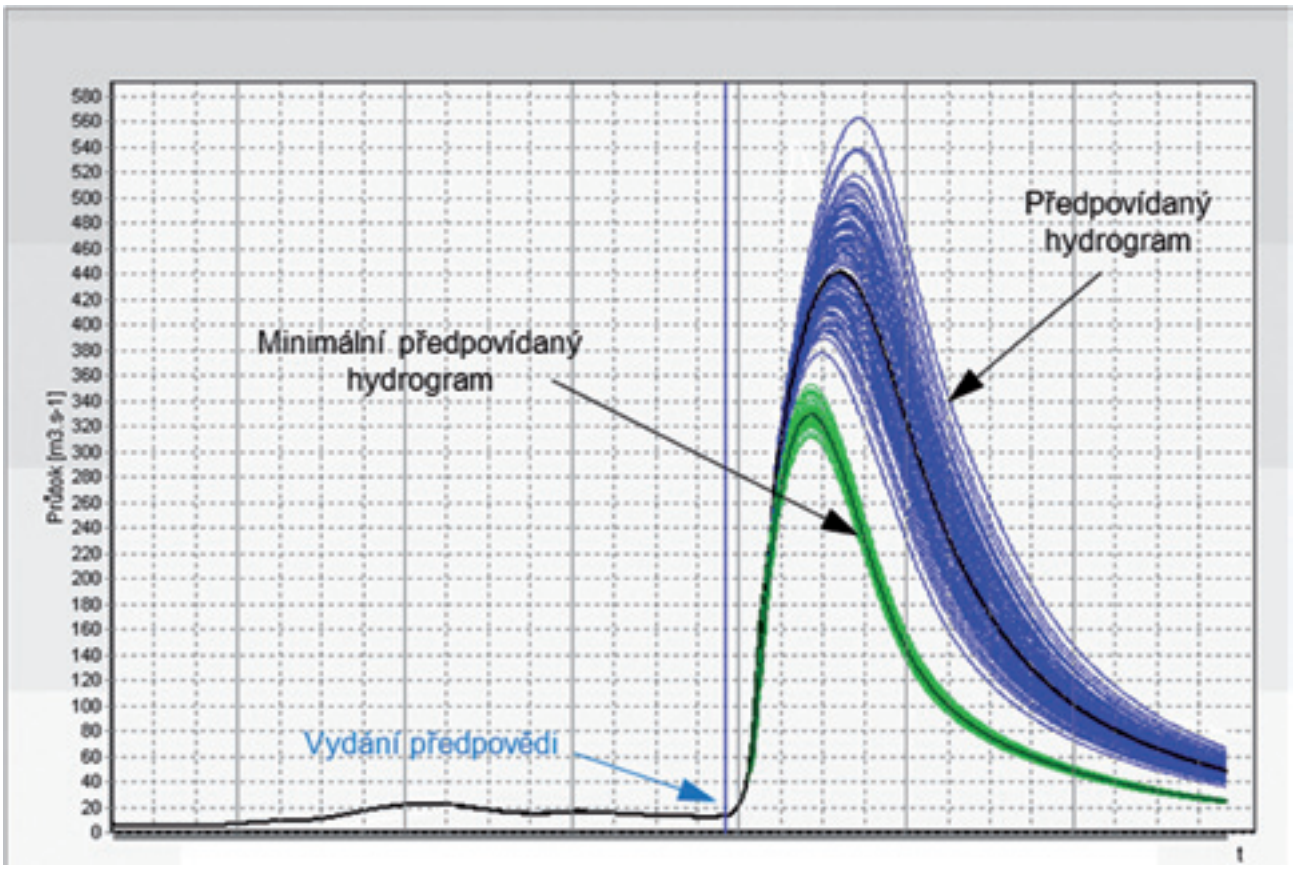
Stochastická předpověď umožňuje do hydrologického výpočtu budoucích průtoků zahrnout chyby měření klimatických dat (srážek, teplot, sněhové pokrývky atd.). Sada vstupních dat je vygenerována n-krát, a to na základě zadaných vstupních parametrů (střední hodnoty, odhadované chyby měřených nebo predikovaných dat). Prostorovou souvztažnost generovaných vstupů zajišťuje korelační matice vytvořená z historických dat. Následně je opakovaně prováděn výpočet hydrologického modelu nad vygenerovanou množinou vstupních dat. Výslednou množinu průtokových řad lze vyhodnotit např. formou křivek překročení limitních průtoku [2].

V roce 2017 byly stochastické předpovědi zavedeny do testovacího provozu na brněnské pobočce ČHMÚ na vybraných částech povodí řeky Dyje. Závěrové profily testovacích povodí tvoří zejména přítoky do vodních nádrží, protože produkt by mohl najít využití především ze strany správců vodních děl. V současnosti probíhá testování na těchto povodích: Dyje po Podhradí, Jihlava po Ptáčov, Svratka po Dalečín, Svratka od Víru po Veverskou Bítýšku a Svitava po Bílovice.

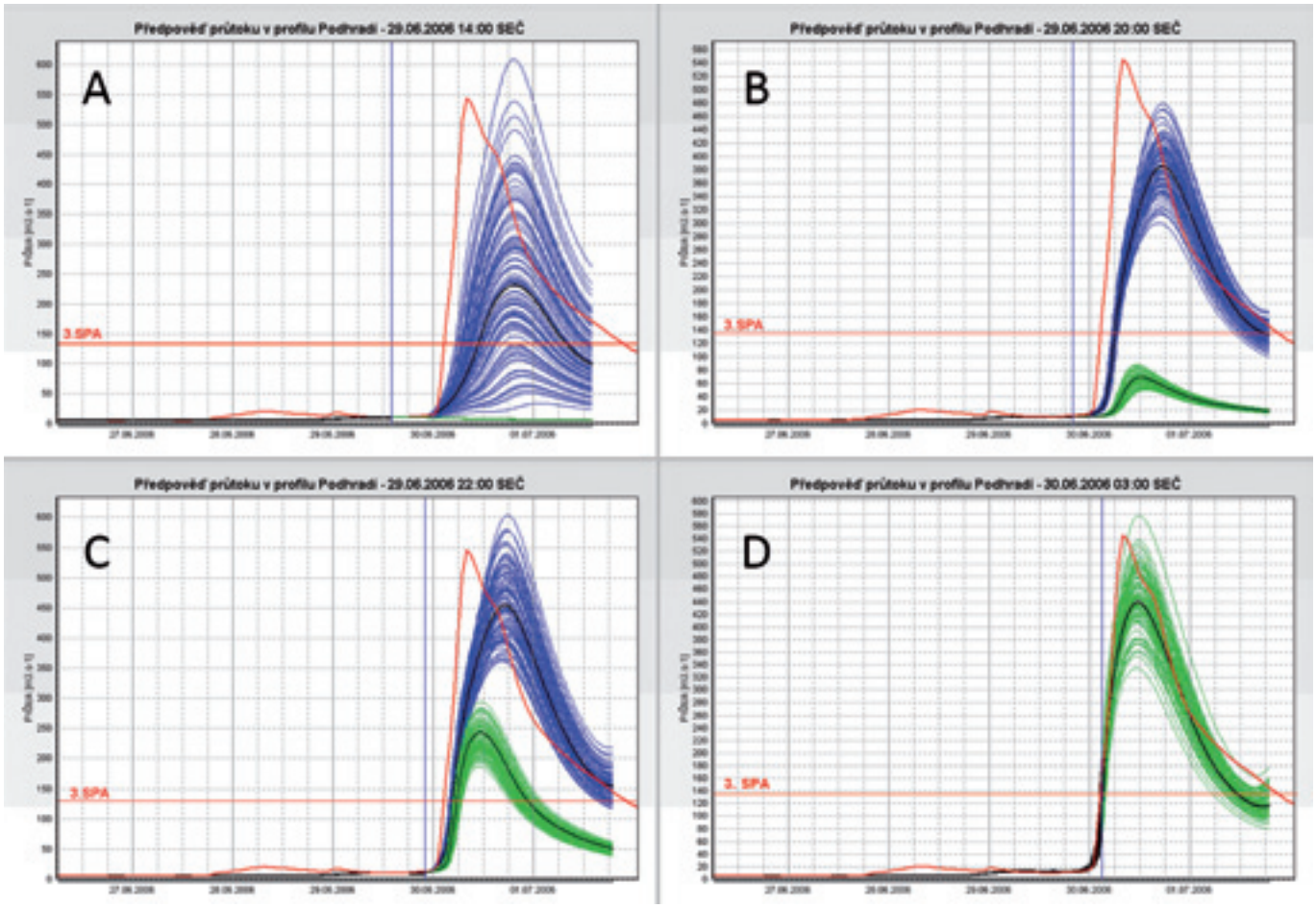
Míra nejistoty vstupních dat je rozdílná pro měřené a předpovídané hodnoty. Algoritmus výpočtu stochastických předpovědí umožňuje separaci nejistot, lze tedy zadat různé nejistoty pro měřenou a předpovídanou část časové řady vstupní veličiny. Nejistoty lze zadávat buď jako procento střední hodnoty, což je vhodné např. u srážek, nebo jako absolutní hodnotu, což lze využít např. u teploty a výšky sněhové pokrývky. Postup výpočtu je znázorněn na obr. 2.

V případě srážek, které jsou v našich podmínkách hlavním zdrojem nejistot, můžeme chybu měření odhadnout podle typu srážky. Z dosavadního testování lze doporučit pro stratiformní srážku cca 10 %, pro konvektivní srážku cca 20 % střední hodnoty. Míra nejistoty předpovídané srážky by měla vzejít z konzultace s meteorologem. Algoritmus je plně implementován v poslední verzi srážkoodtokového modelu HYDROG, způsob zadávání nejistot je vytvořen s ohledem na požadavky operativní praxe. Samotný generátor vstupních dat lze využít i samostatně pro libovolná území, podmínkou je sestavení korelačních matic z historických dat.

Separace a stanovení nejistot na vstupních datech umožňuje zavedení tzv. **minimálního předpovídaného hydrogramu (MPH)**. Jedná se o předpovídaný hydrogram získaný s uvážením pouze již naměřené srážky (předpovídaná část srážky je uvažována jako nulová). Měřená srážka má podstatně menší nejistotu než předpovídaná, proto i rozptyl jednotlivých scénářů je menší, než v případě zahrnutí celé srážky, viz obr. 3.



Obrázek 3. Minimální předpovídaný hydrogram (MPH) je založen na výpočtu odtoku z povodí s uvažováním pouze měřené srážky (předpovídaná srážka je nulová)



Obrázek 4. Fáze povodně – stochastická předpověď průtoků s využitím MPH

V praxi tak lze správcům vodních nádrží poskytnout v danou chvíli informaci o minimálním množství vody, které do nádrže přiteče s poměrně vysokou pravděpodobností. Informaci lze využít k efektivnímu předpouštění vodního díla s minimalizovaným rizikem opětovného nenaplnění nádrže v případě mírnějšího scénáře povodně. Stochastické předpovědi a MPH mohou najít uplatnění především na přítocích do větších vodních nádrží, u kterých lze povodeň významně ovlivnit předpouštěním.

Průběh povodně pak lze rozdělit do několika fází a pro každou lze doporučit adekvátní reakci na předpověď, viz následující příklad na obr. 4.

V první fázi (obr. 4 A), se předpovídají významné srážkové úhrny, měřená srážka je zatím nevýznamná. MPH dosahuje zanedbatelných hodnot a dominantní vliv na předpověď průtoků má nejistota předpovídaných srážek. Vodohospodáři a povodňové orgány by měly v této fázi pozorně sledovat vývoj situace, avšak žádná opatření není zatím nutné realizovat.

Ve druhé fázi (obr. 4 B) zůstávají v předpovědi srážek významné srážkové úhrny, měřená srážka již není zanedbatelná. MPH nedosahuje 3. SPA. Nejistota předpovídaných srážek je nižší než v první fázi, stále má však dominantní vliv. Lze doporučit zvýšení odtoku z vodních děl podle MPH.

Ve třetí fázi (obr. 4 C) je měřená srážka již významná. MPH překračuje 3. SPA. Dominantní vliv má stále nejistota předpovídaných srážek, uplatňuje se však také nejistota měřených srážek. Je velmi pravděpodobné, že nastane povodeň. Povodňové orgány by měly zahájit opatření v souladu s povodňovými plány. Vodohospodáři by měly zvyšovat odtok z vodních děl minimálně podle aktuálních průběhů MPH.

Ve čtvrté fázi, (obr. 4 D) je předpověď srážek již nulová či zanedbatelná. MPH je prakticky totožný s předpovídaným hydrogramem. Dominantní vliv má nejistota měřených srážek. Cílem předpovědi je nyní, co nejpřesnější odhad kulminace povodňové vlny. Povodňové orgány jednají v souladu s povodňovými plány a vodohospodáři optimalizují odtoky z VD dle předpovědí přítoků do nádrží.

Následuje poslední fáze, kdy nastala kulminace povodňové vlny, předpověď srážek je nulová či zanedbatelná. Nyní je již deterministická předpověď průtoků dostačující. Dominantní vliv má nejistota hydrologického modelu.

V povodí Moravy došlo v posledních letech k velkému rozvoji předpovědní povodňové služby. Hlavním cílem bylo zavést do hydrologických vstupů maximum informací, které jsou dnes hydrologům k dispozici. Týká se to zejména meteorologických předpovědí srážek (příp. teplot), ale i radarových odhadů srážek včetně nowcastingu, údajů o sněhové pokrývce, dat z veškerých vodoměrných stanic (včetně malých povodí), využití nástrojů GIS apod. Zavedení automatizace modelových výpočtů navíc umožňuje aktualizaci předpovědí každou hodinu, takže hydrologové mohou mít snadno k dispozici výsledky předpovědi průtoků s využitím nejaktuálnějších měřených i předpovídaných dat.

Různé produkty však kladou různé požadavky na uživatele předpovědí průtoků. **Deterministická předpověď** představuje nejjednodušší produkt, který má sice nejmenší vypovídací hodnotu (je založený pouze na jedné variantě průběhu měřených a předpovídaných dat), zato je ale srozumitelný i laické veřejnosti. Pokud je deterministická předpověď průtoků pravidelně v průběhu povodně aktualizována (v horních částech povodí alespoň každých

3–6 hodin), může být pro povodňové orgány dostatečným podkladem, protože případné změny skutečného vývoje povodně oproti předpovídaným scénářům jsou do modelových výpočtů rychle zavedeny a protipovodňová opatření tomu mohou být průběžně přizpůsobována. Je zde však i riziko, že při extrémních povodních s rychlým nástupem může dojít k promeškání začátku povodně. Pro manipulaci na vodních dílech představuje deterministická předpověď poměrně rizikovou variantu a v praxi jsou nádrže řízeny spíše na základě měřených hodnot průtoků ve vodoměrných stanicích nad nádrží, příp. na základě okamžité hodnoty přítoku do nádrže.

Stochastická předpověď průtoků s využitím MPH představuje komplexní produkt, který v rámci výpočtu může zohlednit nejistoty vstupních dat. Za určitých okolností (dle volby hydrologa) může obsáhnout i ostatní zmíněné produkty (variantní, příp. ansámblovou předpověď). Klade však na uživatele poměrně značné požadavky ohledně správné interpretace výsledného produktu a lze se domnívat, že v současné době není vhodný pro širokou veřejnost. I stochastickou předpověď průtoků je vhodné často aktualizovat, hlavně pokud se jedná o manipulace na vodních dílech. Pro správce nádrží může představovat významný nástroj v případě předpouštění vodních děl, kdy je za použití MPH minimalizováno riziko opětovného nenaplnění vodního díla v případě selhání předpovědi povodně, i riziko opožděného zvýšení odtoků z nádrže v případě naplnění či překročení předpovídané povodně.

Především je však nutné nové předpovědní produkty – pravděpodobnostní, variantní a stochastickou předpověď průtoků – dlouhodobě testovat v praxi, teprve pak se ukáže jejich případný přínos pro včasnou ochranu obcí a obyvatel před povodněmi.

Závěr

Hlásná a předpovědní povodňová služba prochází neustálým vývojem. V posledních letech došlo k podstatnému rozšíření i zkvalitnění poskytovaných informací. Vývoj směřuje k postupnému zahrnování nejistot měřených a předpovídaných klimatických dat nutných k hydrologickým výpočtům do procesu vytváření předpovědi průtoků.

Nové produkty hydrologické předpovědi (pravděpodobnostní, variantní a stochastická předpověď) mohou přispět k rozšíření povědomí odborné i laické veřejnosti o problematice, jakož i k celkovému zlepšení ochrany před povodněmi. K efektivnímu využití předpovědí je nutná jejich správná interpretace. Proto je nutné i nadále pracovat na vzdělávání lidí, kteří se na tvorbě předpovědi průtoků podílí, i těch, kteří ji následně využívají.

Literatura

[1] ALADIN International Team. *The ALADIN project: Mesoscale modelling seen as a basic tool for weather forecasting and atmospheric research.* WMO Bulletin, 46, pp. 317-324, 1997.

[2] BŘEZKOVÁ L., STARÝ M. *Stochastic flow forecast – creation, interpretation and other application.* 5th International Conference on Flood Management (ICFM5), 27-29 September 2011, Tokyo, Japan. Abstract Proceedings.

[3] Environmental Modeling Center. *The GFS atmospheric model.* NCEP office note 442. Camp Springs, MD: Global Climate and Weather Modeling Branch, EMC, 2003.

[4] HAIDEN, T., A. KANN, C. WITTMANN , G. PISTOTNIK, B. BICA, C. GRUBER. *The Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA) system and its validation over the Eastern Alpine region.* Weather Forecasting, 26., 2011.

[5] NOVÁK, P. *The Czech Hydrometeorological Institute's Severe Storm Nowcasting System.* Atmospheric Research, 83, pp. 450–457, 2007.

[6] MOLTENI, F., BUIZZA, R., PALMER, T. N., PETROLIAGIS, T. *The ECMWF ensemble prediction system: Methodology and validation.* The Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 122(529), 73–119, 1996.

[7] STARÝ, M. HYDROG, *Software for simulation, prediction and operative control of water outflow from the river catchment,* Brno, Czech Republic, 1991–2017.

[8] ŠÁLEK M., NOVÁK P., SEO D. J. *Operational application of combined radar and raingauges precipitation estimation at the CHMI.* ERAD 2004 proceedings, ERAD publication series, Vol. 2, pp. 16–20.

[9] ZÄNGEL, G., REINERT, D., RIPODAS, P., BALDAUF, M. *The ICON (ICOsahedral Non-hydrostatic) modeling framework of DWD and MPI-M: Description of the non-hydrostatic dynamical core.* The Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 141(687), 563–579.

POSOUZENÍ FUNKČNÍCH OBJEMŮ VODNÍHO DÍLA VÍR I NA AKTUALIZOVANÁ VSTUPNÍ DATA

Daniel Marton, Miloš Starý

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny, Žižkova 17, 602 00 Brno, tel. +420 541 147 774, marton.d@fce.vutbr.cz

Abstrakt

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

Klíčová slova: *funkční objem; nádrž; Vír I; zásobní funkce nádrže, ochranná funkce nádrže.*

Abstract

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

Keywords: *reservoir volume; reservoir; storage capacity; flood capacity.*

Úvod

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

Předmětem příspěvku je prezentace výsledků studie, která měla za úkol přepočet účinností funkčních objemů nádrže Vír I. Výpočty byly zaměřeny především na výpočet nalepšeného odtoku vody z nádrže ze stávajícího zásobního objemu nádrže při zadané zabezpečenosti odtoku a na posouzení ochranného účinku nádrže. Zadání vychází z požadavku podniku Povodí Moravy na aktualizaci výpočtů uvedených veličin s ohledem k prodloužení délky měřených vstupních hydrologických podkladů. Přesněji aktualizaci řady průměrných měsíčních průtoků, tak aby zahrnovala suché epizody z devadesátých let minulého století, z roku 2014 a především z roku 2015. Dále aktualizaci hydrogramů povodní, ve kterých jsou zahrnuty nedávné extrémní povodňové události z roku 1997 a následujících let. Hydrologické podklady poskytl ČHMÚ pobočka Brno.

Metodika

Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže

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

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

Vodohospodářské řešení ochranné funkce nádrže

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

Praktická aplikace

Základní hydrologické údaje o povodí nad nádrží. Nádrž je vybudována v povodí řeky Svratka a řeka Svratka je také hlavním přítokem vody do nádrže. Plocha povodí nad nádrží je přibližně 410,35 km². Průměrný dlouhodobý přítok vody do nádrže je Q_a je 3,607 m³ s⁻¹. Ekologický průtok tvořící hranici sucha je Q_{355} a odpovídá průtoku 0.48 m³ s⁻¹. Časová řada průměrných měsíčních průtoků byla použita s měření ve vodoměrném profilu Dalečín. Průměrná hodnota měřeného výparu z vodní hladiny odpovídá hodnotě E_a = 613 mm/rok.

Těleso hráze nádrže Vír I je betonové tížní složené z 26 bloků. Délka hráze v koruně hráze je 390 m. Celková výška hráze je 67,3 m. Šířka hráze v koruně je 9 m. Dno údolí u hráze je 404,24 m n. m. a kóta koruny hráze je 470,45 m n. m. Výpustná a odběrná zařízení jsou tvořena 2krát spodní výpustí DN 1800 mm a jedna asanační výpust DN 200 mm. Bezpečnostní přeliv je konstrukce korunové nehrazené o celkové délce 60,5 m a maximální kapacitě 180,5 m³ s⁻¹ při hladině 468,45 m n. m. Nádrž slouží také k elektrárenským účelům. V pravé straně hráze je vybudována vodní elektrárna s dvěma turbínami o hltnosti 2 x 12 m³ s⁻¹. Minimální požadovaný odtok vody z nádrže je MQ = 0,530 m³ s⁻¹. Neškodný průtok Q_{NE} = 55 m³ s⁻¹. Celkový objem nádrže je V = 56,193 mil. m³. Prostor stálého nadržení V_S = 3 800 mil m³. Zásobní objem nádrže V_Z = 44,056 mil m³. Ochranný objem nádrže V_R = 8.337 mil m³. Celkový rovnoměrný odběr z nádrže Vír I je stanoven dle manipulačního řádu [9] na hodnoty nalepšeného odtoku O_p = 2,53 m³ s⁻¹. Nalepšený odtok je rozdělen na dílčí odběry a minimální odtok do toku MQ. Odběr z nádrže pro oblast Žďár nad Sázavou je $Q_{ŽĎÁR}$ = 0,2 m³ s⁻¹. Odběr pro Vírský Oblastní Vodovod včetně odběru vody pro Brno a jeho okolí je Q_{VOV} = 1,8 m³ s⁻¹. Všechny uvedené parametry vychází z platného manipulačního řádu k vodnímu dílu [9].

Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže

Výpočet byl proveden pro vyhodnocení zabezpečenosti odtoku vody z nádrže P_T a P_D. Vstupní hodnoty pro výpočet zásobního objemu nádrže tvořila časová řada průměrných měsíčních průtoků měřených ve vodoměrném profilu Dalečín. Délka hydrologické řady je 65 let za období měření 1950 až 2015. Vzhledem k účelu nádrže byla ve výpočtech použita i data z generátorů umělých průtokových řad. Byl vybrán a použit Lineární regresní model s délkou Markovova řetězce 4 a celkovou délkou generované umělé průtokové řady 10 000 let. Zásobní objem nádrže byl počítán s uvažováním ztrát vody z nádrže. Úloha byla řešena pro hodnotu zásobního objemu nádrže daného v [9]. Hodnota O_p byla postupně zvyšována a vždy byla pro volené O_p dopočítávána hodnota zabezpečeností P_T a P_D. Výsledky byly porovnány ze dvou pohledů. První je změna P_T při uvažování O_p = 2,53 m³ s⁻¹ daného v [9]. Druhý pohled je změna O_p při uvažování P_T = 99,5% dané v [4] a [9].

Vodohospodářské řešení ochranné funkce nádrže

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

Povodně byly odvozeny jednak klasickým způsobem a jednak pomocí podmíněných pravděpodobností, v tabulkách uvedeno pod zkratkou PP. Za simulovaného průchodu povodně byl sledován transformační účinek nádrže a byl odečten vždy kulminační odtok vody z nádrže O_{max}, který byl porovnán s hodnotou neškodného odtoku vody z nádrže O_{NE} = 55 m³/s a dále byla odečtena kóta maximálního vystoupení hladiny v nádrži H_{max}, která byla následně porovnána s mezní bezpečnou hladinou $H_{max,bezp}$ stanovenou pro nádrž Vír I na kótě 470,45 m n. m.. Při výpočtech byly testovány dva vybrané způsoby řízení odtoku vody z nádrže. První způsob neumožňuje provést před nástupem povodně povyprázdnění zásobního objemu nádrže, doporučení dle [11]. Uvedená varianta je v dalším textu a obrázcích označena jako varianta bez předpouštění. Druhý způsob se liší od prvního způsobu řízení tím, že umožňuje operativně povyprázdnit zásobní objem nádrže při nástupu povodně tzv. varianta s předpouštěním. Pro jednoduchost je z nádrže hned vypouštěn odtok roven neškodnému odtoku. Jedná se tedy o agresivní způsob řízení odtoku vody z nádrže ve vztahu ke korytu toku pod nádrží. Oba způsoby řízení jsou pro posouzení mezní a určují interval, ve kterém je možno hledat i jiné způsoby řízení odtoku vody z nádrže za průchodu návrhové povodňové vlny.

Vyhodnocení výsledků

Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže

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

Podle manipulačního řádu zásobnímu objemu nádrže 44 056 000 m³ odpovídá nalepšený odtok O_p = 2,53 m³ s⁻¹ při zabezpečenosti podle trvání 99,5%.

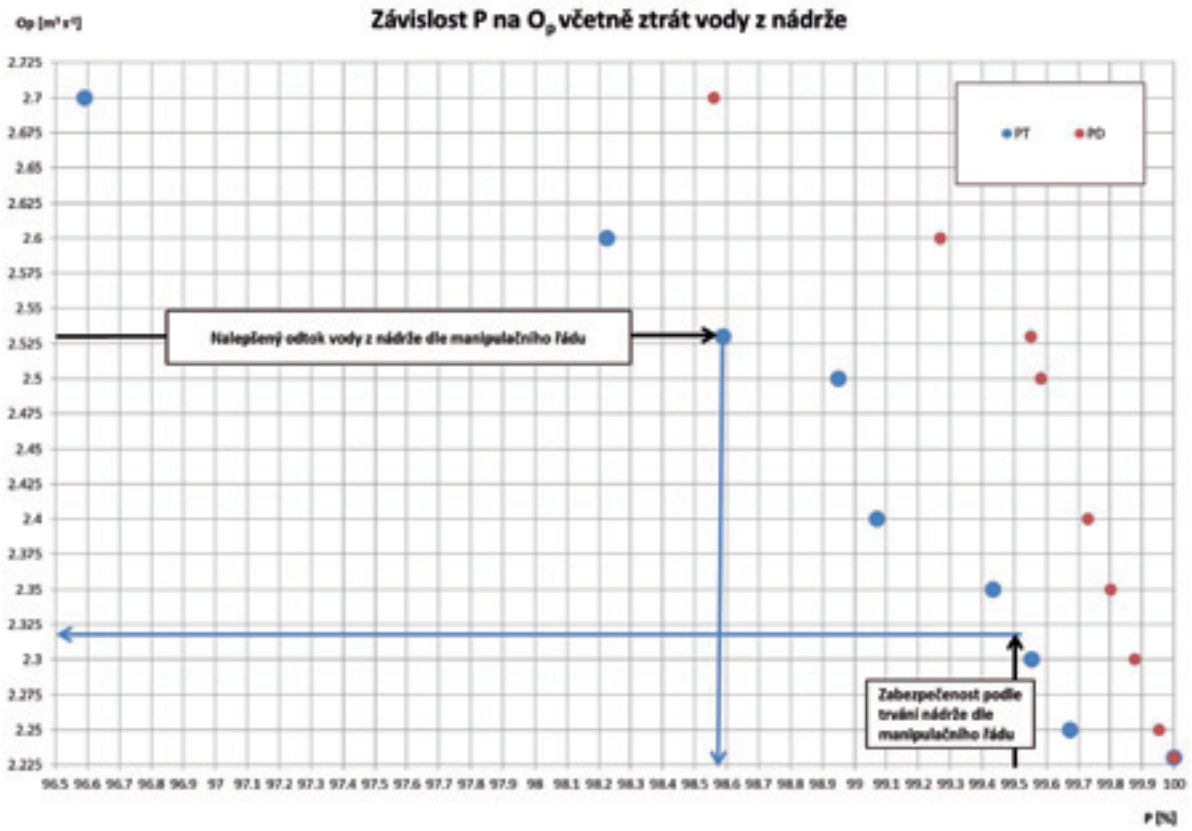
Při zachování nalepšeného odtoku O_p = 2,53 m³ s⁻¹ a zásobního objemu 44 056 000 m³ je zabezpečenost v reálné průtokové řadě P_T = 98,59%. Zabezpečenost nevyhoví a rozdíl činí 0,91%. V umělé řadě je zabezpečenost P_T = 97,99%. Zabezpečenost opět nevyhoví a rozdíl činí 1,51%.

Tabulka 1. Dosažené efekty při transformaci – varianta bez předpouštění

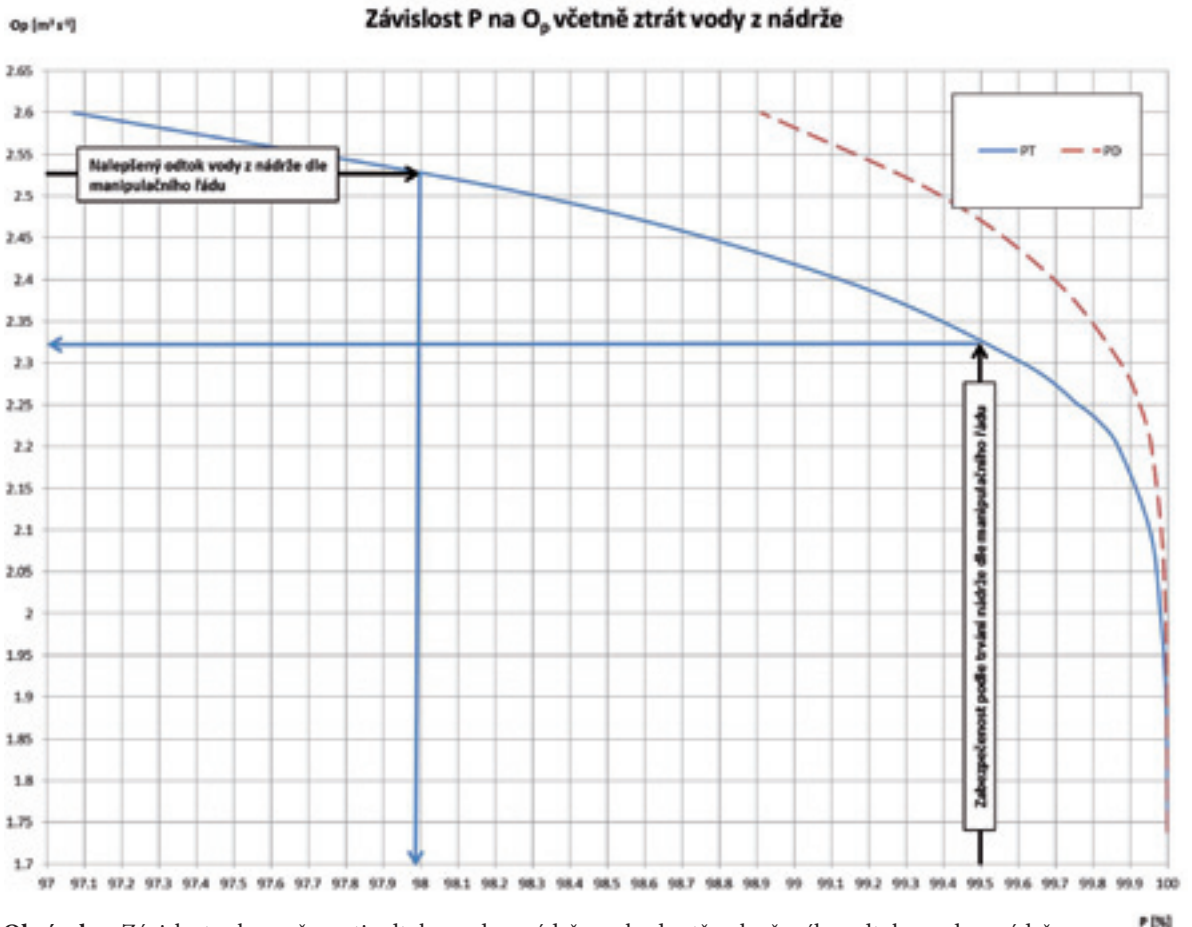
	O_{max} [m³/s]	Menší nebo rovno O_{NE}?	H_{max} [m n.m.]	Menší než $H_{max,bezp}$?
Q_{100}	81,7	Ne	468,38	Ano
PP Q_{100}	125	Ne	468,05	Ano
Q_{1000}	235,4	Ne	468,52	Ano
PP Q_{1000}	272,5	Ne	468,66	Ano
Q_{10000}	369	Ne	469,03	Ano
PP Q_{10000}	409	Ne	469,16	Ano

Tabulka 2. Dosažené efekty při transformaci – varianta s předpouštěním

	O_{max} [m³/s]	Menší nebo rovno O_{NE}?	H_{max} [m n.m.]	Menší než $H_{max,bezp}$?
Q_{100}	55	Ano	467,5	Ano
PP Q_{100}	55	Ano	456,4	Ano
Q_{1000}	195	Ne	468,3	Ano
PP Q_{1000}	166,7	Ne	468,23	Ano
Q_{10000}	369	Ne	469,1	Ano
PP Q_{10000}	410	Ne	469,16	Ano



Obrázek 1. Závislost zabezpečenosti odtoku vody z nádrže na hodnotě nalepšeného odtoku vody z nádrže – reálná průtoková řada



Obrázek 2. Závislost zabezpečenosti odtoku vody z nádrže na hodnotě nalepšeného odtoku vody z nádrže – umělá průtoková řada

Při zachování zabezpečenosti P_T = 99,5% a zásobního objemu 44 056 000 m³ je nalepšený odtok vody z nádrže O_p = 2,32 m³ s⁻¹ v reálné průtokové řadě. Nalepšení odtok vody z nádrže nevyhoví rozdíl a rozdíl činí 0,21 m³ s⁻¹. V umělé průtokové řadě vychází nalepšení odtok vody z nádrže O_p = 2,32 m³ s⁻¹ a rozdíl opět činí 0,21 m³ s⁻¹.

Vodohospodářské řešení ochranné funkce nádrže

Tabulky 1 a 2 uvádějící souhrnné zhodnocení dosažených efektů pro oba mezní způsoby řízení odtoku vody z nádrže za průchodu kontrolních povodní.

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

Ve variantě s předpouštěním vody z nádrže pro kontrolní hydrogram Q_{100} a pro kontrolní hydrogram PP Q_{100} navržený pomocí podmíněných pravděpodobností byl neškodný odtok v korytě pod nádrží kulminačním odtokem dosažen. Pro všechny ostatní kontrolní hydrogramy povodní s N-letostí 1000 a 10000 roků byl neškodný odtok v korytě pod nádrží kulminačním odtokem vždy překročen. Pozitivní skutečností opět je, že maximální bezpečnostní hladina nebyla pro žádnou N-letost dosažena.

Závěr

Dle provedených výpočtů je zřejmé, že nádrž Vír I, která je zařazena do třídy významnosti A ($P_T \geq 99{,}5\%$), je téměř o 1% podhodnocena v zabezpečenosti podle trvání. Podhodnocen je i nalepšený odtok vody z nádrže. Z výpočtů je zřejmý pokles nalepšeného odtoku o přibližně 0.21 m³ s⁻¹. Toto snížení pokrývá například odběr vody pro Žďársko. Je tedy zřejmé, že kapacita zdroje vody pro zásobené oblasti Ždárska, Bystřicka, Brna a okolí je v současnosti podhodnocena. Vzhledem k probíhajícím změnám klimatu je však možno očekávat další budoucí pokles přítoku vody do nádrže. Přitom upřednostnění odběrů vody z nádrže před odtokem vody do toku může mít, při dlouhodobém držení průtoku vody v řece Svratce pod nádrží Vír I na nízkých hodnotách, fatální důsledky týkající se jakosti vody a biologické rovnováhy. Je tedy zřejmé, že při výpadku zásobení Brna vodou z prameniště Březová, nemá Brno ekvivalentní náhradní zdroj.

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

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

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

Tým zpracovatelů studie přistupoval k přehodnocení ochranné funkce nádrže s nadějí, že bude v dané oblasti její kapacita mírně předimenzovaná, že bude možno snížit retenční objem nádrže ve prospěch zásobní funkce a posílit její možnosti v oblasti zásobení vodou. Dosažené výsledky však ukázaly, že tato cesta není možná. Jako možné řešení se opět nabízí hledat další ochranný prostor výše po toku, využít hájený profil Svratka/Borovnice pro výstavbu nové nádrže. Důvod je velmi závažný. Nádrž Vír I je z pohledu zásobní i ochranné funkce vzhledem k aktuálním hydrologickým podkladům poddimenzovaná.

Literatura

[1] *Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR.* Ministerstvo životního prostředí [online]. 2015 [cit. 2017-06-18]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/.

[2] MARTON, D.; STARÝ, M.; MENŠÍK, P.: UNCERESERVOIR; UNCERESERVOIR – Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže. http://uvhk.fce.vutbr.cz/software. php. URL: http://uvhk.fce.vutbr.cz/software.

[3] STARÝ, M. *Nádrže a vodohospodářské soustavy (MODUL 01),* VUT v Brně – Fakulta stavební, Brno, 2006.

[4] *Česká technická norma ČSN 75 2405 Vodohospodářské řešení vodních nádrží,* ICS 93.160; 13.060.10, Český normalizační institute, Praha 2004.

[5] MARTON, D.; STARÝ, M.: LRMsoft; LRMsoft – generátor umělých měsíčních průtoků.
http://uvhk.fce.vutbr.cz/software. php. URL: http://uvhk.fce.vutbr.cz/softwar.

[6] STARÝ, M. *Hydrologie (MODUL 01),* VUT v Brně – Fakulta stavební, Brno, 2005.

[7] KOS, Z. *Lineární regresivní model a jeho aplikace v hydrologii:* Vodní toky v Praze. Praha, 1969.

[8] STARÝ, M. HYDROG – *Software pro simulaci a operativní řízení odtoku vody z povodí,* 1991–2017 Brno.

[9] *Manipulační řád pro vodní dílo Vír I na řece Svratce.* Povodí Moravy s.p. 2011.

[10] JURÁNEK L., *Hydrologická studie pro VD VÍR I, Odvození teoretických povodňových vln různými statistickými metodami,* 2008, ČHMÚ, Brno.

[11] TNV 75 2935 P*osuzování bezpečnosti vodních děl při povodních,* Metodický pokyn odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí k posuzování bezpečnosti přehrad za povodní, MŽP, Praha, 2003.

VLIV VÝZNAMNÝCH NÁDRŽÍ A SOUSTAV NA HYDROLOGICKÉ EXTRÉMY V POVODÍ OHŘE

Michal Tanajewski

Povodí Ohře, s. p., Bezručova 4219, 430 03 Chomutov,
tel. +420 474 636 305, tanajewski@poh.cz

Abstrakt

Po každém významném hydrologickém extrému jsou prověřovány manipulační řády vodních nádrží. Cesta k zajištění maximálního možného efektu nádrže je dána vodohospodářským řešením nádrže a kvalitním operativním řízením.

Z těchto důvodů je věnována velká pozornost k podkladům a rozhodovacím procesům vodohospodářského dispečinku pro provoz významných vodních děl jak za normálních, tak za mimořádných situací, jako jsou sucha a povodně. Součástí příspěvku jsou příklady vlivů vodních děl na skutečný průběh povodní v tocích a nadlepšovací účinky vodních děl na tocích v suchém období.

Klíčová slova: *vodohospodářský dispečink; povodí Ohře, vodohospodářské řešení nádrže; vliv vodních děl na povodně na Ohři.*

Abstract

After every hydrological extreme the reservoir operating rules are examined. The aim is to design and improve operating rules for the quality operation in order to use the reservoir storage effectively.

Hydrological data a decision processes play an important role in management and operation of larger reservoirs especially during droughts and floods. The paper provides examples of attenuation of flood wave by reservoirs during flood as well as records of the use of reservoir storage in dry seasons.

Keywords: *dispatching of watter management; Ohře river basin; Watter management analysis of reservoir; Influence of water buildings at floods on the river basin Ohře.*

Úvod

V posledních obdobích jsou v širším smyslu nádrže vystavovány častějším výskytům hydrologických extrémů. Problematika řízení významných vodních děl je jednou z důležitých činností správců povodí. Správci povodí věnují nemalé odborné a finanční úsilí pro bezvadné zajištění funkčnosti vodních děl. Ve vztahu k nádržím se jedná o činnosti zpracování vodohospodářského řešení, manipulačního řádu a operativního řízení vodních děl vodohospodářským dispečinkem. Všechny tyto oblasti jsou vzájemně provázané a v patřičné posloupnosti uplatňovány a ověřovány.

Praxe v řízení VD

Všechna vodní díla, která ovlivňují hydrologický režim, musí mít zpracována vodohospodářská řešení zásobní a retenční funkce. Z pohledu řízení vodních děl slouží vodohospodářské řešení k nalezení optimálního nastavení rozdělení prostorů nádrže, které dokáže čelit hydrologickým extrémům s ohledem na jejich pravděpodobnost výskytu. Správné rozdělení prostorů v nádrži s ohledem na hlavní účel nádrže je základem pro dobré zvládnutí nejširšího množství situací, které hydrologická situace na vodní dílo může přinést. Jsou v něm zohledněny všechny hlavní a vedlejší účely vodního díla, mezi které patří odběry pro pitné účely, průmysl a zemědělství, zajištění minimálního zůstatkového průtoku pod vodním dílem, ochrana před povodněmi, ale i výroba elektrické energie a rekreace. Účely nádrže mají své priority a dle vývoje hydrologické situace a aktuálního stavu naplněnosti nádrže jsou účely s nižší prioritou, je-li to nevyhnutelné, omezovány. Vodohospodářské řešení je popsáno v normě ČSN 75 2405 [3]. Obecně je vodohospodářské řešení dáno účely nádrže vycházející z povolení k nakládání s vodami, hydrologickou charakteristikou povodí a fyzikálně-technickými možnostmi vodního díla. V modelovém řešení, nejčastěji bilančním výpočtu, se využívají jak stochastické, tak deterministické metody hydrologických průběhů, v různých časových krocích. Často se výsledky z různých postupů porovnávají a v případě odlišných výsledků se provádějí další rozbory.

Na vodohospodářské řešení poté navazuje manipulační řád vodního díla, popř. manipulační řád vodohospodářské soustavy vodních děl. Manipulační řád je soubor pravidel a dispečerských pomůcek pro řízení vodních děl, schválených příslušným vodoprávním úřadem. V manipulačním řádu jsou zohledněny, kromě vodohospodářského řešení, také získané empirické zkušenosti z provozu vodního díla. Manipulační řád se opírá o provozní zkušenosti, legislativní povinnosti, potřeby orgánů ochrany přírody, o předpisy technicko – bezpečnostního dohledu, ale i o postupy pro zlepšení kvality vody v nádrži. Náležitosti manipulačního řádu opět předepisuje TNV 75 2910 [4].

V podmínkách státních podniků Povodí, po vypracování předchozích dokumentů, vstupují na scénu vodohospodářské dispečinky. Hlavním úkolem vodohospodářských dispečinků je operativní řízení vodních děl dle schválených manipulačních řádů, podle provozní a hydrologické situace v povodí, a to jak za normálních, tak i za mimořádných situací. Vodohospodářské dispečinky se opírají ve svém rozhodování o pevná pravidla manipulačních řádů, ale také ve velké míře využívají své „měkké" dovednosti pro zvládání situace. Hlavní podporou pro rozhodovací proces je dálkový monitoring hydrologické a provozní situace v povodí a na vodních dílech. Přičemž je důležité, aby ve svém rozhodování přizpůsobili strategii předpokládanému vývoji. V případě předpovědi počasí je situace omezená na výhledy meteorologických modelů. Ovšem v případě suchých období, či nástupu suchého období jsou možnosti predikce vývoje situace na nádrži pro plnění účelů vodního díla mnohem delší. Rozhodování vychází ze znalostí vodohospodářského řešení, které bylo posuzováno na reálných či syntetických řadách průtoků charakterizujících chování povodí v suchých obdobích. Tyto řady vycházejí ze skutečně měřených dat. Např. v případě vodohospodářského dispečinku s. p. Povodí Ohře jsou v elektronické podobě k dispozici datové řady od zahájení provozu vodních děl. U limnigrafických profilů jsou využitelné řady k dispozici od roku 1995.

V situacích, kdy proběhne hydrologický extrém se zatížením vodních děl, provádějí vodohospodářské dispečinky následné vyhodnocení zvládnutí situace. V rozboru hydrologického extrému a jeho zvládnutí se zahrnují relevantní informace a provádí se přešetření se závěry a následnými doporučeními. V případě, že dojde při hodnocení průběhu hydrologického extrému k závěru, že vznikly nové skutečnosti, které nebyly zohledněny v manipulačním řádu či dokonce ve vodohospodářském řešení, dojde k úpravě těchto podkladů pro případné další bezchybné zvládnutí v budoucím provozování VD.

V další části příspěvku jsou přiblíženy příklady vlivů vodních děl v povodí řeky Ohře v hydrologických extrémech. Vlivy byly vypočtené v rámci zmíněných dílčích hodnocení analýzy zvládnutí situace. Hodnocení je postaveno na porovnání skutečného – změřeného průběhu a průběhu modelově odvozeného bez existence vodních děl. Pro názornost byly vybrány povodňové situace 01/2011 a 06/2013. Hodnocení jsou důležitá jak pro hodnocení a ověření nastavení pravidel manipulačního řádu, tak pro obhájení manipulací za povodně před veřejností. Po každé významné povodni stojí státní podniky Povodí pod tíhou obvinění ze zanedbání svých povinností, nepřipravenosti a nezvládnutí povodně. Ukázalo se, že vypočtení průběhu povodně bez vlivu vodních děl a porovnání se skutečným průběhem je účinným podkladem pro následnou obhajobu před veřejností. Obdobně bylo provedeno hodnocení hydrologického průběhu sucha v krátkém období 08/2015.

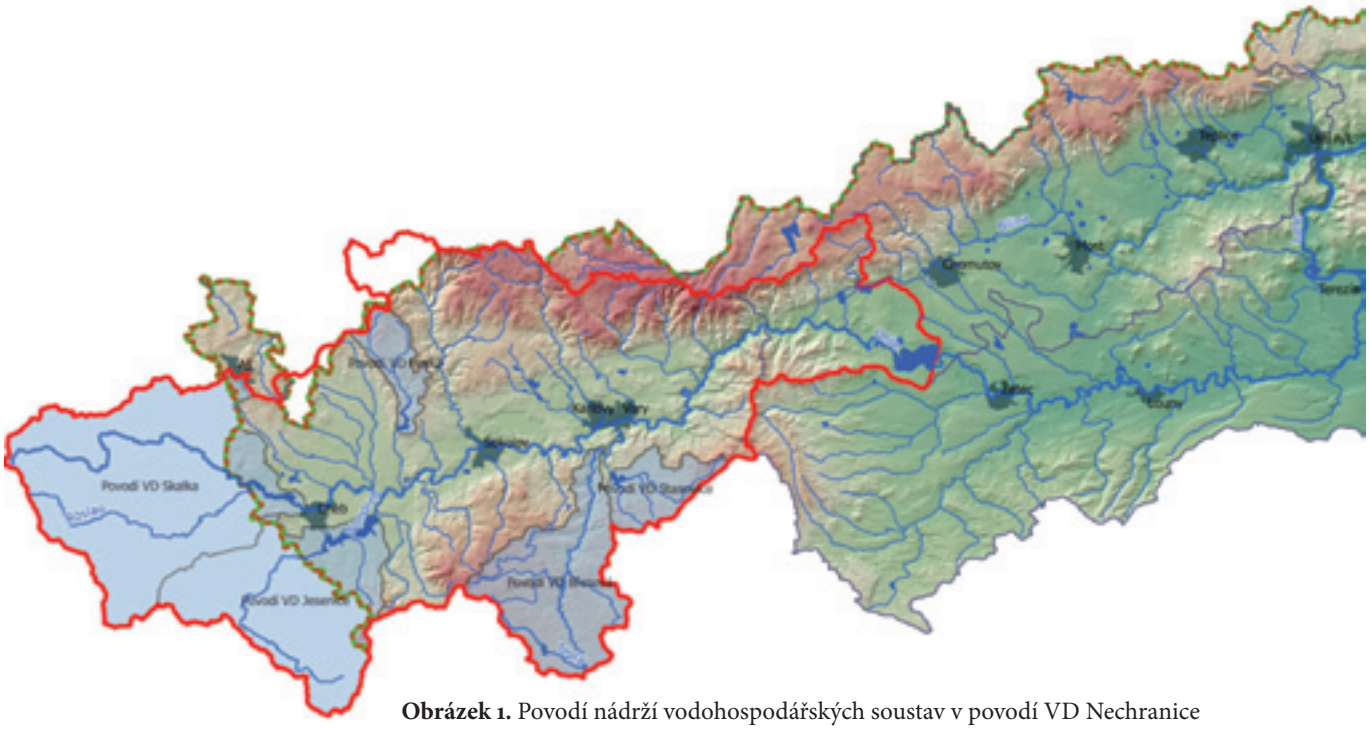
V povodí řeky Ohře se nachází 7 významných děl, která mohou, nebo přímo ovlivňují hydrologickou situaci v povodí. Tato vodní díla spolu v jistých situacích spolupracují ve vodohospodářských soustavách. Jedná se o vodní díla Skalka, Jesenice, Horka, Podhora, Březová, Stanovice a Nechranice.

Vliv významných VD na Ohři při výskytu hydrologického sucha

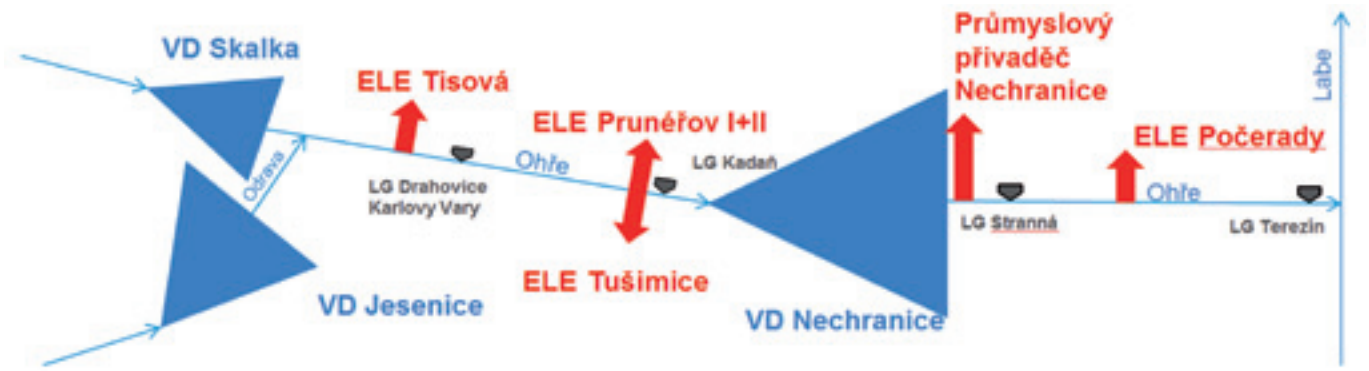
V případě hydrologického extrému sucha mají přímý vliv na hydrologickou situaci v řece Ohři nádrže Skalka, Jesenice a Nechranice.

Mezi hlavní účely nádrží v soustavě Skalka – Jesenice – Nechranice patří kompenzační nadlepšování průtoků na Ohři pro energetiku, průmysl a také zachování průtoků pro vhodný hydroekologický stav v toku. K tomu mají nádrže Skalka a Jesenice vyhrazený letní zásobní prostor o velikosti téměř 60 mil. m³. Na VD Nechranice je alokován zásobní objem 233 mil m³. Na obr. 2 jsou schematicky znázorněny významné odběry vody pro tepelné elektrárny, pro které je zajišťováno kompenzační nadlepšování průtoků pro zajištění odběrů.

Řeka Ohře je zdrojem surové vody pro významný počet tepelných elektráren. Instalovaný výkon tepelných elektráren na Ohři představuje 45 % instalovaného výkonu tepelných elektráren



Obrázek 1. Povodí nádrží vodohospodářských soustav v povodí VD Nechranice



Obrázek 2. Schéma vlivu VD na významné odběry na Ohři

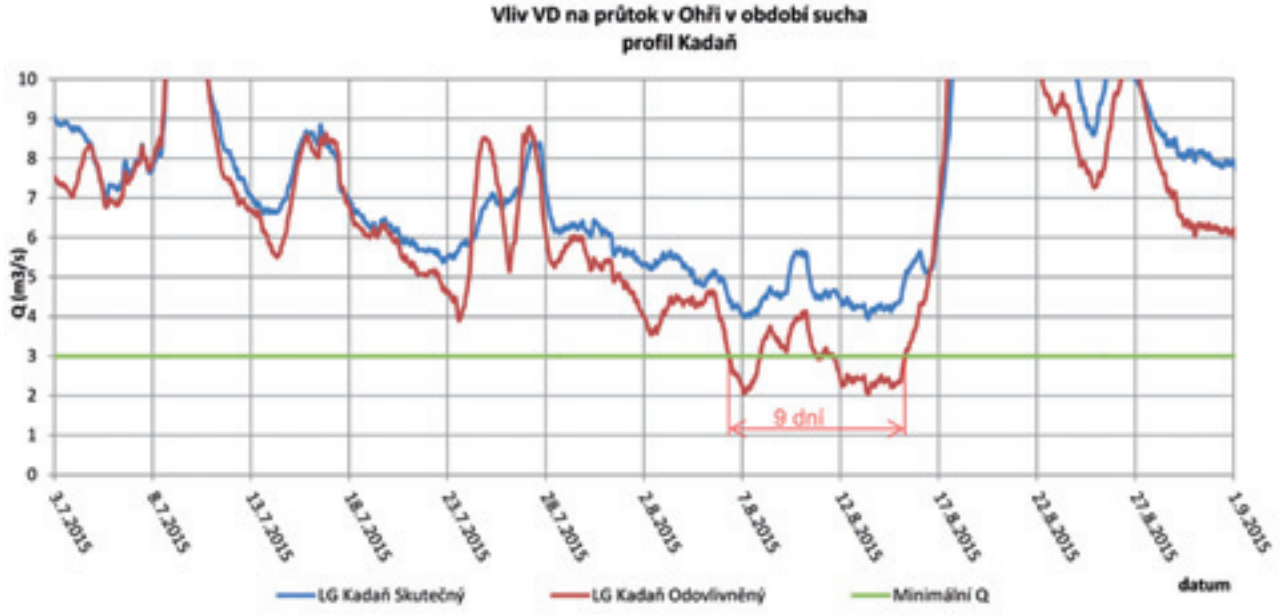
v České republice [5]. S ohledem na množství odběrů nad nádrží Nechranice je kladen velký význam na strategické postupy v soustavě Skalka – Jesenice.

Vlivem vysokých teplot, zvýšeného výparu a nevýrazných srážek v letních měsících roku 2015 docházelo k postupnému propadu vydatnosti odtoku z povodí. Odtoky z vodohospodářské soustavy Skalka – Jesenice byly řízeny tak, aby bylo zajištěno kompenzační nadlepšování průtoků v Ohři pro zajištění hydroekologického stavu a odběrů vody pro energetiku a pro průmysl. To je dodrženo pomocí manipulací na odtocích z nádrží pro zajištění nutných minim v profilech Karlovy Vary-Drahovice 3,8 m³/s a Kadaň 3 m³/s. Manipulace na odtok z VD se upravují s ohledem na odhadovanou bilanci vydatnosti toků v podpovodí a odhadů významných odběrů vody z Ohře.

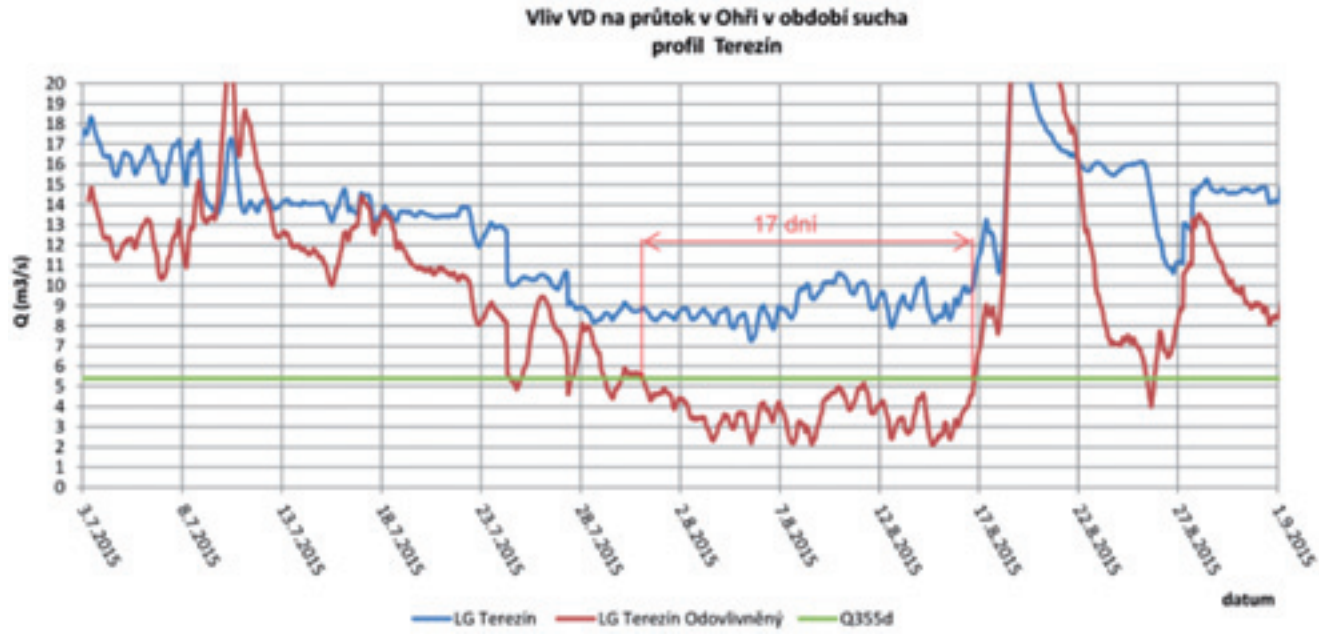
Na grafu 1. je znázorněn výsledný vliv kompenzačního nadlepšování pro profil VD Kadaň s vyznačením minimálního zůstatkového průtoku 3 m³/s pro zachování dobrého hydroekologického stavu na Ohři. U VD Nechranice je situace o poznání lepší. VD Nechranice se svým zásobním objemem 233 mil m³ významně nadlepšuje průtoky na dolní Ohři. Minimální zůstatkový průtok pro odtok z VD Nechranice je stanoven na 8 m³/s. Porovnáme-li minimální zůstatkové průtoky v profilech Kadaň a na odtoku z VD Nechranice (profil Stranná), je v extrémních epizodách sucha nádrží Nechranice skokově zvýšena vodnost Ohře o 5 m³/s.

V konečném výčtu vlivu je vhodné ukázat výsledný vliv vodohospodářské soustavy Skalka – Jesenice – Nechranice na závěrový profil Ohře v Terezíně. V následujícím Grafu 2. je znázorněn skutečný průběh se simulovaným průběhem bez vlivu VD.

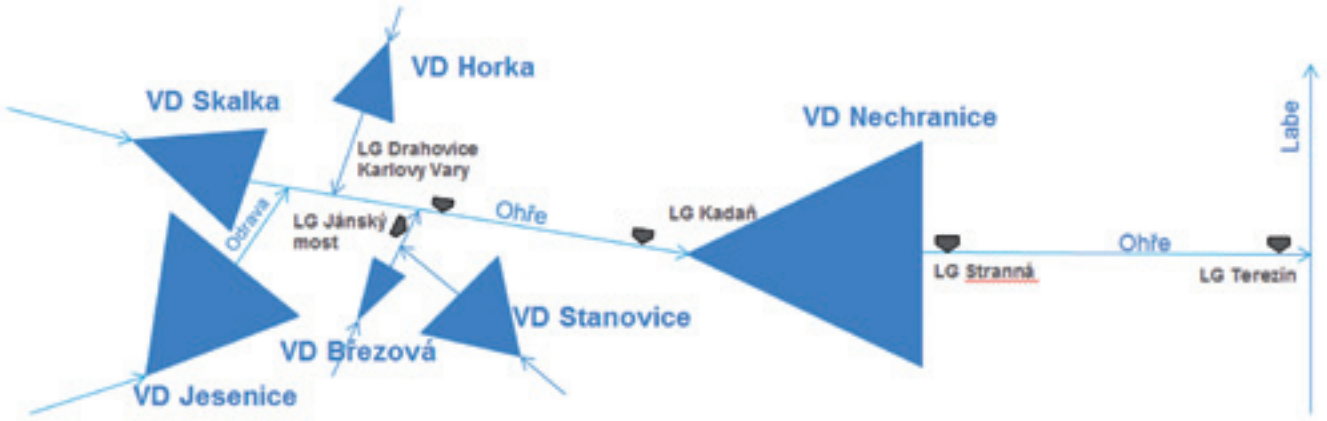
VH řešení soustavy Skalka – Jesenice – Nechranice jsou v případě nadlepšování průtoků pro Ohři dimenzována pro extrémnější průběh sucha, než který proběhl v roce 2015. V součtu mají nádrže Skalka a Jesenice k dispozici v letním období pro kompenzační nadlepšování zásobní objem o velikosti více než 60 mil. m³. V případě nejsuššího průběhu průtoků na Ohři v srpnu 2015 by nádrže



Graf 1. Vliv vodních děl na Ohři na průběh sucha 08/2015 – profil Kadaň



Graf 2. Vliv vodních děl na Ohři na průběh sucha 08/2015 – profil Terezín



Obrázek 3. Schéma vodních děl ovlivňujících povodně na Ohři

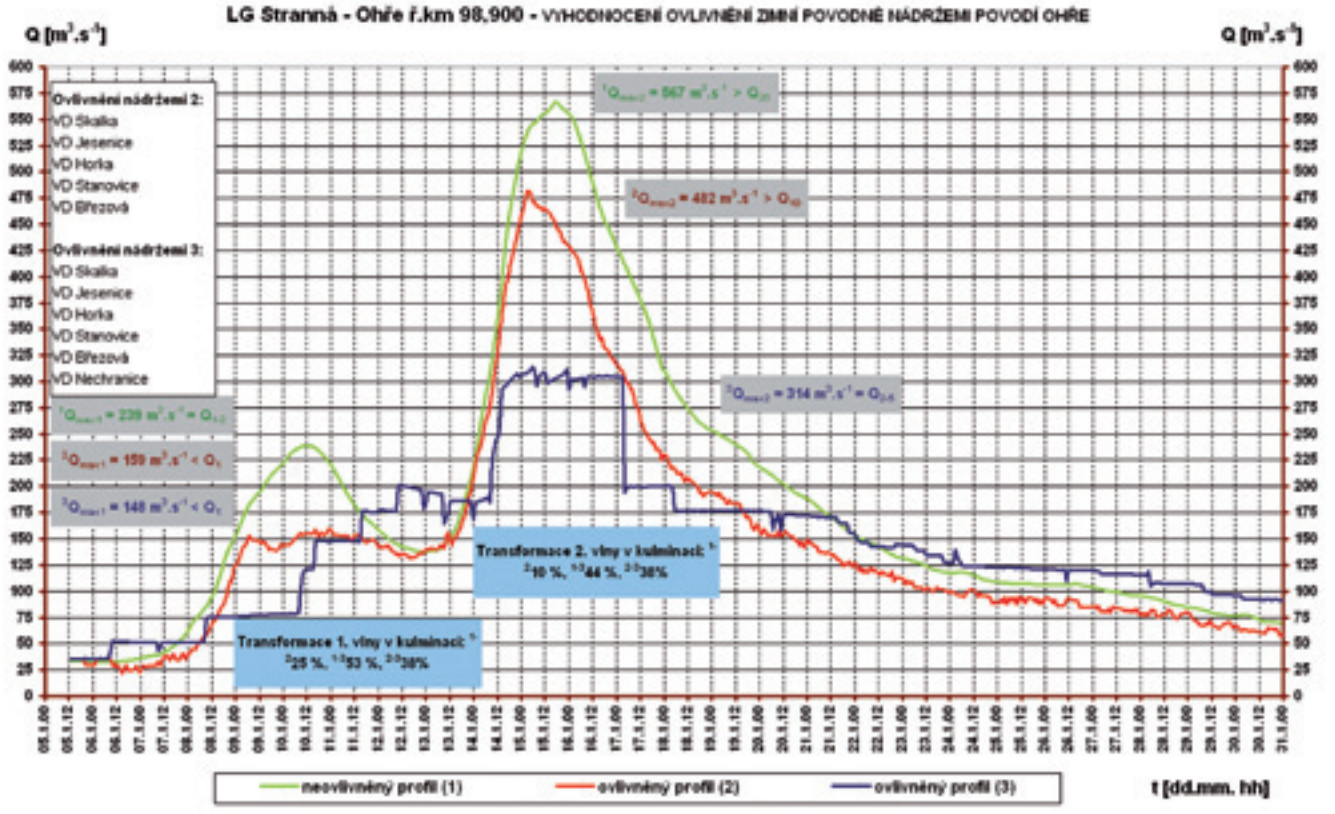
soustavy Skalka – Jesenice dokázaly nadlepšovat průtok v Karlových Varech-Drahovice na úroveň průtoků 3,8 m³/s po dobu 6 až 9 měsíců. VD Nechranice, vzhledem ke svému objemu vody v nádrži, by dokázalo nadlepšovat průtok na dolní Ohři ještě delší časové období. Povyprázdnění zásobního prostoru na nádržích Skalka, Jesenice a Nechranice nebylo v průběhu hydrologicky suchého období roku 2015 oproti minulým rokům ničím výjimečné.

Vliv vodních děl na povodně

U opačného hydrologického extrému, povodní, mají potenciální vliv na hydrologickou situaci na Ohři VD Skalka, Jesenice, Horka, Březová a Stanovice. Ve strategii řízení jsou opět vodní díla rozdělena do vodohospodářských soustav, které v prvním kroku chrání před povodněmi lokálně a v druhém kroku podle hydrologického vývoje a stavu naplněnosti retenčních prostorů mohou vhodnými manipulacemi snížit kulminační vlnu na celé Ohři. V obecném případě (plošné srážky, tání sněhu) postupu povodně po toku, dokáží jednotlivé soustavy snížit postupující kulminační vlnu na Ohři svojí lokální ochranou pod vodními díly. Je to dáno vhodným dispozičním umístěním všech vodních děl.

Hodnocení povodně 01/2011

Povodeň v lednu 2011 byla způsobena razantním táním sněhu za doprovodu srážek a teplého větru. Zásoba vody ve sněhu po uzávěrový profil VD Nechranice kulminovala na hodnotě 418 mil. m³, což představuje téměř dvojnásobek dlouhodobého průměru kulminačních hodnot. Zajímavým efektem, který nastal před povodní, byla teplotní inverze a urychlení aktivace tání sněhu v horských oblastech, oproti středním a dolním výškovým polohám. Tento meteorologický stav zapříčinil start tání sněhu ve všech polohách najednou.



Graf 3. Ukázka vlivu vodních děl na povodeň 01/2011 na Ohři – profil Stranná, odtok z VD Nechranice

Tání sněhu bylo zejména urychleno srážkovou činností a teplým větrem. Výsledná povodeň z tání sněhu dosáhla na Ohři kulminačních průtoků odpovídajících desetileté povodni. Obdobných kvantilů extremity kulminačních průtoků dosáhly i toky v horských oblastech. Pro zvládnutí povodně se v operativě státního podniku Povodí Ohře poprvé využily předpovědi z modelu Hydrog a vlastní stanovení rozdělení zásob vody ve sněhu a jejich charakteristik pro potřeby modelování. Tato modelová podpora pomohla se na povodeň připravit.

Na předcházejícím Grafu 3. je znázorněn vliv VD na Ohři třemi průběhy povodňové vlny. Zelený průběh charakterizuje průběh povodně bez vlivu vodních děl, červený průběh charakterizuje průběh s vlivem pouze nádrží na horní Ohři a modrý průběh (skutečně naměřený) charakterizuje ovlivněnou povodeň. Při povodni v lednu 2011 byl vliv všech nádrží významný. Transformační účinek mezi neovlivněnou a transformovaným průběhem povodně pro profil LG Stranná byl v kulminaci 44 %, povodeň byla snížena z 567 m³/s na 314 m³/s, tj. Q_{20} na Q_{2-5}.

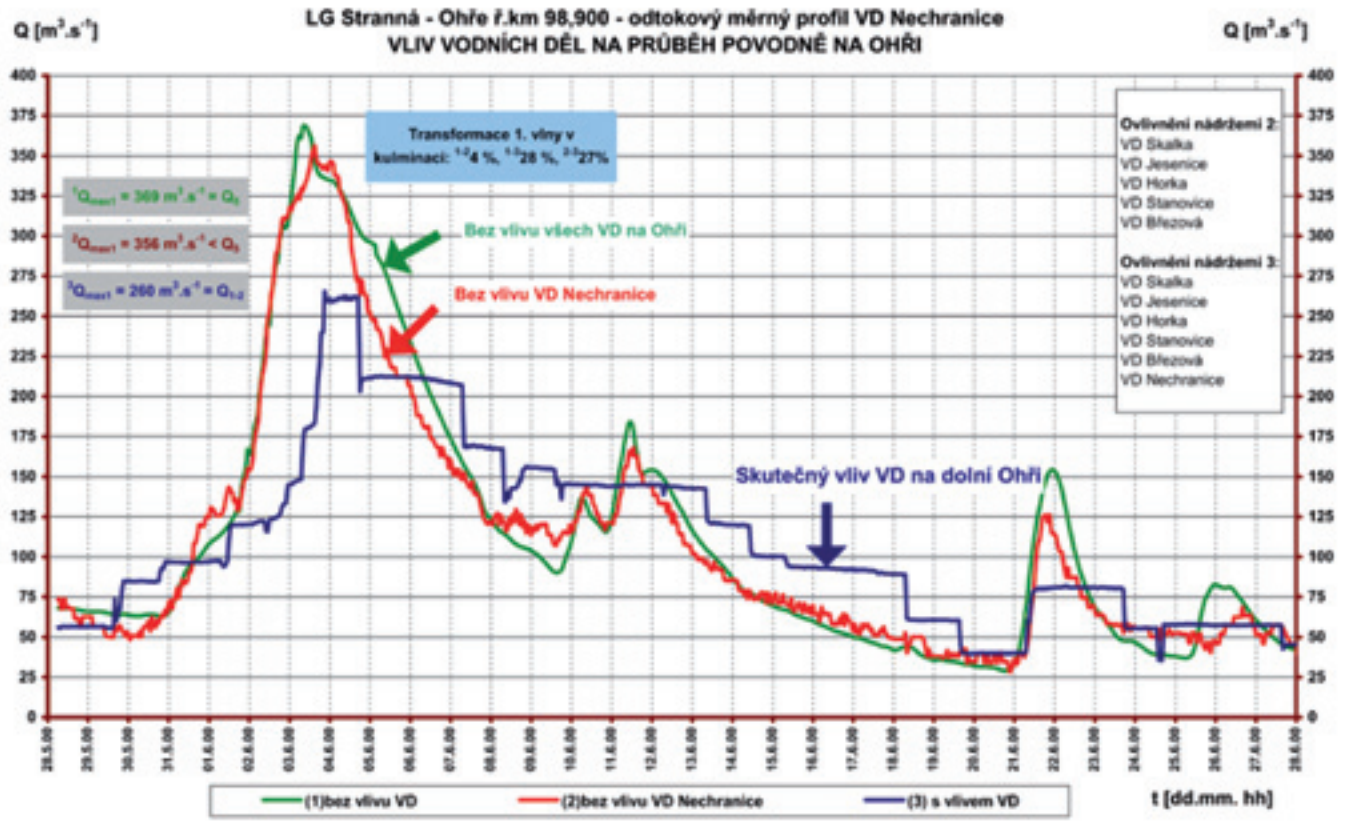
Hodnocení povodně 06/2013

Povodeň v červnu 2013 byla povodeň z regionálního dlouhodobého deště, který zasáhl celou oblast Čech. Vlastní povodni předcházelo výrazně srážkově nadprůměrné období května 2013. Měsíční srážkový úhrn měsíce května dosahoval v územní působnosti s. p. Povodí Ohře 150 % dlouhodobého průměru, v případě Karlovarského kraje až 200 %. Příčinná srážka v období od 31. 5. 2013 do 4. 6. 2013 dosáhla plošně 80 mm, v horských oblastech Krušných hor byly ojediněle zaznamenány pětidenní úhrny dosahující 140 mm. Výsledná odtoková reakce způsobila odtoky o velikosti pětileté povodně, v horských oblastech byly dosaženy kulminační průtoky odpovídající až dvacetileté povodni.

Obdobně jako při povodni 01/2011 bylo v hodnocení opět provedeno porovnáním vlivu vodních děl na průběh povodně. U této povodně nedošlo k tak významnému snížení transformace povodně, jako tomu bylo v případě povodně 01/2011. Ačkoli několik vodních děl lokálně významně ovlivnilo průběh povodňové vlny, na kulminační vlnu postupující Ohří jejich vliv přílišný význam neměl. Hlavním důvodem byl časoprostorový postup srážkové činnosti v povodí. Většina srážek postupovala proti proudu řeky. Výsledkem tohoto pohybu srážek byla dlouhá kulminační vlna, u které nádrže v horní části povodí ovlivnily sestupnou část povodňové vlny probíhající na Ohři. Navíc některá vodní díla do povodně nezasáhla, protože jejich kulminační přítok do nádrže byl menší, než je stanovený neškodný odtok pod vodním dílem. V Grafu 4. je opět znázorněn vliv VD na Ohři třemi průběhy povodňové vlny. Zelený průběh charakterizuje průběh povodně bez vlivu vodních děl, červený průběh znázorňuje průběh s vlivem pouze nádrží na horní Ohři a modrý průběh (skutečný) charakterizuje ovlivněnou povodeň. Transformační účinek mezi neovlivněným a transformovaným průběhem povodně pro profil LG Stranná byl v kulminaci 28 %, povodeň byla snížena z 369 m³/s na 260 m³/s, tj. z Q_5 na Q_{1-2}. Výrazný transformační efekt měla pouze nádrž Nechranice a malou měrou se na ovlivnění kulminace povodně podílela vodárenská nádrž Stanovice se snížením kulminace o 13 m³/s.

Závěr

Po každém hydrologickém extrému je snahou vzniklou situaci z pohledu manipulací na vodních dílech v nejširší míře kriticky posoudit. Ačkoliv byly postupy manipulací během popsaných hydrologických extrémů hodnoceny, nedospělo se ve výsledku



Graf 4. Ukázka vlivu vodních děl na povodeň 06/2013 na Ohři – profil Stranná

k rozhodnutí, stávající principy a postupy v řízení vodních děl měnit. Zkušenosti z průběhu povodňových situací ověřily v operativním řízení využití některých nových přístupů. U povodně 01/2011 byla ověřena funkčnost epizodního srážkoodtokového modelu Hydrog. Byly upraveny schematizace v modelových běžích, byly zpřesněny a rozšířeny výpočty pro rozdělení zásoby vody ve sněhu v dílčích povodích nádrží. Povodeň v 06/2013 přinesla náměty na zpřesnění velikosti neškodného odtoku pod VD Nechranice či připravovanou rekonstrukci krajních polí bezpečnostního přelivu VD Nechranice. Rekonstrukce se týká výměny hydrostatických segmentů bezpečnostního přelivu za klapkové uzávěry se zvýšenou hradící výškou o 1,15 m. Zvýšení hradící výšky bezpečnostního přelivu přinese mj. zvětšení ovladatelného retenčního prostoru z 36,5 mil. m^3 na 51,7 mil. m^3.

Zde je na místě vyzdvihnout prozíravost našich předchůdců, kteří nám připravili komfortní situaci z hlediska situování vodních nádrží, rozdělení jejich nádržních prostorů a technických možností vodních děl, díky kterým mají v případě hydrologických extrémů velmi dobrou výchozí pozici pro jejich zvládání.

Literatura

[1] KLEČKA V., TANAJEWSKI M., RENGER T. *Povodňová zpráva 01/2011, Povodí Ohře s.p.*

[2] TANAJEWSKI M., RENGER T. *Povodňová zpráva 06/2013, Povodí Ohře s.p.*

[3] ČSN 75 2405. *Vodohospodářská řešení vodních nádrží.*

[4] TNV 75 2910. Manipulační řády vodních děl na vodních tocích.

[5] Webový průzkum provozovatelů tepelných elektráren v ČR s instalovaným výkonem vyšším než 100 MW, ČEZ, a.s., Elektrárna Počerady a.s., Sev.en EC a.s., Elektrárna Dětmarovice, a.s., Sokolovská uhelná, právní nástupce a.s., Elektrárny Opatovice, a.s., Energotrans a.s., Alpiq Generation s.r.o., TAMEH Czech s.r.o., United Energy, a.s., Veolia Energie ČR, a.s., Plzeňská teplárenská, a.s., Pražská teplárenská, a.s., Mondi Štětí, a.s., Unipetrol RPA, s.r.o.

VPLYV VODNÝCH STAVIEB ORAVA A LIPTOVSKÁ MARA NA ZNIŽOVANIE RIZIKA TVORBY ĽADOCHODU A SRIEŇOV

Peter Caban, Ján Vykroč, Branislav Šípka

Slovenský vodohospodársky podnik š.p., OZ Piešťany, Správa povodia horného Váhu Ružomberok, Jančeka č. 36, 034 01 Ružomberok

Abstrakt

Novým účelom vo využívaní vôd zachytených vo vrcholovej nádrži Liptovská Mara sa stalo nadlepšovanie prietokov v toku Váh počas zimnej prevádzky pri zvýšenej tvorbe ľadochodu a srieňov. Kritický úsekom je lokalita Kraľovany, kde sa počas najmä mesiaca január vytvára v koryte toku Váh pod sútokom s Oravou ľadová bariéra, ktorá ohrozuje železničnú trať Bratislava – Košice, štátnu cestu a obec Kraľovany. Operatívnym nadlepšením prietokov v tokoch Váh a Orava správca toku zvyšuje teplotu vody a tým rozrušuje ľadovú bariéru. Zároveň v toku Orava znižuje riziko vytvárania srieňov v koryte.

Kľúčove slová: *VD Oravská priehrada–Tvrdošín; VD Liptorská Mara-Bešeňová; ľadové javy; zimná prevádzka.*

Abstract

A flow control on the upstream reservoir Liptovská Mara became a new purpose of water storage during winter operation, when the ice cover in the river Váh and Orava occurs. A critical area is located on the river Váh at Kraľovany downstream of the junction with Orava river, where, mostly during January, there is a river ice jam formed, that endanger railway line from Bratislava to Košice, state route and Municipality Kraľovany. By operational flow controlling, a watercourse administrator rise the temperature of water in the river Váh and Orava that helps to destruct ice jam. By the same time, it reduces the risk of ice formation in the river Orava.

Keywords: *dam Oravská priehrada; dam Liptovská Mara; river ice; winter operation.*

Úvod

Energetické vodné dielo Krpeľany–Sučany–Lipovec bolo realizované v 50. rokoch 20. storočia a ukončené začiatkom 60. rokov. Dotované je vodami Váhu a jeho celková dĺžka vzdutia je cca 6,5 km. Vzdutie pri maximálnej prevádzkovej hladine zasahuje až ku obci Kraľovany t.j. do lokality, kde sa do Váhu vlieva druhý najvodnatejší tok na Slovensku Orava. Kraľovany sú križovatkou železníc smerujúcich z Košíc do Bratislavy a zároveň jediným železničným prepojením s regiónom Orava. Železničný most križuje tok Orava. Priamo na sútoku s Váhom. Dôležitým faktom je, že súbežne s tokom Váh od Kraľovian smerom na juh Slovenska vedie najfrekventovanejšia cestná komunikácia.

Táto tranzitne kritická lokalita trás železnice, cesty a vodného toku sa stáva problematickou v zimnom období, keď pri teplotách od -7°C dochádza k vytváraniu srieňov a ľadov, ktoré sa akumulujú v nádržnom priestore priehrady Krpeľany a objemom týchto ľadových úkazov ohrozujú železnicu a štátnu cestu v obci Kraľovany.

V 70. rokoch minulého storočia bol pokus rozrušovať túto ľadovú bariéru detonáciami priamo v toku, avšak žiadúci účinok sa nedostavil. Dôležitejším faktorom bolo a je predchádzať vytváraniu takýchto úkazov. Jedinou možnosťou je v dobe zimného režimu pri teplotách v koryte toku Orava

1. pod -7°C prietok nadlepšiť najmenej 20 m³/s
2. pod -15°C prietok nadlepšiť najmenej 30 m³/s

Najväčšie vodné dielo na Slovensku Oravská priehrada z hľadiska využiteľného objemu nádrže má túto povinnosť zakotvenú priamo v manipulačnom poriadku. Vychádza sa pritom z predpokladu, že v nádržnom priestore je dostatok vody.

Základné parametre VS Orava:

typ priehrady:	betónová gravitačná, vyľahčená	
max. výška priehrady:	31,0	m
celkový objem nádrže:	373,146	mil. m³
zásobný zimný priestor:	303,794	mil. m³
retenčný zimný priestor:	19,960	mil. m³

Pokiaľ však vodná stavba Oravská priehrada nestíha zvyšovaním teploty v toku Orava zabezpečiť rozpúšťanie ľadov v Krpeľanoch, pomáha túto funkciu plniť druhá vrcholová nádrž Liptovská Mara.

Základné parametre VS Liptovská Mara:

typ priehrady:	heterogénna zemná hrádza s hlinitým tesnením	
max. výška priehrady:	45,0	m
celkový objem nádrže:	361,900	mil. m³
zásobný priestor:	320,000	mil. m³
retenčný priestor:	16,900	mil. m³

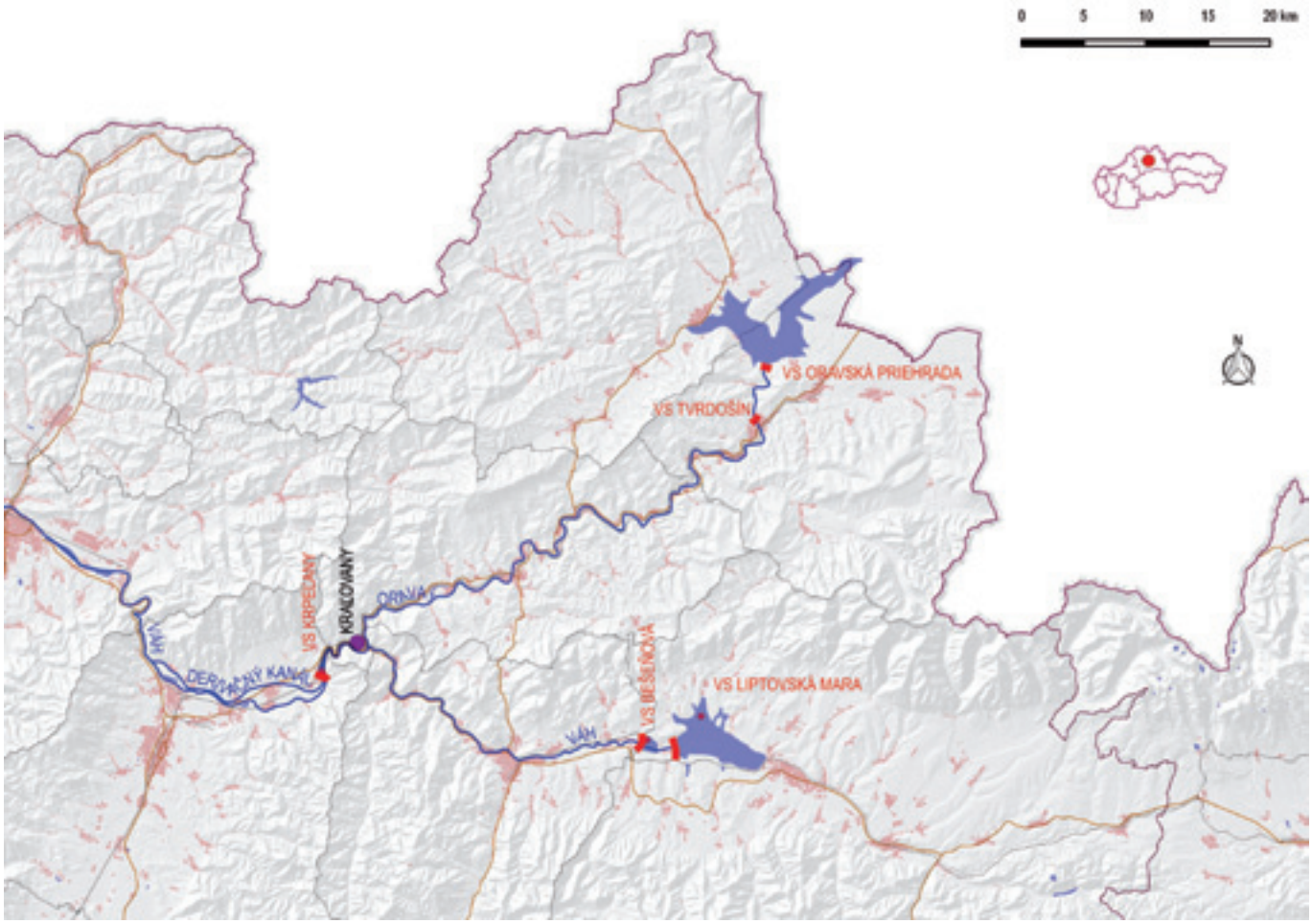
V manipulačnom poriadku tohto vodného diela však funkcia nadlepšovania prietokov vo Váhu, a tým aj zvyšovania teploty, doposiaľ nie je zakotvená.

Z hľadiska histórie bol najkritickejším obdobím rok 2012, keď bola reálna hrozba, že v Kraľovanoch na sútoku Oravy a Váhu ľady ohrozia železničný most.

V zimnej sezóne 2016/2017 došlo k veľmi dobrej súčinnosti prevádzkovania vodných stavieb Oravská Priehrada a Liptovská Mara, takže ku kritickému stavu na problematickom mieste Kraľovany už nedošlo a to napriek tomu, že sa jednalo o mimoriadne chladné obdobie (viď Graf 1. a Graf.2).

Záver

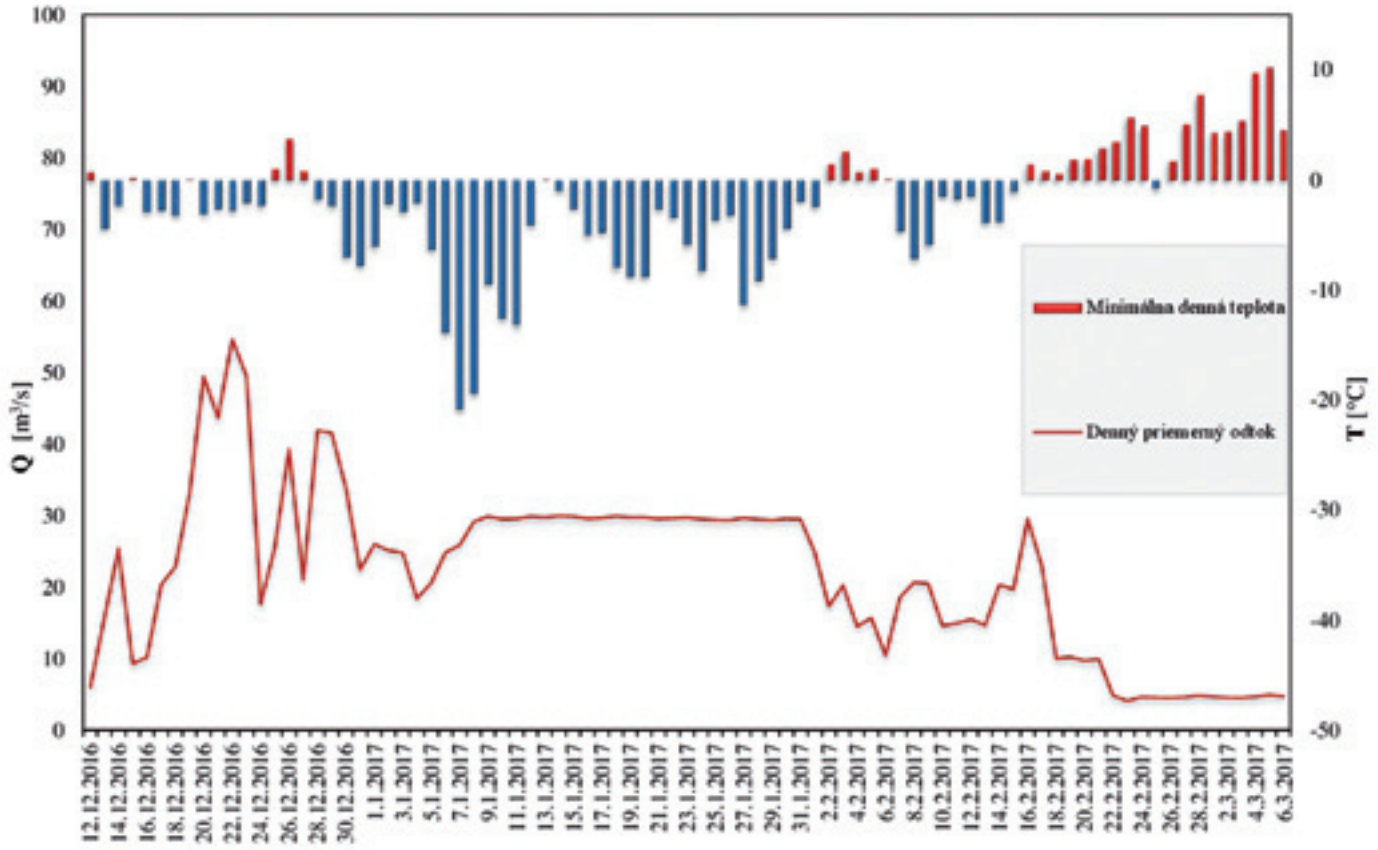
Preukázalo sa, že len spoločnou citlivou manipuláciou s objemami nádržných priestorov Oravská priehrada a Liptovská Mara je možné predísť kritickým ľadovým úkazom v lokalite Kraľovany.



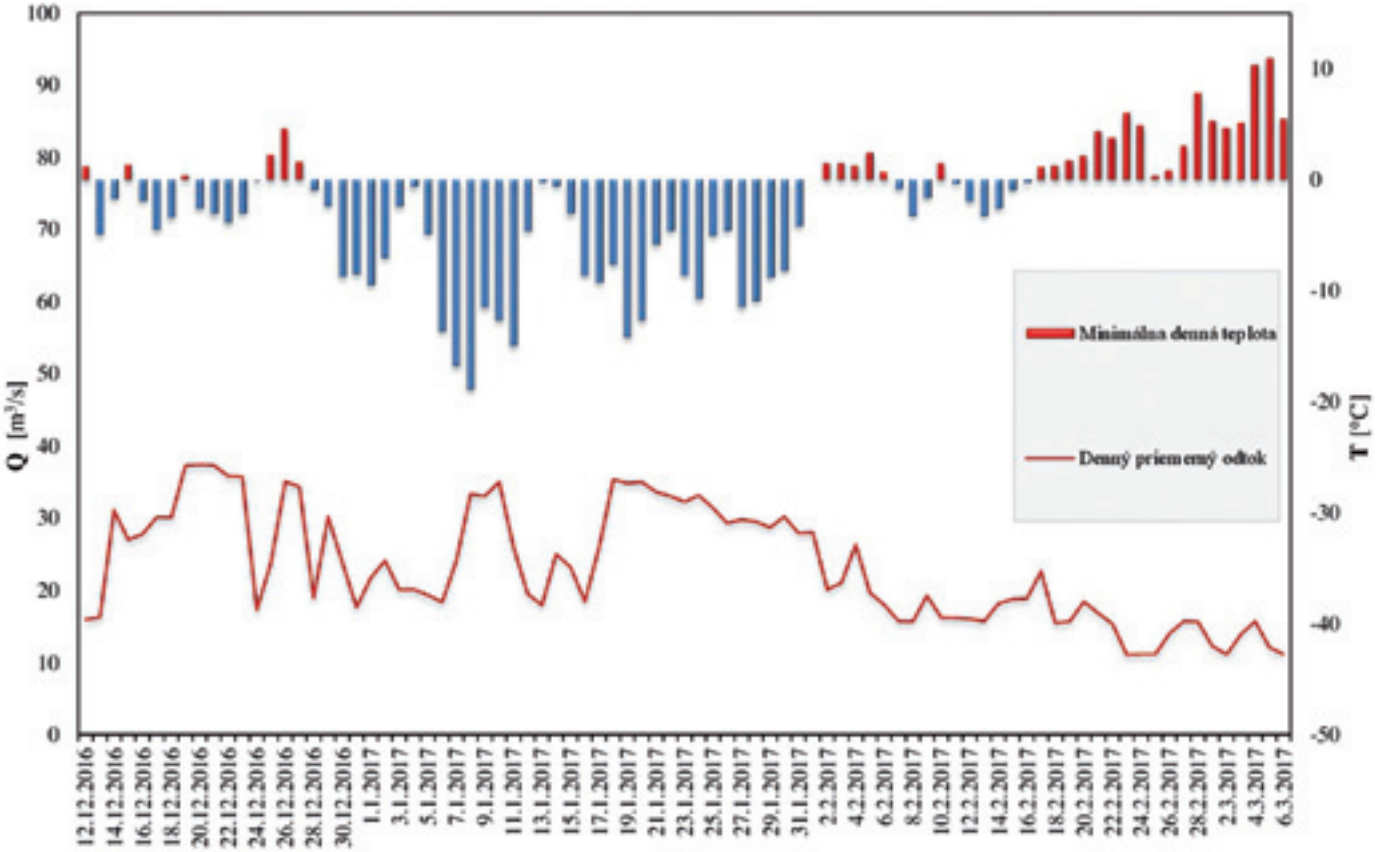
Obrázok 1. Prehľadná situácia

Obrázok 2. Železničný most na sútoku Oravy s Váhom

Obrázok 3. Vytvorenie prúdnice na sútoku Oravy a Váhu nadlepšením prietoku



Graf 1. Priebeh minimálnych teplôt na Orave a priemerný denný odtok z vyrovnávacej nádrže Tvrdošín pod VS Orava



Graf 2. Priebeh minimálnych teplôt na Liptove a priemerný denný odtok z vyrovnávacej nádrže Bešeňová pod VS Liptovská Mara

JAK DOBŘE NAPLÁNOVAT ZMÍRŇUJÍCÍ OPATŘENÍ NA VODNÍCH NÁDRŽÍCH

Libuše Opatřilová

Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5-Smíchov,
tel. +420 221 401 970, libuse.opatrilova@pvl.cz

Abstrakt

Příspěvek se zabývá výsledky práce pracovní skupiny pro hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných vodních útvarů vymezených z důvodu akumulace vod (vodní útvary s nádržemi a jinými akumulacemi vod), která funguje pod pracovní skupinou Evropské komise Ecostat. Tato skupina vydala na konci roku 2016 zprávu zabývající se zmírňujícími opatřeními pro dosažení dobrého ekologického potenciálu silně ovlivněných vodních útvarů ovlivněných akumulací vod. Současně se příspěvek zaměřuje na analýzu situace hodnocení těchto vodních útvarů a navrhování zmírňujících opatření v podmínkách státního podniku Povodí Vltavy.

Klíčová slova: *silně ovlivněný vodní útvar; ekologický potenciál; zmírňující opatření.*

Abstract

Results of the working group for the evaluation of the ecological potential of heavily modified water bodies designated for the water storage (water bodies with reservoirs and other impoundments), which works under the Ecostat working group, are presented. At the end of 2016, this group issued a report on mitigation measures for reaching Good Ecological Potential of heavily modified water bodies impacted by water storage. At the same time, the contribution focuses on the analysis of the assessment of these water bodies and the design of mitigation measures in the conditions of the Povodí Vltavy, State Enterprise.

Keywords: *heavily modified water body; ecological potential; mitigation measure.*

Úvod

Silně ovlivněný vodní útvar (HMWB z anglického Heavily Modified Water Body) je útvar povrchové vody, který má v důsledku lidské činnosti podstatně (hydromorfologicky) změněný charakter [1]. V povodí Vltavy a ostatních přítoků Dunaje bylo vymezeno celkem 352 vodních útvarů, z toho je 30 silně ovlivněných. Z těchto 30 jsou tři vodní útvary na tekoucích vodách, 15 vodních útvarů jsou vodní nádrže a 12 vodních útvarů jsou rybníky. Jako HMWB jsou zařazeny velké vodní nádrže a rybníky, na tekoucích vodách se jedná o tři vodní útvary na Vltavě – od Malše po vzdutí nádrže Hněvkovice, od hráze nádrže Orlík po vzdutí nádrže Slapy a od hráze nádrže Slapy po tok Sázava.

Hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných vodních útvarů se skládá podobně jako u ekologického stavu z hodnocení složek biologické kvality a podpůrných složek – hydromorfologie, všeobecných fyzikálně-chemických parametrů a specifických syntetických a nesyntetických znečišťujících látek [2] [3].

Zmírňující opatření jsou opatření navrhovaná v silně ovlivněných vodních útvarech, které zmírní nepříznivé působení v důsledku užívání vodního útvaru (v případě nádrže je to akumulace vody) a tím zlepší ekologické podmínky [4].

Zpráva evropské pracovní skupiny je výsledkem zpracování dotazníků, které byly vyplněny jednotlivými členskými zeměmi [5].

Výsledky hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných vodních útvarů v povodí Vltavy

Silně ovlivněné vodní útvary na tekoucích vodách byly vyhodnoceny pro druhé plány dílčích povodí [6], a to dva ve středním (hodnoceny pouze na základě fyzikálně-chemických a chemických parametrů) a jeden v poškozeném (Vltava od Malše po vzdutí nádrže Hněvkovice) ekologickém potenciálu.

Z 15 nádrží byly vyhodnoceny dvě v dobrém a lepším ekologickém potenciálu (Nýrsko a Žlutice), tři ve středním potenciálu (Hracholusky, Kořensko, Slapy), šest v poškozeném potenciálu (Orlík I, II, III, Hněvkovice, Římov a Švihov) a dvě ve zničeném potenciálu (České údolí a Lipno I). Jedna nádrž nebyla vyhodnocena z důvodu nedostatku dat (Lučina). Zhoršené hodnocení bylo dáno především stavem biologických složek fytoplankton a ryby a parametry celkový fosfor, průhlednost, teplota a reakce vody (pH) a nasycení kyslíkem.

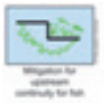
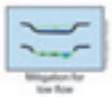
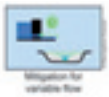
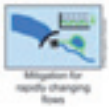
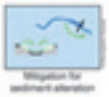
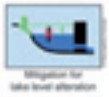
V případě rybníků byl stanoven potenciál poškozený (Staňkovský rybník) nebo zničený (Bezdrev, Dehtář, Horusický, Rožmberk, Svět). Na polovině rybníků (tj. šesti) nemohl být ekologický potenciál pro plány povodí vyhodnocen z důvodu nedostatku dat (útvary byly nově vymezené v roce 2013), nicméně dle pozdějšího vyhodnocení [7] všech šest rybníků bylo zařazeno do zničeného stavu (Holná, Kacležský, Dvořiště, Záblatský, Olšina a V. Dářko). Problémovými parametry byly opět fytoplankton (ryby nebyly hodnoceny), celkový fosfor, průhlednost, nasycení kyslíkem, teplota a reakce vody, v jednom případě (Rožmberk) také železo.

Plánování zmírňujících opatření pro dosažení dobrého ekologického potenciálu

Zmírňující opatření, navržená v druhých plánech dílčích povodí [6], byla cílená především na problematiku eutrofizace. Nicméně důvod pro vymezení silně ovlivněných vodních útvarů je dán změněnou hydromorfologií, včetně ovlivnění hydrologie ve vodních útvarech pod nádržemi, a očekává se, že budou navržena zmírňující opatření i na tyto dopady. Seznam zmírňujících opatření, které uvádí evropská zpráva [4] jako příklady „dobré praxe", uvádí tabulka 1.

Jak vyplývá z tabulky, zmírňující opatření se týkají především vodních útvarů navazujících na vodní nádrže, kde je vlivem činnosti nádrží změněn hydrologický a teplotní režim a které jsou v současné době v České republice považovány za přirozené,

Tabulka 1. Seznam zmírňujících opatření pro silně ovlivněné vodní útvary užívané pro akumulaci vody

Hydromorfologické problémy spojené s využitím vodních útvarů pro akumulaci vod	**Zmírňující opatření**	**Piktogram**
Protiproudové a poproudové zprůchodnění pro klíčové druhy ryb	rybí přechod, obtokový kanál, výjimečně rybí výtah	
	clony nebo turbíny přátelské k rybám u poproudové migrace	
	odchyt, přeprava a vypuštění ryb v případech, kdy všechna jiná řešení jsou technicky neproveditelná	
Nízké průtoky	klíčovým opatření je zmírnění nízkých průtoků dodatečnými průtoky	
	úprava morfologie toku	
Variabilita proudění	instalace komponentů zajišťujících změnu dynamiky a variabilitu proudění v úseku vodního toku pod vzdutím	
Průtoky dostačující pro migraci ryb	zajištění průtoku k podpoře ryb migrujících na velké vzdálenosti	
Rychle se měnící průtok (špičkování)	redukce rozsahu špičkování	
	přemístění výpusti	
	redukce rychlostí proudění a zajištění úkrytů zlepšením struktur uvnitř koryta	
	instalace externí vyrovnávací nádrže	
Transport sedimentů	zajištění průtoků, které mobilizují sediment po proudu od vzdutí	
	obnovení bočních erozních procesů	
Toky se vzdutými úseky	obtoková koryta kolem vzdutých úseků a bariér	
	redukce úrovně nadržení pro nárust výskytu habitatů s tekoucí vodou	
	obnovení komunikace s nivou (přítoky, ramena)	
	zlepšení habitatů uvnitř koryta	
Změna fyzikálně-chemických parametrů	flexibilní vypustní zařízení nebo jeho umístění ve více úrovních	
	ovládání hladiny v nádrži tak, aby co nejvíce napodobovala přirozenou teplotu vody v úseku pod přehradou	
Změna hladiny v nádržích/jezerech	redukce odběru vody v ekologicky citlivém období	
	zvýšení přítoků pro minimalizaci vlivu odběrů vody	
	zlepšení propojení s přítoky a vytvoření zátok	

na rozdíl od praxe většiny ostatních členských států. V povodí Vltavy se jedná především o vliv vodního díla Vřesník na toku Želivka.

V povodí Vltavy je možno za jeden z problémů související s hodnocením ekologického stavu a potenciálu označit vodní útvary s přítomností většího množství rybníků [8]. Vzhledem k jejich hydromorfologickému ovlivnění a přerušované kontinuitě toku se také nabízí možnost jejich vymezení jako silně ovlivněných vodních útvarů.

Dalším, dosud nepříliš prostudovaným, problémem, souvisejícím s akumulací vod, je vliv výkyvů průtoků na ekologický stav toků, na kterých jsou na jezech instalovány malé vodní elektrárny.

Závěr

Vodní nádrže jsou v České republice jednotně vymezeny jako silně ovlivněné vodní útvary. Hodnocení ekologického potenciálu vodních nádrží je v současné době zaměřeno především na živinové podmínky. Na evropské úrovni se však pracovní skupiny rovnocenně zabývají i stavem hydromorfologie silně ovlivněných vodních útvarů a návrhem zmírňujících opatření. Je proto potřeba i této oblasti věnovat dostatečnou pozornost, včetně problematiky vodních útvarů pod nádržemi a vodních útvarů s přítomností většího počtu rybníků, příp. vodních útvarů s velkým počtem jezů a s výkyvy průtoků.

Literatura

[1] Směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady z 23. října 2000 ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. Aktualizovaný pracovní překlad s anglickým originálem. Praha, MŽP, Odbor ochrany vod, 2005.

[2] OPATŘILOVÁ, L., NĚMEJCOVÁ, D., ZAHRÁDKOVÁ, S., MACIAK, M., HORKÝ, P., DESORTOVÁ, B., TUŠIL, P., DURČÁK, M. Metoda pro hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých vodních útvarů – kategorie řeka. VÚV TGM, v.v.i. pro MŽP Praha, certifikovaná metodika. 2013.

[3] BOROVEC, J., HEJZLAR, J., ZNACHOR, P., NEDOMA, J., ČTVRTLÍKOVÁ, M., BLABOLIL, P., ŘÍHA, M., KUBEČKA, J., RICARD, D., MATĚNA, J. Metodika pro hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých vodních útvarů – kategorie jezero. Biologické centrum AV ČR, v.v.i. pro MŽP Praha, certifikovaná metodika. 2014.

[4] HALLERAKER, J. H. a kol. Working Group ECOSTAT report on common understanding of using mitigation measures for reaching Good Ecological Potential for heavily modified water bodies – Part 1: Impacted by water storage; EUR 28413; doi:10.2760/649695. 2016.

[5] OPATŘILOVÁ, L. Vodní nádrže jako silně ovlivněné vodní útvary anebo co po nás Evropa vlastně chce? V KOSOUR, D. et al. (ed.) Vodní nádrže 2015, 6.–7. října 2015, Brno, Česká republika. Brno: Povodí Moravy, s.p., 2015. ISBN 978-80-260-8726-7.

[6] Plány dílčího povodí Dolní Vltavy, Horní Vltavy, Berounky a ostatních přítoků Dunaje, 2016. Povodí Vltavy, státní podnik. http://www.pvl.cz/planovani-v-oblasti-vod/schvalene-plany-dilcich-povodi.

[7] POTUŽÁK, J., DURAS, J. Rybníky jako HMWB – jak přistoupit k hodnocení jejich ekologického potenciálu? V ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, J. a PECINOVÁ, A. (ed.) Vodárenská biologie 2017, 1.–2. února 2017, Praha, Česká republika, 2017. ISBN 978-80-86832-98-2.

[8] OPATŘILOVÁ, L. Ekologický stav malých toků v povodí horní Vltavy a problematika přítomnosti rybníků v jejich povodí. V DAVID, V. a DAVIDOVÁ, T. (ed.) Rybníky 2017, 15.–16. června 2017, ČZU Praha, Česká republika. ČVUT v Praze, 2017. ISBN 978-80-01-06166-4.

17 LET RÁMCOVÉ SMĚRNICE O VODĚ – PŘÍNOS ANO NEBO NE?

Kateřina Čudková

Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno, tel. +420 541 637 542, cudkova@pmo.cz

Abstrakt

Příspěvek ve své úvodní části rekapituluje hlavní cíle, nástroje a měřítko environmentální politiky v kontextu se Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky, neboli Rámcové směrnice o vodě, z pohledu uplynulých 17 let po jejím přijetí, včetně nastínění aktuálního stavu a informaci o přípravě její aktualizace.

V hlavní části je problematika plánování v oblasti vod popsána z pohledu Povodí Moravy, s.p. nejen jakožto pořizovatele Plánů oblastí/dílčích povodí, ale také z pohledu správce povodí a vodních toků. Pozornost je převážně zaměřena na nedostatky zjištěné při samotné přípravě Plánů povodí v prvních dvou plánovacích cyklech, na jejich přínos a využití v praxi.

Závěrem příspěvek shrnuje nejpalčivější problémy, jejichž vyřešení je jedinou možnou cestou k dosažení nejen dobrého stavu vod, ale také trvale udržitelného užívání vody a krajiny kolem nás.

***Klíčová slova*:** *Rámcová směrnice o vodě; správce povodí; Plány povodí; implementace opatření.*

Abstract

The paper, in its introduction, recapitulates the main objectives, tools and measures of environmental policy in the context of Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy, namely the Water Framework Directive, from the point of view of the past 17 years after its adoption, including an outline of the current situation and information on the preparation of its update.

In the main part, water planning process issues are described from the point of view of the Povodí Moravy, s.p., not only as a competency authority for the elaboration of River Basin Management Plan, but also from the point of view of a river basin manager and watercourse manager. Attention is mainly focused on the gaps found during the preparation of the River Basin Management Plans in the first two planning cycles, their contribution and their use in practice.

In conclusion, the paper summarizes the most pressing problems, the solution of which is the only possible way to achieve not only good water status but also the sustainable use of water and the landscape around us.

Keywords: *Water Framework Directive; River Basin Authority; Water Management Plan; Implementation of Measures.*

Úvod

Hlavním účelem Rámcové směrnice o vodě (dále jen RSV) [1] bylo a stále je stanovit rámec pro ochranu všech vod zahrnující vodní toky, jezera, brakické a pobřežní vody a vody podzemní. Cílem této ochrany je nejen zabránit dalšímu zhoršování stavu vod, ale především prostřednictvím specifických opatření dosáhnout jeho zlepšení. Jen tak bude možné zajistit trvale udržitelné hospodaření s vodními zdroji a jejich ochranu, stejně jako návrh opatření pro udržitelné, vyvážené a vyrovnané užívání vod.

Nástrojem pro takto ambiciózně nastavené cíle má dle RSV být Plán povodí a Program opatření. Samotné Plány povodí jsou děleny do tří úrovní:

- Mezinárodní = Plán mezinárodních povodí;
- Národní = Národní plány povodí;
- Regionální = Plány oblastí povodí, resp. Plány dílčích povodí.

Přínosy Rámcové směrnice o vodě 17 let od jejího přijetí

Přijetím RSV byl vytvořen na úrovni Evropské unie (EU) zejména právní nástroj pro ochranu vod s důrazem na skutečně veškeré vlivy, které mohly způsobit a způsobují horší stav vod, kdy nezapomíná ani na predikci do budoucna. Zároveň jasně definovala základní jednotku (vodní útvar) a složky hodnocení stavu vod, které tak všechny členské státy musí dodržet, včetně systému monitoringu těchto složek. Ve zkratce lze z mého pohledu shrnout největší přínosy přijetí RSV následovně:

- Integrovaný přístup: všechny kategorie vod, tlaky a vlivy;
- Vytvoření uceleného systému monitoringu;
- Komplexní obrázek o vodě;
- Přeshraniční spolupráce a spolupráce na úrovni mezinárodních povodí;
- Ekologická dimenze;
- Ekonomické nástroje;
- Zapojení všech zúčastněných stran;
- Setkání vodních ředitelů a proces Společné implementační strategie;
- Investice do obnovy a ochrany vod.

Plánování v oblasti vod z pohledu správce povodí

Transpozice RSV je v ČR provedena zákonem č. 254/2001 Sb. ze dne 28. června 2001 o vodách a změně některých zákonů (vodní zákon, dále jen VZ) a jeho prováděcích právních předpisech. Proces plánování v oblasti vod je dle VZ [2] koncepční činnost, kterou zajišťuje stát. Jeho účelem je vymezit a vzájemně harmonizovat veřejné zájmy:

- Ochrany vod jako složky životního prostředí;
- Snížení nepříznivých účinků povodní a sucha;
- Udržitelného užívání vodních zdrojů, zejména pro účely zásobování pitnou vodou.

Stát tuto zodpovědnost přenesl v zásadním objemu prací na správce povodí, aniž by však bylo z jeho strany zajištěno dostatečné jednotné metodické vedení. Ačkoliv se dalo očekávat, že se budou během prvního plánovacího období všechny zainteresované strany učit a nalézat tu správnou „cestu" k vypracování požadovaných Plánů povodí a Programů opatření, nelze již příliš souhlasit se stavem, kdy nebyla ze strany státu zajištěna potřebná a nezbytná dlouhodobá koordinace prací ani v plánovacím období druhém.

V praxi to znamená stav, kdy je dle aktuálního personálního obsazení ústředních vodoprávních úřadů neustále měněn přístup k metodickému vedení celého procesu. Každý cyklus je tak v podstatě zcela nový, těžko porovnatelný s předchozím. V každém plánovacím cyklu se tak setkáváme se:

- Změnami vymezení vodních útvarů, jakožto základní plánovací jednotkou;
- Změnami metodik hodnocení;
- Změnami Makety Plánu povodí;
- Změnami limitů = cílů (které nejsou vždy odrazem nově přijaté legislativy EU).

To ale popírá samotný smysl procesu plánování a mimo jiné tak staví ČR do velmi svízelné situace v kontextu s požadavky RSV, respektive reportingu.

Přes všechny tyto výše citované problémy byly správci povodí = státní podniky Povodí vždy schopny dodržet termín pro předání návrhů Plánů dílčích povodí (resp. Plánů oblastí povodí) ústředním vodoprávním úřadům, jakožto podklad pro zpracování Národních plánů povodí, stejně tak, jako byl dodržen termín zveřejnění pro konzultaci s veřejností.

Proces plánování v oblasti vod v praxi

Zásadním nedostatkem procesu plánování v ČR je nesoulad environmentálních cílů vodohospodářského plánování s legislativně platnými závaznými podmínkami pro užívání vod. Nastává tak schizofrenní stav mezi „chtěným = zlepšit stav vod" v rámci procesu plánování a každodenní praxí vodního hospodářství.

V té vystupují správci povodí a správci vodních toků pouze jako jedna z několika zainteresovaných stran, kdy v rámci řešení dílčích problémů nejčastěji poskytují vodoprávním úřadům své podpůrná stanoviska a vyjádření. Vodoprávní úřady však musí při svém rozhodování přihlížet mimo jiné i k názoru např.:

- Provozovatelů vodohospodářské infrastruktury;
- Státní správy a samosprávy;
- Zástupců ochrany přírody;
- Zástupců průmyslu a podnikatelské sféry;
- Nevládních organizací;
- A v neposlední řadě samotných občanů.

Jinak řečeno, pokud nebudou jednotná pravidla pro definici toho, čeho chceme dosáhnout, která budou **řádně a shodně zakotvena v legislativě,** těžko dosáhneme cílů, které jsme si v rámci VH plánování vytyčili.

Jak již bylo napsáno dříve, k dosažení určených cílů nám má pomoci soubor konkrétních opatření, které by měly být voleny na základě zjištěného vlivu. Realizace takto navrženého opatření pak musí logicky vést k dosažení lepšího stavu. Bohužel však právě takto navržená opatření často narážejí při svém prosazování na nesoulad a mezery v legislativě a jejich vymahatelnost je tak v podstatě nulová nebo velmi problematická.

Věčně ožehavou otázkou v problematice realizace opatření (jakýchkoliv) je jejich financování. Většina navržených akcí počítá s programovými prostředky různých dotačních titulů, které jsou k tomu velmi často samy o sobě také přizpůsobeny. Do Plánů povodí se pak dostávají i akce, které ne vždy znamenají výrazný posun ke zlepšení stavu, popřípadě ne zcela reflektují skutečně zjištěný vliv. Ze strany správce povodí však zůstává otázkou, zda není lepší podpořit alespoň nějaké opatření vedoucí k zlepšení složek životního prostředí, byť nepodložené konkrétními údaji z monitoringu nebo výsledky z hodnocení stavu?!

V kontextu s hodnocením účinnosti navrhovaných opatření je bezpodmínečně nutné si uvědomit fakt, že **jen některé z vlivů,** způsobující horší než dobrý stav vodních útvarů, **spadá do oboru vodohospodářského.** Z tohoto důvodu je nutné se při navrhování potřebných opatření zaměřit také na širší oborové spektrum, zejména pak na návrat k „tradičnímu/přirozenému" hospodaření s půdou, které nebylo motivováno vidinou okamžitého nejvyššího možného zisku z 1 ha, nýbrž zachováním kvalitativních vlastností půdy a krajiny pro další generace. V dnešní době se běžně díky špatnému hospodaření s půdou setkáváme s následky v podobě:

- Eroze a splachu látek do povrchových vod;
- Hutnění půdy – zrychlení povrchového odtoku;
- Neschopnosti půdy dostatečně vsáknout vodu;
- Zhoršení jakosti podzemní i povrchové vody.

Stejně tak bychom v dnešní době prohlubujícího se problému sucha, a s tím spojené potřeby zadržovaní vody v krajině, neměli zapomínat ani na citlivé lesní hospodářství. Ne vždy nám onen kubík rychleji vytěženého dřeva pomocí těžké techniky vyváží rozsáhlé plochy ztuženého lesního povrchu.

Nesmíme však zapomínat ani na ten první a poslední článek řetězce, a to je člověk! Bohužel i profesionálně navržená a realizovaná opatření ztrácejí svůj smysl v okamžiku, kdy naráží na nepochopení ze strany veřejnosti. Intenzivní práce s veřejností, začínající již u těch nejmenších, by měla být jedním z klíčových opatření pro zlepšení stavu vod a krajiny kolem nás.

Závěr

Shrnutím uvedeného se tak mnohdy zdá, že se od Plánů povodí, jejichž součástí jsou v ČR také Programy opatření, očekává řešení problémů na celostátní úrovni dlouhodobě koncepčně neřešených. Toho však lze těžko na úrovních politik oborových a obecných docílit. Také kompetentní místa na úrovni EU si uvědomují, že je nutné v rámci aktualizace RSV udělat ještě velký kus práce. Podkladem by pak měly být zjištěné nedostatky a mezery právě v proběhlých cyklech plánování. Stěžejní nedostatky lze popsat pro:

Úroveň EU

- Rovnocenný pohled na plnění cílů RSV všech členských států EU přesto, že výška jejich „počáteční laťky" nebyla zdaleka na stejné úrovni;
- Neustálé rozšiřování sledovaných parametrů pro stav vod bez ohledu na to, že dosud nebylo dosaženo ani cílů dříve stanovených parametrů;
- Z toho pramenící až příliš ambiciózní cíle, které jsou při zavádění do praxe značně omezovány reálnou politikou;
- S tím související legislativní rozpor mezi jednotlivými právně závaznými dokumenty EU napříč oborovým spektrem, které jdou velmi často proti sobě.

Úroveň ČR

- Nezajištění sběru dat a podkladů ze strany vodoprávních úřadů pro jednotné zjišťování údajů potřebných pro proces plánování;
- Neustále se měnící proces VH plánování, včetně samotné

struktury Plánů povodí, které mají být nástrojem pro dosažení cílů RSV, nikoliv odrazem potřeb reportingu do EU;
- Malá (spíše žádná) osvěta o problematice hospodaření s vodou na celostátní úrovni, kdy si občané, podnikatelé, ale mnohdy ani rozhodovací orgány neuvědomují strategický význam vody a potřebu o ni pečovat;
- Dobré a politicky koncepční rozhodování na celostátní úrovni, včetně prosazení veřejného zájmu na úkor minoritních zájmu jednotlivých subjektů;
- Legislativní zakotvení jednotných cílů napříč oborovým spektrem.

Přes všechna tato úskalí se domnívám, že přijetím RSV byl učiněn podstatný krok kupředu k obnově a ochraně vod jakožto celku, který bezpochyby nasměroval kroky environmentální politiky správným směrem. Jako podstatné vidím nejen vyřešení výše zmíněných nedostatků souvisejících s procesem VH plánování, ale také uvědoměním si každého jednotlivce z nás, že voda je to nejcennější co na tomto světě máme.

Literatura

[1] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky.

[2] Zákon č. 254/2001 Sb. ze dne 28. června 2001 o vodách a změně některých zákonů.

[3] MAIR, R. *Environmental polieces, WFD, biodiversity and hydropower – European perspective.* ICPDR Hydropower Workshop: Progress, Solution and Remaining Challenges. Vienna: 28 – 29 March 2017.

ČESKÁ FOSFOROVÁ PLATFORMA BYLA ZALOŽENA – A CO DÁL?

Dušan Kosour[1], **Jindřich Duras**[2], **Marek Holba**[3], **Vladimír Kočí**[4], **Jan Pešta**[4]

[1]*Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno, tel. +420 541 637 312, kosour@pmo.cz*
[2]*Povodí Vltavy, státní podnik, Denisovo nábřeží 14, 304 20 Plzeň*
[3]*ASIO, spol. s r.o., Kšírova 552/45, 619 00 Brno*
[4]*Fakulta technologie ochrany prostředí VŠCHT Praha, Technická 5, 166 28 Praha 6*

Abstrakt

Fosfor je strategickou surovinou, bez níž se neobejde hospodářství žádné země a jejíž zásoby jsou omezené. Zdroje nekontaminovaného, snadno dostupného fosforu budou dříve či později vyčerpány v řádu desítek let. Je dokonce reálné, že import do zemí EU zkolabuje podstatně dříve. Přes tato očekávání je současný systém nastaven zcela zastarale, dochází k obrovským nevratným únikům suroviny. Místo úspor a vytváření zásob se fosfor proměňuje v obtížný odpad, který způsobuje následné environmentální škody a odčerpává další finance.

Dne 27. dubna 2017 byla založena Česká fosforová platforma, která poprvé v ČR vytváří možnost systémové práce na problémech souvisejících s fosforem. Příspěvek představí důvody k jejímu založení, současný stav a očekávané přínosy.

Klíčová slova: *Česká fosforová platforma; fosfor; oběhové hospodářství; eutrofizace; odpadní vody.*

Abstract

Phosphorus is a strategic raw material, which is essential for every economy. Global stocks of this element are limited: available sources of phosphates without contamination and without costly acquisition will be depleted in tens of years. It's even possible that import into EU countries will collapse much earlier. Despite these expectations, the current system is completely obsolete, there are huge irreversible leaks of this raw material from current economic systems. Instead of savings and stockpiling, phosphorus is transformed into difficult waste that causes subsequent environmental damage and drains further funding.

On April 27, 2017, the Czech Phosphorus Platform was established, which creates a possibility of systematic work on phosphorus-related problems. The paper presents the reasons for the platform establishment, the current status and the expected benefits.

Keywords: *Czech phosphorus platform; phosphorus; circular economy; eutrophication; waste water.*

Úvod

Ačkoli je fosfor jedním z nejrozšířenějších prvků na Planetě zemi, jeho dostupnost pro ekonomicky únosnou výrobu fosfátů je značně omezená [1]. Se zrychlující se světovou ekonomikou přitom spotřeba a tedy i poptávka po fosfátech stále roste [2].

Relativně lehké dobývání je vázáno zejména na výskyt apatitu, který je v zemské kůře rozložen značně nerovnoměrně. V zemích Evropské unie jsou zásoby velmi malé (doly jsou pouze ve Finsku), více než 90 % fosfátů je do EU dováženo. Většina hlavních exportérů do EU jsou politicky nestabilní země a/nebo země s problematickými vztahy s EU (Maroko, Alžírsko, Rusko, Jordán, Egypt, Sýrie). Celkem 70 % světových zásob je v Maroku, které je sice poměrně stabilní a moderní zemí, avšak západní území s velkou částí zásob apatitu (Západní Sahara) nejsou zcela pod jeho kontrolou, je zde reálná možnost povstání, odtržení či okupace sousedními státy. Zásoby v zemích s extrémní spotřebou jako jsou Čína nebo USA budou vyčerpány do 30 let, poté se stanou marocké zásoby klíčové. Jak bude docházet kvalitní surovina, budou se muset využívat i zdroje méně kvalitní, kontaminované těžkými kovy, např. kadmiem nebo uranem [3, 4, 5].

Z výše uvedených důvodů jsou fosfátové rudy pro EU strategickou surovinou. V roce 2015 je Evropská komise připsala na svůj seznam kritických surovin [6]. **Připomeňme si, že bez fosforu nelze vypěstovat žádnou plodinu, bez fosforu dokonce není možná žádná pozemská forma života.**

Současný stav hospodaření s fosforem

Navzdory výše uvedeným faktům se většina světových ekonomik stále chová k fosforu tak, jako by jeho zásoby byly nevyčerpatelné. Úniky z hospodářských procesů jsou obrovské, v evropském průměru činí 51 %. V ČR dokonce 76 %. Velká část se ztrácí z domácností, kde se nedostatečně recyklují zbytky jídla, a také odpadními vodami. Snahy o recyklaci fosforu z odpadů jsou ve většině zemí EU teprve v počátcích, např. ze spotřebitelského sektoru (odpadní vody, zbytky jídla) se recykluje 21 %, v ČR dokonce jen 10 % [7, 8]. Fosfor, který se nepodaří odstranit z odpadních vod, se dostává do vod povrchových, odkud jde získat jen velmi obtížně. Navíc zde způsobuje vážné problémy s kvalitou vody, které se nejvíce projevují ve vodních nádržích a mají zásadní dopad na jejich rekreační či vodárenské využití.

Založení České fosforové platformy

V zahraničí roste počet pracovních skupin, které se zabývají tématy redukce spotřeby živin a jejich recyklace. Tyto platformy fungují např. v Německu, Holandsku, Vlámsku, Anglii a Irsku, na celoevropské úrovni funguje European Sustainable Phosphorus Platform, tedy platforma pro udržitelné hospodaření s fosforem [9].

V českém prostředí se otázka založení podobného uskupení vyskytovala již dlouho. Nezávisle na sobě byly podnikány první kroky, které pak akcelerovaly poté, co tito lidé z různých oborů začali spolupracovat na společném cíli. Zhruba roční přípravné práce vyvrcholily založením České fosforové platformy, z. s., (dále jen Platforma) která byla zapsána dne 27. 4. 2017 do spolkového rejstříku [10]. Zakládající členové zároveň vytvořili podklad pro další rozvoj, např. webové stránky, propagační materiály, strukturu organizace, sdílení dat, aj.

Oblasti spolupráce

Stav vodních toků a nádrží, eutrofizace, eliminace úniků fosforu do vodního prostředí – to jsou zatím nejvýraznější témata, na která se Platforma soustředí. Je to dáno tím, že několik zakládajících členů se těmto otázkám věnuje profesně, a také tím, že tyto problémy nejen v českém vodním hospodářství rezonují velmi intenzívně. Po desetiletích naprosté ignorance fosforu jakožto klíčového činitele eutrofizace se česká společnost probouzí a poptává čistou vodu bez řas a sinic, a to jak na rekreačních, tak i vodárenských nádržích. Rostou snahy o rychlá řešení v podobě srážení fosforu na přítocích do nádrží, ty však odporují smyslu vodního práva – znečištění by mělo být odstraňováno v místě jeho vzniku a měl by tak činit ten, kdo ho vytváří. Trvale udržitelné zlepšení může být zajištěno pouze systémovými opatřeními, jako je např. změna legislativy, vzdělávání, práce s veřejností.

Z konkrétních problémů, které zasluhují naši pozornost, zmíníme např. problematiku fosforu v pracích a mycích prostředcích. Jedná se zejména o velmi významnou výjimku pro tzv. „professional use", na nějž se povinnost používat bezfosfátové prostředky vyplývající z příslušného nařízení Evropského parlamentu a Rady nevztahuje [11]. S touto výjimkou pak souvisí i stále velmi vysoký obsah fosforu v surové odpadní vodě a následná nutnost používat větší množství chemikálií k odstraňování fosforu z vyčištěné odpadní vody (soli Fe). Zároveň běžně dochází k obcházení zákazu prodeje bezfosfátových pracích prášků distribucí z pojízdných prodejen po venkově a malých městech. Zde je opravdu hodně prostoru pro výzkum a osvětu při spolupráci mnoha různých subjektů.

Pokud bychom ustrnuli na boji proti eutrofizaci a fosforu v odpadních vodách, bylo by to zoufale málo. Jeden z nejdůležitějších cílů je následující: přestat vnímat fosfor jako odpad a začít o něj pečovat jako o cennou a nepostradatelnou surovinu. Další členové našeho týmu mají dost zkušeností s oběhovým hospodářstvím, eliminací úniků z výrobního i spotřebního cyklu, s recyklací fosforu z odpadních vod. V některých zemích už existují plnohodnotné provozy na výrobu fosfátových hnojiv z odpadů, např. z čistírenských kalů. U nás jsou tyto aktivity ve stádiu pokusů [12].

Další oblastí, která je pro sledování toků fosforu naprosto klíčová, je zemědělství a potravinářský průmysl. Kromě základního problému používání průmyslových hnojiv a jejich ztráty do vodního prostředí se zde objevují další závažné konsekvence, které zatím s fosforem příliš spojovány nejsou. Např. používání importovaných minerálních hnojiv místo hnojiv statkových vede k ochuzení půd, které mají následně horší strukturu, horší schopnost zadržovat vodu, horší odolnost proti zhutnění mechanizací, méně půdní fauny – edafonu a ve výsledku menší úrodnost. Zemědělci na tento stav reagují dalším hnojením místo celkové změny hospodaření a tím roztáčejí začarovaný kruh. Důsledkem je eroze, zanášení toků a nádrží s astronomickými výdaji za odbahňování, znečištění fosforem z plošných zdrojů, krajina neschopná zadržet vodu, atd.

Co se domácností a spotřebitelského sektoru týče, zde je situace rovněž špatná. Je to způsobeno opět produkcí odpadních vod, používáním nevhodné domácí chemie a také plýtváním potravin, ze kterých se stává komunální odpad místo toho, aby byly kompostovány a vraceny na zahrady a pole. I toto je významná položka v kalkulaci ztrát z fosforového cyklu [7].

Budoucnost Platformy

Oblastí k řešení je mnoho, fosfor viditelně i méně nápadně prostupuje většinu lidských činností. Řešit jedno bez druhého nemá smysl, problém odstraněný v jedné sféře by se nám vrátil jako bumerang odjinud a zničil by předchozí snahu. Do Platformy bychom rádi začlenili individuality i organizace, které mají zkušenosti ze všech zmíněných odvětví a které mají zájem na řešení problémů v nich. Bez spolupracujících členů nemá Platforma budoucnost. Vytvořili jsme půdu, do které lze nyní zasít první semínka. Je na všech budoucích členech a spolupracovnících, jaké sklidíme výsledky, jestli se v České republice konečně začnou řešit vážné problémy související s fosforem. Pokud máte za to, že dokážete přispět, určitě nám dejte vědět!

Česká fosforová platforma, z. s.
Podbabská 2582/30, Dejvice, 160 00 Praha 6
IČ: 06022502, e-mail: info@fosforovaplatforma.cz
web: www.fosforovaplatforma.cz

Obrázek 1. Logo České fosforové platformy. Autorem je grafik a designér Filip Krátký. Logo vyjadřuje jednotlivé sektory našeho zájmu (zemědělství, vodní prostředí, průmysl a spotřebitelský sektor) a zároveň jejich vzájemnou přeměnu a možnost uzavření toků fosforu do kruhu, tedy recyklaci a opětovné využívání.

Literatura

[1] Phosphorus. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001– [cit. 2017-09-06]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Phosphorus

[2] VAN VUUREN, D. P., BOUWMAN, A. F. a BEUSEN, A. H. W. Phosphorus demand for the 1970–2100 period: A scenario analysis of resource depletion. *Global Environmental Change.* 2010, **20**(3), 428–439. ISSN 0959-3780.

[3] DE RIDDER, M., DE JONG, S.,POLCHAR, J, LINGEMANN, S. *Risks and Opportunities in the Global Phosphate Rock Marke*t [online]. Haag, 2012 [cit. 2017-09-06]. Dostupné z: http://www.phosphorusplatform.eu/images/download/HCSS_17_12_12_Phosphate.pdf. The Hague Centre for Strategic Studies.

[4] CORDELL, D., DRANGERT, J. O., WHITE, S. *The story of phosphorus: global food security and food for thought.* Global Environment Change 2009, 19: 292–305.

[5] ROSEMARIN, A., EKANE, N. The governance gap surrounding phosphorus. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* Springer Netherlands, 2016, 104(3), 265–279. ISSN 1385–1314.

[6] European Commission. *Report on critical materials for the EU* (2014) [online]. http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/crm-report-on-critical-rawmaterials_en.pdf

[7] VAN DIJK, K. C. a LESSCHEN, J. P. Phosphorus flows and balances of the European Union Member States. *Science of The Total Environment.* 2016, (542 Part B), 1078–1093. ISSN 0048-9697.

[8] HEJZLAR, J. Trendy bilance a látkových toků fosforu v ČR. In: *Průmyslová ekologie 2016 – udržitelné hospodaření s fosforem.* Hustopeče: CEMC, 2016.

[9] National and regional Nutrient Platforms. *European Sustainable Phosphorus Platform* [online]. 2017 [cit. 2017-09-03]. Dostupné z: http://www.phosphorusplatform.eu/platform/nutrient-platforms

[10] Úplný výpis ze spolkového rejstříku. *Veřejný rejstřík a Sbírka listin* [online]. Praha: Ministerstvo spravedlnosti České republiky, 2017 [cit. 2017-09-06]. Dostupné z: https://or.justice.cz/ias/ui/rejstrik-firma.vysledky?subjektId=972584&typ=UPLNY

[11] NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 259/2012 ze dne 14. března 2012, kterým se mění nařízení (ES) č 648/2004, pokud jde o používání fosforečnanů a jiných sloučenin fosforu v pracích prostředcích pro spotřebitele a v detergentech určených pro automatické myčky nádobí pro spotřebitele. In.: *Úřední věstník Evropské unie L 94 ze dne 30. 3. 2012.* Lucemburk: Úřad pro úřední tisky Evropských společenství. S. 55. ISSN 1725-5163.

[12] HOLBA, M. Potřeba recyklace fosforu. In: *Průmyslová ekologie 2016 – udržitelné hospodaření s fosforem.* Hustopeče: CEMC, 2016.

TŘETÍ STUPEŇ ČOV TŘEBÍČ – ROK PROVOZU

Jan Foller[1], **Leoš Tůna**[2]

[1]*VAS, a.s., TUGŘ, Soběšická 820/156, 638 00 Brno, tel. +420 603 804 697, foller@vasgr.cz*
[2]*VAS, a.s., divize Třebíč, Kubišova 1172, 674 11 Třebíč, tel. +420 568 899 111, tuna@vastr.cz*

Abstrakt

Vybudováním třetího stupně čištění o vhodné technologické koncepci, na čistírnách komunálních odpadních vod (dále ČOV), lze na biologickém stupni s menším stářím kalu (12–16 dní), který ve spojení takové ČOV s jednotnou kanalizací může vykazovat v zimních měsících nestabilitu v účinnosti odstraňování dusíku, do značné míry funkci posílit a stabilizovat s tím, že pokud je do takové technologické linky ještě vřazeno i oddělené srážení fosforu, může tato s vynaložením minimálních nákladů na chemikálie, dosáhnout celkové vysoké účinnosti procesu biologického čištění komunálních odpadních vod ve všech sledovaných parametrech. V předloženém dokumentu jsou diskutovány první výsledky asi ročního provozu ČOV s terciárním stupněm založeným na nové koncepci dvoustupňového srážení fosforu a celkovém řešení na modifikovaném principu NRBF (odstraňování nutrientů ve zpětném proudu).

Klíčová slova: *terciární stupeň; chemické srážení fosforu; koagulační srážení; postdenitrifikace.*

Úvod

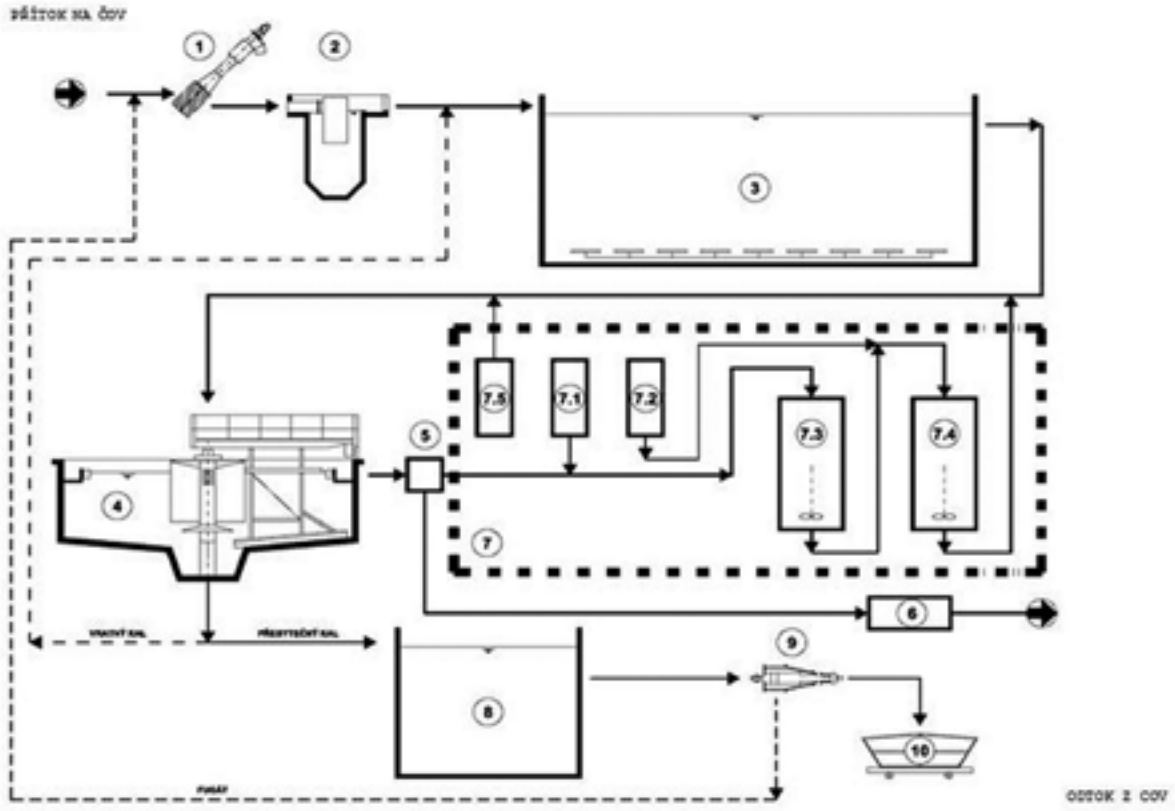
ČOV Třebíč prošla od doby první výstavby složitým vývojem, který je presentován řadou drobných úprav technologického vybavení až po několik významných rekonstrukcí. Zásadní rekonstrukce, která vedla k přeměně technologické koncepce z jednostupňové, středně zatížené ČOV na technologickou koncepci nízko zatíženého biologického systému R-D-N s významným, ale úsporně pojatým zvětšením objemů aktivací, proběhla v letech 2002–2005. Současně s pohledem na potřeby technologických úprav se vyvíjela a upřesnila i představa o potřebném projektovaném zatížení, která nakonec z původních asi 69800 EO (při EO = 54 g BSK_5), vyústila v definitivní zadání současné kapacity ČOV: 52000 EO (při EO = 60 g BSK_5). Během předposlední rekonstrukce v letech 2002–2005 však došlo také k významným změnám v legislativě, které však nemohly být v prováděných koncepčních změnách technologie akcentovány a tyto na konec vedly až k poslední rekonstrukci z let 2014–2016, zahrnující terciární stupeň dočištění. Rozhodujícím důvodem posledních úprav technologie byly především zhoršující se výsledky v odtokových parametrech celkového a v zimních měsících i amoniakálního dusíku. Hlavní příčinu tohoto stavu lze hledat v objektivně dosahovaném zatížení kalu v intervalu asi 0,065–0,080 kg BSK_5/kg a teplotě odpadních vod v zimních měsících v intervalu 4,0–5,5 °C. Koncepce terciárního stupně byla zvolena na základě výsledků vlastního vývoje a zkušeností provozovatele, především v oblasti odděleného srážení fosforu, jako účinného kroku dočištění po realizaci postdenitrifikace biologicky vyčištěných vod s využitím externího substrátu.

Technické řešení terciárního stupně

Navržené řešení technologie třetího stupně čištění je doplňujícím uzlem vlastní biologické linky ČOV, který však samostatně nemůže řešit vážné technologické problémy předřazené biologické jednotky, jako jsou například: intoxikace ČOV ze stokové sítě, fatální selhání funkce biologického stupně nebo závažné poruchy biologického procesu čištění, spojené s významným zhoršením odtokové kvality biologicky vyčištěných odpadních vod – zákalem, zvýšením kalového indexu nad 250 ml/g nebo s nadstandardním únikem aktivovaného kalu z dosazovacích nádrží. Tyto výše naznačené situace mohou mít naopak negativní dopad na funkci III. stupně, spojený s celkovým zhoršením odtokových parametrů vyčištěné odpadní vody z celé ČOV. Terciární stupeň ČOV Třebíč je tedy implicitně navržen na snížení odtokové koncentrace dusičnanového dusíku o předem definovanou hodnotu a na snížení odtokové koncentrace celkového fosforu pod garantovaný koncentrační limit. Podobně, jak biologická linka ČOV ovlivňuje třetí stupeň čištění, podobně významným způsobem ovlivňuje proces postdenitrifikace i odděleného srážení fosforu vlastní funkci biologické linky a za standardních podmínek provozu ji významným způsobem stabilizuje. Smysl instalace použité technologie nespočívá tedy pouze v doplňkové funkci – zlepšení odtokových parametrů biologicky vyčištěné odpadní vody, ale technologie třetího stupně je významným a samostatně těžko vyhodnotitelným stabilizačním prvkem celé ČOV, která má v původní klasické části biologické linky z pohledu současných znalostí procesu biologického čištění odpadních vod a požadavků na něj kladených, již nedostačující objemy a technologicky již překonanou konfiguraci aktivačních nádrží.

Pro dočištění biologicky vyčištěných odpadních vod, kterým se rozumí také další snížení odtokových koncentrací v ostatních parametrech ($N_{Celk.}$, CHSK, BSK_5) nebo pro snížení provozních nákladů na chemikálie, spojené současně se zvýšením účinnosti čistícího efektu ($P_{Celk.}$), byla zvolena technologie zajišťující dodatečnou denitrifikaci dusičnanů odtékajících z biologického stupně ČOV (postdenitrifikace), pomocí řízeného dávkování pomocného substrátu a odstraňování celkového fosforu metodou odděleného chemického srážení pomocí železitých, případně hlinitých solí nebo směsných solí hliníku a trojmocného železa, v kombinaci s dávkováním dovážených vodárenských železitých kalů, dávkovaných do nátoku na technologickou linku ČOV. Navržené řešení dočištění vod, provedené ve dvou linkách se vzájemně propojitelnými („do kříže"), stupni postdenitrifikace a defosforizace, je tedy založeno na kombinaci řízených biologických a fyzikálně chemických procesů, jejichž technologický i ekonomický efekt je úzce svázán s celou technologickou linkou ČOV, a především se správnou funkcí předřazeného biologického stupně. Zde je třeba poznamenat, že nátok biologicky vyčištěných odpadních vod na třetí stupeň je kontinuálně monitorován z hlediska kvality a v případě překročení nastavené limitní koncentrace suspendovaných látek je z důvodu ochrany biomasy v post denitrifikačních nádržích, blokován.

Princip technologie je zřejmý z níže uvedeného blokového schéma, **Obr. 1**, které však zahrnuje pouze obecné funkční řazení a propojení aparátů třetího stupně ve vztahu k biologické části ČOV. Pro jednoduchost jsou tedy ve schématu vynechány některé detaily technického řešení vlastní ČOV Třebíč a méně významné technologické uzly: primární sedimentace v usazovacích nádržích, která nemá na III. stupeň čištění přímou technologickou vazbu, regenerace kalu a kalové hospodářství a na konci také propojení odtoků



Legenda:

(1) Strojní česle
(2) Lapák písku
(3) Biologický stupeň – obecné řešení
(4) Dosazovací nádrže
(5) Manipulační šachta na odtoku – čerpací stanice III. Stupně
(6) Měrný object na odtoku
(7) III. Stupeň – postdenitrifikace, defosforizace
(7.1) zásobník externího substrátu
(7.2) zásobník roztoku na srážení fosforu
(7.3) denitrifikační reaktor
(7.4) reaktor na odstraňování fosforu
(7.5) nádrž na pomocný koagulant
(8) Uskladňovací nádrže kalu – kalové hospodářství
(9) Strojní odvodnění
(10) Deponie a odvoz kalu

Obrázek 1 Blokové schéma

vyčištěné odpadní vody z dvojice koagulačních reaktorů stupně odděleného srážení fosforu do recipientu, které může, ale také nemusí být využíváno.

Provoz terciárního stupně je plně automatický. Dávkování externího substrátu je řízeno optickou nitrátovou sondou na odtoku z ČOV, fosfor je srážen na terciárním stupni dávkováním síranu železitého, nastavením na základě laboratorně změřených koncentrací na přítoku z biologické linky. V případě fosforu nepovažujeme, na základě vlastních dlouhodobých studií procesu srážení fosforu za významné z hlediska funkce měření pomocí on-line instalovaných zařízení na stanovení ortofosforečnanů nebo celkového fosforu. Jak bylo již několikrát uvedeno v našich starších pracích na toto téma [1–9], proces chemického srážení fosforu železitými solemi je podstatně složitější a jeho hlavními problémy jsou: dostatečný čas a vhodné podmínky pro koagulaci primárně vznikajících koloidů. Návrhové parametry III. stupně a požadavky na kvalitu vstupní, biologicky vyčištěné komunální odpadní vody jsou uvedeny v následující **tabulce 1**:

Tabulka 1. Maximální znečištění biologicky vyčištěné odpadní vody, nátok na III. stupeň

Parametr	Hodnota	Jednotka
BSK_5	50	mg/l
CHSK	170	mg/l
NL	60	mg/l
$N_{Celk.}$	40	mg/l
$N\text{-}NH_4$	15	mg/l
$N\text{-}NO_3$	nelimitováno	mg/l
$P_{Celk.}$	nelimitováno	mg/l

Z hlediska hydraulické kapacity je terciární stupeň ČOV Třebíč považován za technologický doplněk s možností zatížení do hodnoty cca 1,25násobku Q_{24}. Toto omezení vyplývá především z požadavků na potřebnou dobu zdržení a kontaktu odpadních vod s biomasou v denitrifikační sekci, které úzce souvisí s účinností procesu a spotřebou externího substrátu. Jako externí substrát jsou využívány komerčně dodávané nehořlavé produkty různého složení s hlavní složkou: odpadní glycerin nebo melasa. S ohledem na relativně krátkou dobu provozu není optimální substrát zatím vyhodnocen. Testovány jsou substráty z nabídky firem Kemiflok a Brentag. Použití metanolu je z bezpečnostních důvodů vyloučeno. Základní parametry třetího stupně z hlediska výkonu a kapacity jsou uvedeny v **tabulce 2**.

Parametry nádrží III. stupně čištění:

Čerpací nádrž biologicky vyčištěné vody	100 m^3
Objem post denitrifikačních nádrží	8 x 130 m^3
Minimální hydraulická doba zdržení	140 min.
Materiál nosičů biomasy	HDPE
specifický povrch	322 m^2/m^3
specifická chráněná plocha	268 m^2/m^3
specifická hmotnost materiálu	0,95 kg/dm^3
Objem defosforizačních reaktorů	2 x 250 m^3

Vzhledem k tomu, že je navržená koncepce třetího stupně čištění odpadních vod bytostně závislá na funkci a výkonech celé biologické linky ČOV, není jednoduché, vytrženě z kontextu, kvantifikovat účinnost jednotky ve sledovaných parametrech. Funkci postdenitrifikace bylo možné hodnotit až po zapracování – vytvoření potřebného filmu biomasy na nosičích biomasy, funkci defosforizace a její celkovou účinnost ve vztahu k celé ČOV bylo možné vyhodnotit až po délce provozu, odpovídající asi 1,5násobku aktuálního stáří kalu v biologické lince. Z uvedeného jednoznačně vyplývá, že základním předpokladem pro hodnocení funkce třetího stupně čištění na ČOV Třebíč jsou, podobně jako u ostatních vyspělých technologií tohoto druhu (například modifikovaná písková filtrace), stabilizovaná standardní funkce biologického stupně a dostatečné zapracování třetího stupně při ustálených běžných provozních podmínkách.

Tabulka 2. Návrhové kapacitní parametry III. stupně čištění

Parametr	Hodnota	Jednotka
Maximální hydraulické zatížení	110	l/s
Maximální množství odstraněného $N\text{-}NO_3$*	47,5	kg/den
Odtoková koncentrace $P_{Celk.}$, odtok z III. stupně**	< 0,5	mg/l

**Platí při nátokové koncentraci $N\text{-}NO_3$ na III. stupeň vyšší než 15 mg/l.*
***Platí pro filtrovanou vyčištěnou odpadní, vodu na odtoku z III. stupně.*

Tabulka 3. Průběh měsíčních průměrů koncentrací dusíku a fosforu

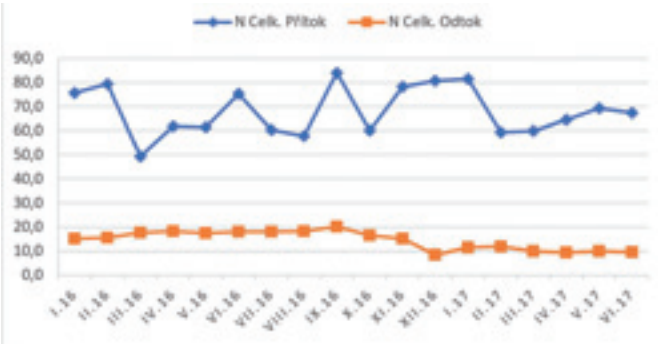
Datum	$N_{Celk.}$ Přítok	$P_{Celk.}$ Přítok	$N_{Celk.}$ Odtok	$P_{Celk.}$ Odtok
I.16	75,6	10,8	15,2	1,14
II.16	79,3	10,3	15,6	0,48
III.16	49,3	6,5	17,7	0,33
IV.16	61,8	8,7	18,3	0,37
V.16	61,4	7,3	17,4	0,60
VI.16	75,3	11,2	18,1	0,40
VII.16	60,3	12,4	18,0	0,30
VIII.16	57,8	9,4	18,3	0,38
IX.16	84,0	13,1	20,1	0,67
X.16	60,0	8,8	16,5	0,48
XI.16	78,2	11,9	15,2	0,29
XII.16	80,7	11,7	8,5	0,45
I.17	81,4	15,9	11,6	0,25
II.17	59,3	11,5	11,8	0,29
III.17	59,8	9,5	10,0	0,22
IV.17	64,5	9,3	9,3	0,22
V.17	69,4	9,8	9,9	0,29
VI.17	67,3	17,1	9,5	0,29

Výsledky a diskuse

V následující části jsou uvedeny dosažené provozní výsledky za rok 2016 a 1. pololetí roku 2017, zahrnující období zapracování celé ČOV a stabilního provozu. Z důvodu časového zpoždění v provedení konečných úprav na denitrifikační sekci terciárního stupně bylo nejprve uvedeno do provozu oddělené koagulační srážení fosforu (listopad 2015–únor 2016), denitrifikace byla obtokována a teprve po odstranění problémů s čerpáním příliš viskózního externího substrátu, byla zapracována i denitrifikační sekce. Změny v parametrech odtoku jsou patrné na přiložených grafech.

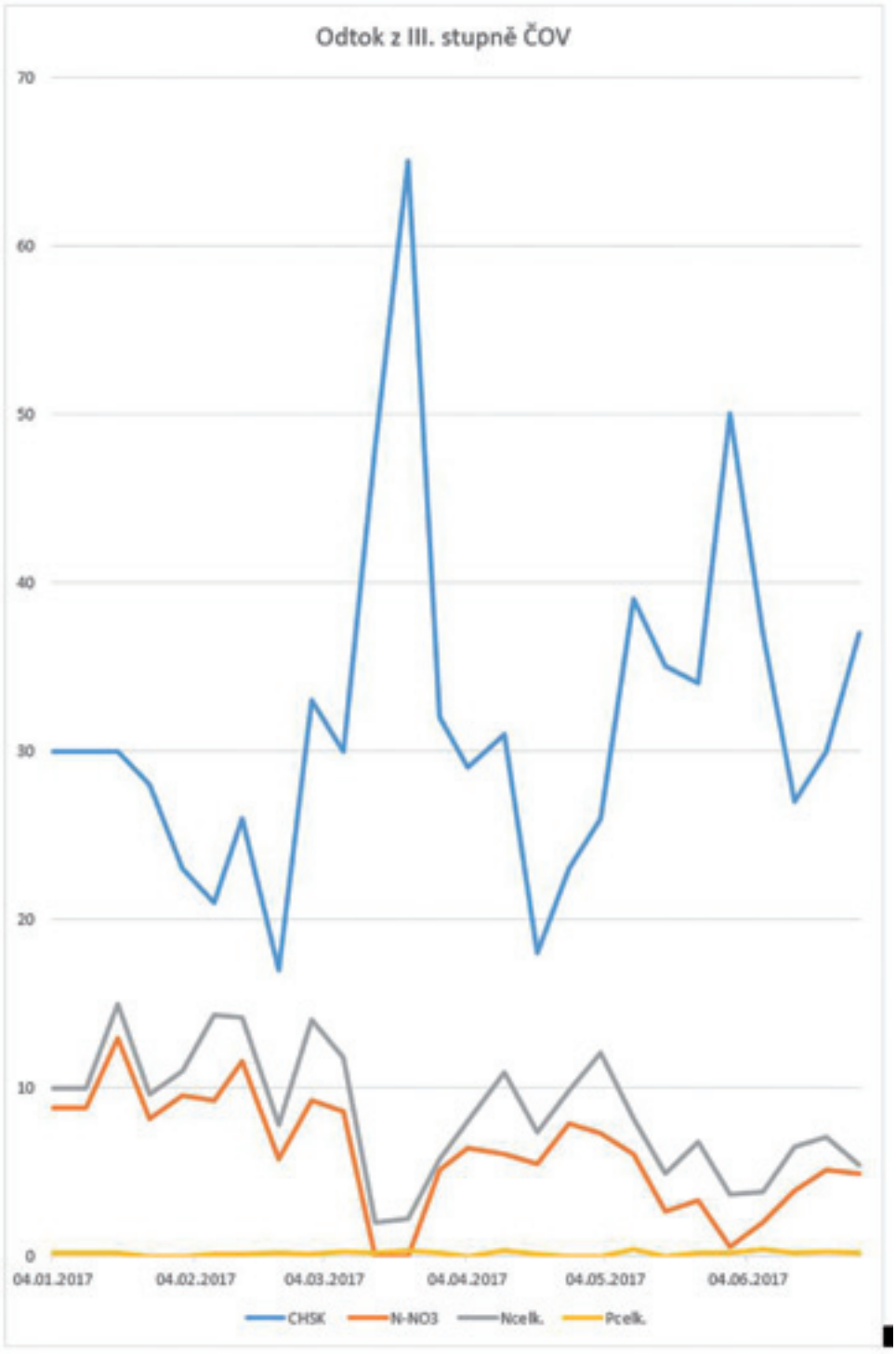
Celkové shrnutí výsledků je uvedeno v **Tabulce 3,** výsledky kontroly funkce III. stupně ukazuje **Tabulka 4**. Průběh měsíčních průměrů koncentrací dusíku a fosforu a podrobnosti o maximech a minimech ukazuje v přehledu **Tabulka 5.** Přehled výsledků ČOV – stručné shrnutí.

Odtok z terciárního stupně byl kontrolován bodovými vzorky, odebíranými v přibližně stejnou denní dobu. Za pozornost stojí několik skutečností, na které výsledky ukazují. Ve srovnání s výsledky na odtoku z ČOV je mírně vyšší odtoková koncentrace CHSK, která je dána nezbytným nadbytkem externího substrátu ke stechiometrickému výpočtu, danému zadáním požadované účinnosti procesu odstraňování dusičnanového dusíku. V případě srovnání výsledků stanovení celkového fosforu na odtoku z terciárního stupně a na odtoku z ČOV, kdy je rozdíl zanedbatelný, je nutné upozornit na skutečnost, že se v tabelárním přehledu objevuje daleko častěji hodnota koncentrace uvedena jako nerovnost (<0,14), přičemž do průměru je počítána hodnota 0,14, jako relevantní výsledek analýzy. Ve skutečnosti tyto hodnoty reprezentují, podle srovnávacích kontrolních stanovení dosažení výsledků koncentrací celkového fosforu v intervalu 0,05–0,14 mg/l.



Graf 1. Odstraňování dusíku

Graf 2. Odstraňování fosforu



Graf 3. Výsledky III. stupně ČOV

Tabulka 4. Třetí stupeň ČOV – výsledky kontroly funkce 1. pol. 2017

Odtok z terciárního stupně – (bodový vzorek)				
Datum	**CHSK**	**N-NO_3**	**$N_{celk.}$**	**$P_{celk.}$**
04.01.2017	30	8,80	10	0,23
11.01.2017	30	8,82	10	0,18
18.01.2017	30	12,92	15	0,21
25.01.2017	28	8,18	9,6	<0,14
01.02.2017	23	9,55	11	<0,14
08.02.2017	21	9,26	14,3	0,14
14.02.2017	26	11,60	14,2	0,15
22.02.2017	17	5,81	7,8	0,23
01.03.2017	33	9,23	14	0,16
08.03.2017	30	8,58	11,8	0,24
15.03.2017	48	<0,50	2	0,23
22.03.2017	65	<0,50	2,2	0,36
29.03.2017	32	5,10	5,8	0,22
04.04.2017	29	6,44	8	<0,14
12.04.2017	31	6,08	10,9	0,31
19.04.2017	18	5,45	7,4	0,15
26.04.2017	23	7,89	9,8	<0,14
03.05.2017	26	7,30	12,1	<0,14
10.05.2017	39	6,09	8,2	0,39
17.05.2017	35	2,69	4,9	<0,14
24.05.2017	34	3,29	6,8	0,22
31.05.2017	50	0,53	3,7	0,20
07.06.2017	37	2,00	3,8	0,38
14.06.2017	27	3,88	6,5	0,19
21.06.2017	30	5,11	7,1	0,24
28.06.2017	37	4,89	5,4	0,20
Průměr	**32**	**6,6**	**8,6**	**0,232**

Tabulka 5. Přehled výsledků ČOV – stručné shrnutí

Rok	**Parametr**	**Přítok**		**Odtok**		
		N_{celk}	**P_{celk}**	**N_{celk}**	**P_{celk}**	**CHSK**
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
2016	**Průměr**	**68,6**	**10,3**	**16,76**	**0,50**	**31,7**
	Maximum	123	26,7	24,2	1,60	52
	Minimum	28	3,2	6,1	0,05	10
2017	**Průměr**	**67,6**	**12,2**	**10,37**	**0,22**	**30,0**
	Maximum	98	20,8	14,8	0,38	53
	Minimum	35	5	5,4	<0,14	19
Limity				**N_{celk}**	**P_{celk}**	**CHSK**
„p“						**60**
„m“				**25**	**3**	**100**
„prům“				**14**	**1,5**	

Jak je patrné z tabelárních údajů, po zapracování denitrifikační sekce terciárního stupně dosahuje ČOV Třebíč vyrovnané odtokové koncentrace v případě obou nutrientů i důležitého parametru – CHSK. Dosažené výsledky tak dávají předpoklad, že ČOV nebude zpoplatněna za vypouštěný fosfor ani dusík i v případě zpřísnění limitů zpoplatnění, které se připravuje. Důležité je i to, že se daří hospodárným, plně automatickým, řízením dávkování externího substrátu pomocí optické dusičnanové sondy, nastavit proces tak, že je riziko překročení limitu zpoplatnění sníženo na minimum. Právě volba optické metody sledování odtokové koncentrace dusičnanového dusíku se ukázala, oproti choulostivějším iontově selektivním elektrodám (ISE), přínosem a měření je podstatně stabilnější a podle dosavadních srovnávacích testů s akreditovanou laboratoří i velmi přesné.

Na průběhu přítokových a odtokových koncentrací celkového fosforu je dále možné vysledovat předpovězenou stabilitu provozních výsledků, která dokládá, již výše naznačený předpoklad složitosti mechanizmu chemického srážení železitými solemi. Průběh odtokových koncentrací fosforu je i bez on-line regulace dávkování srážedla zcela nezávislý na výkyvech přítokových koncentrací fosforu. Zde je nutno uvést, že významný podíl na této skutečnosti má i zmíněný dvoustupňový způsob chemického srážení, doplněný o využití dovážených železitých kalů z úpravny pitné vody, které představuje asi 45–55 % celkové dávky železa.

Závěr

Realizací terciárního stupně naznačené koncepce, na ČOV Třebíč se podařilo prokázat, že je možné i bez pískové filtrace, relativně jednoduchým způsobem (modifikovaná metoda NRBF s filtrací chemických sraženin přes vločkový mrak stávajících dosazovacích nádrží), dosáhnout i velmi nízkých odtokových koncentrací fosforu a způsobem technologického provedení a vedení procesu tohoto stupně, že je možné i zvýšit celkovou stabilitu funkce celé ČOV. Ekonomiku procesu lze ovlivňovat regulovaným řízením celkového využití terciárního stupně podle požadovaných odtokových koncentrací celkového dusíku. Je nutné poznamenat, že předávkováním externího substrátu na třetím stupni ČOV je možné překročit hranici zpoplatnění CHSK. Tato situace je algoritmem řízení procesu v Třebíči významně eliminována.

Literatura

[1] FOLLER, Jelínek, Eyer. *Fyzikálně chemické hranice srážení fosforu ve vztahu k nařízení vlády č. 61/2003.* Blansko: Řešení extrémních požadavků na čištění odpadních vod, Sborník z konference, únor 2005.

[2] ŠÁMAL, Foller, Eyer. *Odstraňování fosforu při řešení extrémních požadavků na kvalitu odpadních vod.* Liptovský Ján: Odpadové vody 2005, Sborník z konference, říjen 2005.

[3] FOLLER, Jelínek, Tomenendálová. P*ožadavek přísných koncentrací $N_{celk.}$ a $P_{celk.}$ 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.
[4] FOLLER. *Technologické možnosti dosahování nízkých koncentrací fosforu na odtoku z ČOV.* Brno: Cyanobakterie 2010, Sborník z konference, červen 2010.
[5] LÁTAL, Foller. *Navrhování reaktorů pro účinné srážení fosforu.* Blansko: Řešení extrémních požadavků na čištění odpadních vod, Sborník z konference, únor 2011.
[6] FOLLER, Jelínek, Eyer. *NRBF systém a III. stupeň čistíren odpadních vod.* Blansko: Řešení extrémních požadavků na čištění odpadních vod, Sborník z konference, únor 2011.
[7] FOLLER, Jedličková, Linhartová, Jílek, Paulenka. *Vliv technologických odpadních vod z úpravy pitné vody na provoz kanalizace a ČOV.* Blansko: Řešení extrémních požadavků na čištění odpadních vod, Sborník z konference, únor 2013.
[8] FOLLER, Eyer. *Třetí stupeň čištění s lamelovým usazovákem.* Blansko: Řešení extrémních požadavků na čištění odpadních vod, Sborník z konference, únor 2015.
[9] FOLLER, Eyer, Tůna. *Třetí stupeň čištění – možná úsporná technická řešení.* Blansko: Řešení extrémních požadavků na čištění odpadních vod, Sborník z konference, únor 2017.

Obrázek 2: ČOV Třebíč

KOMPLEXNÍ ANALÝZA EMISÍ FOSFORU ZE VŠECH OBCÍ V POVODÍCH LOMNICE, SKALICE, LODĚNICE A ŽELIVKY A JEJICH VLIV NA STAV VODNÍCH ÚTVARŮ

Pavel Rosendorf[1], Daniel Fiala[1], Jaroslav Beneš[2], Jindřich Duras[3], Jan Potužák[4], Marek Liška[5]

[1]Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., odbor aplikované ekologie, Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6, tel. +420 220 197 413, rosendorf@vuv.cz, daniel.fiala@vuv.cz
[2]Povodí Vltavy, státní podnik, vedoucí oddělení plánování v oblasti vod, Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5-Smíchov, tel. +420 221 401 409, jaroslav.benes@pvl.cz
[3]Povodí Vltavy, státní podnik, oddělení plánování v oblasti vod, Denisovo nábřeží 14, 301 00 Plzeň, tel. +420 377 307 352, jindrich.duras@pvl.cz
[4]Povodí Vltavy, státní podnik, vedoucí VH laboratoře České Budějovice, Emila Pittera 1, 370 01 České Budějovice, tel. +420 724 308 205, jan.potuzak@pvl.cz
[5]Povodí Vltavy, státní podnik, vedoucí útvaru vodohospodářských laboratoří, Na Hutmance 5a, 158 00 Praha 5-Jinonice, tel. +420 251 050 708, marek.liska@pvl.cz

Abstrakt

Příspěvek se zabývá podrobnou analýzou vypouštění odpadních vod ve všech částech obcí v povodích Lomnice, Skalice, Loděnice a Želivky, jejichž průzkum byl proveden v letech 2015–2016. Pozornost je zaměřena na dokumentované emise celkového a fosforečnanového fosforu z obcí s různým typem nakládání s odpadními vodami. Větší pozornost je zaměřena na srovnání emisí fosforu z obcí s některým z typů čištění odpadních vod a v obcích bez takového čištění. Porovnány jsou také emise podle způsobů čištění a podle velikostních kategorií obcí. Posuzován je vliv emisí ze všech částí obcí na stav vodních útvarů v zájmových povodích a ve vybraných částech povodí je provedena podrobnější analýza možného vlivu vypouštění na koncentrace fosforu v povrchových vodách. Získané výsledky dokumentují významný vliv bodových zdrojů znečištění na zvýšené koncentrací fosforu v povrchových vodách a nutnost zabývat se komplexně problematikou nakládání s odpadními vodami ve všech typech obcí v zájmových povodích.

Klíčová slova: *fosfor; eutrofizace; bodové zdroje znečištění; vodní útvary; program opatření.*

Abstract

This paper deals with the detailed analysis of waste water discharges in all parts of municipalities in the Lomnice, Skalice, Loděnice and Želivka basins, which were surveyed in the years 2015–2016. Attention is focused on documented emissions of total and disolved phosphorus from municipalities with different types of waste water management. Great attention is focused on comparison of phosphorus emissions from municipalities with some of the types of wastewater treatment and in municipalities without such treatment. Emissions are also compared according to the treatment methods and the size categories of the municipalities. The impact of phosphorus emissions from all parts of municipalities on the status of water bodies in the river basins is assessed and a more detailed analysis of the potential impact of discharges on phosphorus concentrations in surface waters is carried out in selected parts of the river basin. The obtained results document the significant influence of point sources of pollution on the increased concentration of phosphorus in surface waters and the need to deal with the complex issue of waste water management in all types of municipalities in the river basins examined.

Keywords: *phosphorus; eutrophication; reservoirs; source of pollution; programme of measures.*

Úvod

Zvýšený přísun fosforu do vodního prostředí z různých antropogenních zdrojů způsobuje na řadě míst České republiky zvýšení úživnosti vod, tedy proces známý jako eutrofizace. Projevy eutrofizace jsou na první pohled patrné rozvojem fytoplanktonu (sinic a řas) ve všech typech vodních nádrží a méně zřetelně také na složení fytobentosu a druhotně i dalších biologických složek v převážné většině vodních toků. Lze považovat za prokázané, že pro efektivní rozvoj autotrofních složek ve vodních vnitrozemských ekosystémech je klíčový tzv. biologicky dostupný fosfor – BAP [1], který můžeme pro jednoduchost ztotožnit s fosforečnanovým fosforem, stanovovaným při běžném monitoringu vod a zdrojů znečištění.

Mnohdy vášnivé diskuse o roli a významu jednotlivých typů zdrojů znečištění na eutrofizaci vod se vedou již od poloviny 20. století. Ve světě i v Evropě se mnoho týmů věnovalo studiu eutrofizace a jejích řídících mechanismů a později i efektivnímu omezování klíčových bodových zdrojů znečištění (např. [2]). Později, na přelomu tisíciletí, se pozornost více zaměřila na jiné typy znečištění, zejména na zemědělské hospodaření a vlivy eroze [3] a [4]. Nedávné studie posuzující významnost jednotlivých zdrojů znečištění v kontextu přetrvávající eutrofizace vod upozorňují na možné přeceňování vlivu zemědělských vstupů [5] a také na možný efekt dlouhodobého zatížení vodních ekosystémů a určitou rezistenci a setrvačnost při snaze o návrat zpět do dobrého stavu (např. [6] a [7]).

Nový pohled na významnost zdrojů fosforu v povodích přináší posuzování emisí BAP [8]. Podíly BAP v emisích z různých typů zdrojů znečištění jsou značně rozdílné a mohou tak hrát klíčovou roli v eutrofizaci zasažených vodních útvarů. Z pohledu emisí

Obrázek 1. Lokalizace studovaných povodí v povodí Vltavy

jednotlivých forem fosforu se řadou studií v ČR podařilo prokázat, že v současnosti není přísun ze zemědělství za běžných průtoků významným eutrofizačním činitelem [9]–[11] a erozní přísun fosforu, i když v množství enormní, neobsahuje významný podíl BAP [12], který by mohl podporovat zvýšený rozvoj řas a sinic. Role emisí fosforu z obhospodařovaných rybníků je v některých oblastech a povodích značná a může vlivem nevhodného managementu přispívat ke značnému zatížení níže ležících vodních útvarů. V tomto jednoduchém srovnání mají i nadále rozhodující roli v emisích biologicky dostupného fosforu do vod bodové (komunální) zdroje znečištění. Podíl BAP na celkových emisích fosforu v nich obvykle dosahuje 80-90 % [13], přísun znečištění je trvalý a jeho dynamika je závislá na charakteru osídlení daného území.

Přesto, že se v mnoha povodích podařilo od roku 1989 realizovat opatření ke snížení emisí fosforu, jsou jeho vysoké koncentrace a s tím spojená eutrofizace vodních nádrží a toků jednou z hlavních překážek nedosažení dobrého stavu vodních útvarů podle Rámcové vodní směrnice [14].

V České republice došlo zejména po roce 1989 ke znatelnému poklesu znečištění povrchových vod fosforem, zhruba od roku 1995 se však snižování koncentrací fosforu v povrchových vodách zastavilo a v některých oblastech v současné době dochází dokonce k jejich mírnému zvyšování. Příčiny tohoto stavu nejsou zcela zřejmé a mohou souviset jak s častějším výskytem suchých období se sníženými průtoky, tak i s postupným napojováním řady obcí na veřejné kanalizace zakončené běžnými typy čistíren odpadních vod. Vyšší zatížení vod fosforem může souviset i s rostoucím podílem domácností, vybavených myčkami nádobí, které ve velké většině používají fosfátové tablety a mycí prostředky.

V tomto příspěvku se zabýváme detailním průzkumem a hodnocením významnosti komunálních bodových zdrojů znečištění ve vybraných povodích, kde vysoké koncentrace fosforu jsou hlavní překážkou dosažení dobrého stavu (povodí Lomnice, Skalice a Loděnice) nebo kde je omezování emisí fosforu z bodových zdrojů klíčové pro zajištění dobré kvality vody v nádrži využívané pro úpravu na vodu pitnou (povodí Želivky).

Materiál a metody

Pro analýzu emisí fosforu z bodových komunálních zdrojů znečištění byla zvolena celkem čtyři ucelená povodí významných vodních toků – povodí Lomnice, Skalice, Loděnice a Želivky (Obrázek 1). Průzkum první tří povodí byl proveden v roce 2015 (v období červen–říjen) a průzkum povodí Želivky v roce 2016 (v období květen–říjen).

Povodí Lomnice, Skalice a Loděnice byla zvolena s ohledem na vysoké koncentrace celkového fosforu zjišťované pravidelně při monitoringu vodních útvarů v těchto povodích. Povodí Želivky bylo zkoumáno z důvodu identifikace významných emisí fosforu v povodí nejvýznamnější vodárenské nádrže ve správě Povodí Vltavy, státní podnik, ale i celé ČR.

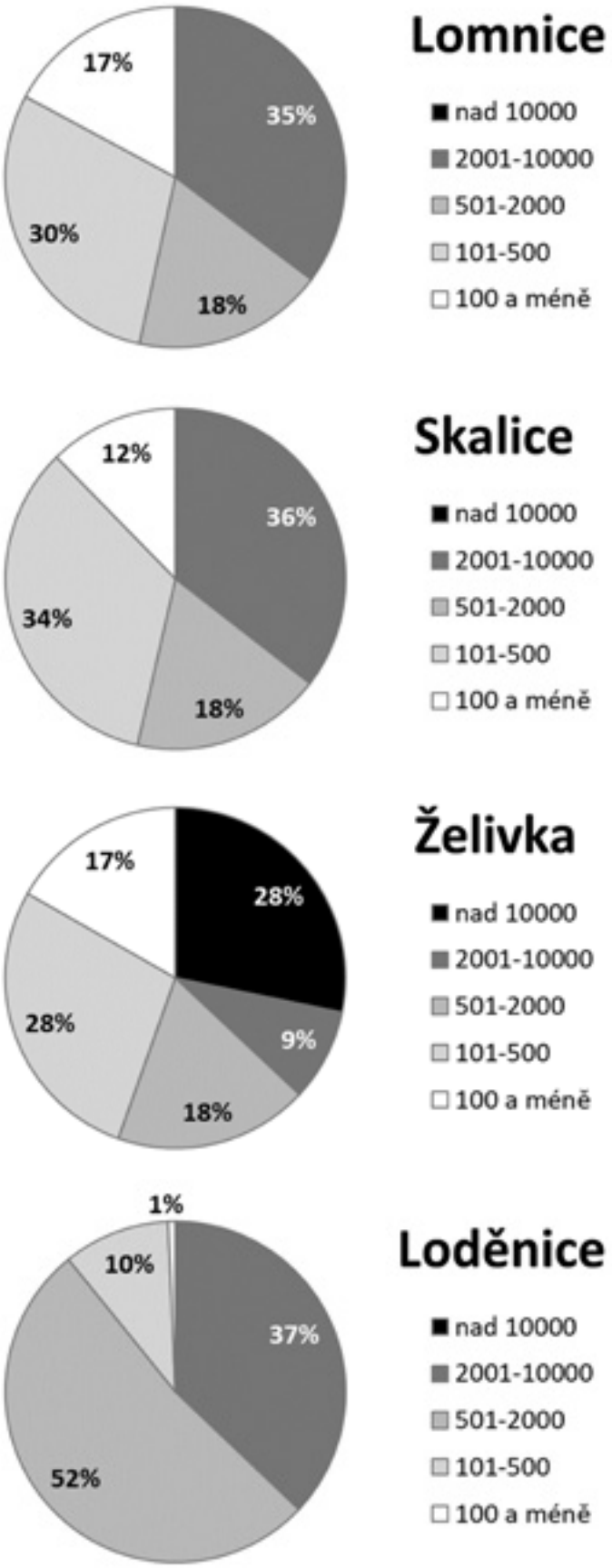
Zkoumaná povodí se liší jak svou velikostí, hustotou osídlení, způsobem nakládání s odpadními vodami včetně využívání technologií ke srážení fosforu, tak i např. zastoupením vodních nádrží (rybníků). Základní charakteristiky všech zkoumaných povodí jsou shrnuty v Tabulce 1.

Z tabulky 1 je zřejmé, že povodí Lomnice, Skalice a Želivky leží v obdobných nadmořských výškách, a i hustota osídlení ve všech třech povodích je srovnatelná. Povodí Lomnice se výrazně od ostatních povodí liší vyšším zastoupením vodních ploch (převážně rybníků). Zcela odlišné je povodí Loděnice, které leží v nižších nadmořských výškách a současně má výrazně vyšší hustotu osídlení.

Tabulka 1. Základní charakteristiky povodí Lomnice, Skalice, Loděnice a Želivky

Povodí	**plocha povodí** (km²)	**rozsah nadmořských výšek** (m)	**počet částí obcí**	**počet obyvatel**	**hustota osídlení** (obyv./km²)	**podíl vodních nádrží v ploše povodí** (%)	**počet útvarů povrchových vod**
Lomnice	453	350–827	102	17632	39	3,2	6
Skalice	375	350–862	91	18205	49	1,3	4
Loděnice	270	210–536	46	43192	160	0,8	2
Želivka	1188	320–744	327	51403	43	0,6	16

Tyto rozdíly jsou také dobře patrné při porovnání podílu obyvatel bydlících v jednotlivých velikostních kategoriích obcí ve všech čtyřech povodích (Obrázek 2).



Obrázek 2. Podíly obyvatel v jednotlivých velikostních kategoriích obcí v povodích Lomnice, Skalice, Želivky a Loděnice

Rozdělení obyvatel do jednotlivých velikostních kategorií obcí v povodí Lomnice a Skalice je téměř shodné. Povodí Želivky se těmto dvěma povodím podobá ve velikostních kategoriích do 2 000 obyvatel, rozdílem je pouze nižší zastoupení v kategorii 2 000–10 000 na úkor jediného města s počtem obyvatel nad 10 000 (Pelhřimov). Z celé skupiny povodí se vymyká povodí Loděnice, ve kterém převažují větší obce nad 500 obyvatel a téměř chybí malé obce pod 100 obyvatel.

Průzkumy všech povodí byly prováděny podle stejného schématu. Nejprve byly na základě dat Českého statistického úřadu [15] a mapových podkladů ZABAGED [16] identifikovány všechny základní sídelní jednotky, které zasahují do studovaných povodí a pro ně byly doplněny dostupné údaje o způsobu nakládání s odpadními vodami podle Plánů rozvoje vodovodů a kanalizací jednotlivých krajů, do kterých jednotlivá povodí zasahují. Pro identifikaci evidovaných výustí odpadních vod byly využity údaje zjišťované státním podnikem Povodí Vltavy pro potřeby vyhlášky MZe č. 431/2001 Sb., o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci. Tyto údaje byly doplněny o informace o dalších evidovaných výustích z databáze Integrovan**ého** systému plnění ohlašovacích povinností – ISPOP (Cenia). Po shromáždění vstupních podkladů byl proveden podrobný terénní průzkum povodí, který zahrnoval identifikaci všech veřejných i individuálních výustí odpadních vod v základních sídelních jednotkách včetně odlišení různých způsobů nakládání s odpadními vodami a způsobů čištění odpadních vod. V případě veřejných výustí odpadních vod byly zjišťovány údaje o aktuálním průtoku a měřena vodivost přenosným přístrojem HACH-LANGE. V případě, že byl ve výusti zjištěn měřitelný průtok odpadních vod nebo povrchových vod s příměsí odpadních vod, byl odebrán bodový vzorek pro stanovení koncentrací celkového a fosforečnanového fosforu. Průtok odpadních vod byl měřen kalibrovanými nádobami. Odebrané vzorky byly analyzovány ve vodohospodářské laboratoři Povodí Vltavy, státní podnik v Praze. Z dalšího hodnocení byly vyřazeny některé vzorky, odebrané za atypických situací (odlehčení odpadních vod, havarijní stav na ČOV, stavební práce v místě odběru apod.).

Pro hodnocení stavu vodních útvarů v zájmových povodích byla vyhodnocena data z provozního monitoringu Povodí Vltavy, státní podnik za období 2010–2015 pro celkový fosfor a výsledky byly porovnány s hustotou osídlení v povodí jednotlivých vodních útvarů. Pro hodnocení byla počítána hustota osídlení pro celé povodí útvaru k uzávěrovému profilu. V případě některých vodních útvarů byly použity pro hodnocení profily ležící blíže koncovému úseku toku v útvaru než ty, které slouží pro hodnocení stavu vodních útvarů pro potřeby plánování. Důvodem bylo podchycení maximálního množství sídelních jednotek v útvarech. I přesto některé profily nepodchycují veškeré možné vlivy z povodí a výsledky tak mohou být v některých případech mírně zkresleny.

Pro analýzu dat a jejich prezentaci byl využit statistický software SPSS v. 10, pro prezentaci výsledků průzkumů byl použit geografický software ArcMap 10.3.

Výsledky

Hlavním výsledkem provedených šetření ve všech čtyřech povodích je zdokumentovaná struktura způsobů nakládání s odpadními vodami a současně vyhodnocení koncentrací celkového a fosforečnanového fosforu v odebraných vzorcích vypouštěných odpadních vod v částech obcí.

Hlavní výsledky šetření způsobů nakládání s odpadními vodami ve všech povodích jsou shrnuty v Tabulce 2. Způsoby nakládání s odpadními vodami jsou zde rozděleny na vypouštění odpadních vod z čistíren odpadních vod (zde chápané v širším slova smyslu – kromě běžné mechanicko-biologické nebo kořenové ČOV jsou

Tabulka 2. Výsledky zjištěných způsobů nakládání s odpadními vodami v povodích Lomnice, Skalice, Loděnice a Želivky

Povodí	plocha povodí	ČOV	veřejná kanalizace	dešťová kanalizace	ostatní vypouštění	celkem
	(km²)	počet lokalizovaných výustí/počet odebraných vzorků				
Lomnice	453	22/18	146/69	24/8	7/1	199/96
Skalice	375	18/15	77/39	72/29	11/1	178/84
Loděnice	270	29/29	16/12	16/7	1/0	62/48
Želivka	1188	62/57	280/166	43/28	26/10	411/261

Tabulka 3. Výsledky zjištěných způsobů nakládání s odpadními vodami v povodích Lomnice, Skalice, Loděnice a Želivky

Povodí	plocha povodí	hustota osídlení	počet ČOV/ počet ČOV se srážením fosforu	napojenost obyvatel na ČOV	podíl obyvatel napojených na ČOV se srážením fosforu	koncentrace Pcelk na odtoku z ČOV	
						max.	min.
	(km2)	(obyv./km2)		(%)	(%)	(mg/l)	(mg/l)
Lomnice	453	39	22/0	57	0	16	1,2
Skalice	375	49	18/1	59	17	11	0,054
Loděnice	270	160	29/2	92	14	24	0,18
Želivka	1188	43	62/15	69	53	17	0,17

mezi ČOV zařazeny i zemní filtry, biologické rybníky a sedimentační nádrže), z veřejné kanalizace, z dešťové kanalizace případně vypouštění jiného typu (např. individuální vypouštění, rozptýlené znečištění s odběrem vzorku ve vodním toku pod obcí). Pro rozlišení veřejné kanalizace a dešťové kanalizace byl rozhodující její popis v Plánu rozvoje vodovodů a kanalizací příslušné obce.

Z výsledků v Tabulce 2 je patrný odlišný charakter nakládání s odpadními vodami v povodí Lomnice a Skalice na jedné straně, v povodí Loděnice a také v povodí Želivky na straně druhé. Pro povodí Lomnice a Skalice je charakteristické nízké zastoupení čistíren odpadních vod a výrazná převaha volného vypouštění odpadních vod veřejnými nebo dešťovými kanalizacemi. Rozdíly v podílu veřejných a dešťových kanalizací v obou povodích je dán více administrativním určením typu kanalizace v PRVKÚK než skutečným stavem v terénu. V PRVKÚK Středočeského kraje je řada kanalizací s přítomností splaškových vod deklarována pouze jako dešťová s přepady odpadních vod ze septiků, zatímco v PRVKÚK Jihočeského kraje jsou stejné případy označovány jako veřejné kanalizace. Proto je také patrné vyšší zastoupení veřejných kanalizací v povodí Lomnice. V povodí Loděnice je i vzhledem k velikostní struktuře obcí přítomno velké množství čistíren odpadních vod na úkor volných výustí a dešťových kanalizací s přítomností odpadních vod. Situace v povodí Želivky je odlišná od předchozích povodí vyšším důrazem na striktní čištění odpadních vod v bezprostředním okolí vodárenské nádrže Švihov. Proto se zde objevují čistírny odpadních vod i v relativně malých obcích, jejichž odpadní vody jsou svedeny do některého z drobných přítoků do vodárenské nádrže. Situace zejména v horních částech povodí se pak již blíží stavu, který byl dokumentován v povodích Lomnice a Skalice.

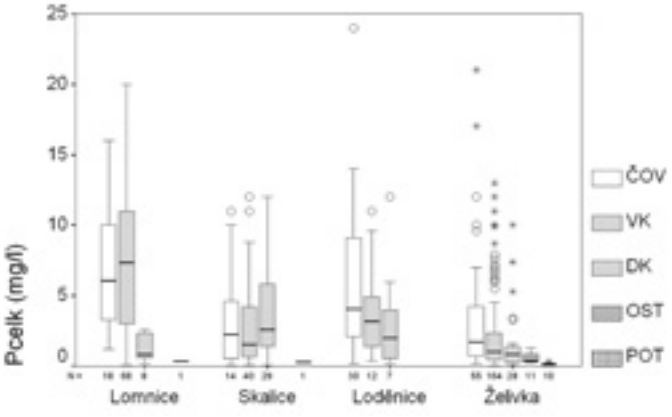
Zajímavý pohled na možný vliv vypouštěných odpadních vod v jednotlivých povodích poskytuje Tabulka 3, která shrnuje napojenost obyvatel na čistírny odpadních vod ve studovaných povodích a také podíly obyvatel napojených na ČOV vybavených technologií odstraňování fosforu. V Tabulce 3 jsou také uvedeny rozsahy koncentrací celkového a rozpuštěného fosforu, zjištěné při jednorázových odběrech odpadních vod v době průzkumů.

Tabulka 3 dobře dokumentuje rozdíly mezi všemi čtyřmi povodími z pohledu počtu obyvatel připojených na čistírny odpadních vod a současně i podílu obyvatel, kteří odpadní vody vypouštějí do kanalizace napojené na ČOV s účinným odstraňováním fosforu. Povodí Lomnice a Skalice mají podobnou úroveň napojenosti obyvatel na ČOV, dosahující téměř 60 %. V povodí Lomnice není přítomna žádná čistírna s účinným odstraňováním fosforu z odpadních vod a v povodí Skalice pouze jedna, na kterou je napojeno celkem 17 % obyvatel žijících v povodí. Zcela jiná je situace v povodí Loděnice. Toto povodí je charakteristické vysokou napojeností obyvatel na ČOV mírně přesahující 90 %, nicméně při této vysoké napojenosti je velmi málo čistíren vybaveno efektivním odstraňováním fosforu. Výjimečné postavení mezi všemi povodími zaujímá povodí Želivky. Přesto, že je celková napojenost obyvatel na čistírny odpadních vod relativně nízká (69 %), je v existujících čistírnách velmi často využívána některá z technologií účinného odstraňování fosforu. I proto se podíl obyvatel v povodí, jejichž odpadní vody jsou efektivně zbavovány fosforu, pohybuje mírně nad hodnotou 50 %.

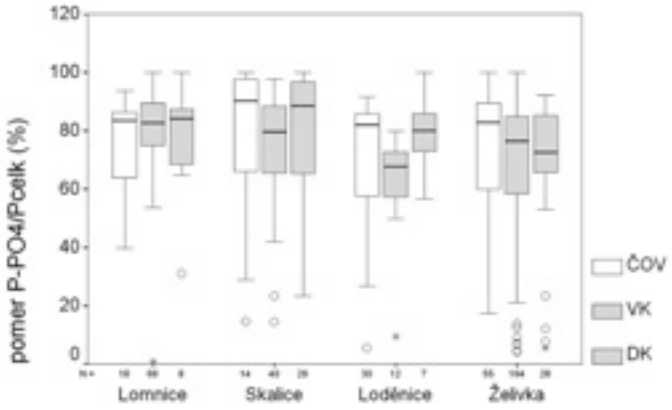
Překvapivou a velmi zásadní informaci přinesla analýza koncentrací celkového a rozpuštěného fosforu podle různých způsobů nakládání s odpadními vodami. Vypouštění odpadních vod byla rozdělena do kategorií podle způsobu odvádění a čištění odpadních vod na: 1) ČOV – čistírny odpadních vod; 2) VK – veřejné kanalizace s přímým vypouštěním do vod; 3) DK – dešťové kanalizace s průniky odpadních vod; 4) OST – ostatní typy vypouštění nezařazené do předchozích kategorií a 5) POT – vodní toky v obcích bez přímého vypouštění odpadních vod. Poslední kategorie nebyla systematicky sledována a byla doplněna pro srovnání až v povodí Želivky (Obrázek 3).

Oproti předpokladům jsou ve všech povodích zřetelné vysoké koncentrace celkového i rozpuštěného fosforu na odtoku z čistíren odpadních vod. Kromě povodí Lomnice a částečně i Skalice jsou v ostatních povodích střední hodnoty souborů vypuštění z ČOV vyšší než v souborech VK a DK. Platí to i pro povodí Želivky, kde jsou sice odtoky fosforu z čistíren odpadních vod koncentračně nižší, ale i zde jsou střední hodnoty souboru dat vyšší než pro skupinu vypouštění z veřejných i dešťových kanalizací.

Stejně překvapivé jsou také celkově vysoké hodnoty koncentrací na odtoku z řady běžných mechanicko-biologických ČOV, které především v povodích Lomnice a Loděnice často překročily hodnotu 10 mg/l. Absolutní koncentrační extrém při běžném provozu byl zjištěn ve vzorku z ČOV Nové Strašecí s hodnotou celkového fosforu 24 mg/l.



Obrázek 3. Rozsahy koncentrací celkového fosforu pro různé typy vypouštění odpadních vod ve studovaných povodích (ČOV – čistírny odpadních vod, VK – veřejné kanalizace, DK – dešťové kanalizace, OST – ostatní typy vypouštění, POT – vodní toky v obcích bez vypouštění odpadních vod)



Obrázek 4. Podíly rozpuštěného fosforu na celkovém fosforu pro různé typy vypouštění odpadních vod ve studovaných povodích (ČOV – čistírny odpadních vod, VK – veřejné kanalizace, DK – dešťové kanalizace)

Potvrzení dobře známé skutečnosti o vysokém podílu fosforečnanového fosforu v emisích celkového fosforu ve vypouštěných odpadních vodách přineslo vyhodnocení poměru obou stanovovaných forem fosforu v různých typech vypouštění. Výsledky analýzy shrnuje Obrázek 4.

V případě vypouštění z ČOV střední hodnoty souboru dat ve všech hodnocených povodích překračují hodnotu 80 %. Pokud bychom se podívali na data z ČOV podrobněji, zjistili bychom, že v případě čistíren s efektivním srážením fosforu se podíl rozpuštěné formy fosforu snižuje až na úroveň kolem 50 %. Obdobné poměry jako v ČOV dosahují i odtoky z VK a DK, v jejich případě je větší variabilita výsledků daná různým podílem balastních vod v odtoku nebo úbytkem rozpuštěných forem fosforu v kanalizační síti.

Pro lepší představu o výsledcích provedeného šetření v ploše jednotlivých povodí jsou v kartogramech na Obrázcích 5–6 vyneseny měřené koncentrace celkového a fosforečnanového fosforu v odebraných vzorcích.

Aby bylo možné posoudit možný vliv vypouštění odpadních vod na stav vodních útvarů podle koncentrací celkového fosforu, byla provedena detailní analýza hustoty osídlení v jednotlivých útvarech. Ta byla vynesena proti střední (mediánové) koncentraci celkového fosforu v uzávěrových profilech vodních útvarů. Výsledky analýzy jsou patrné z grafu na Obrázku 7.

Z výsledků je zřejmé, že vodní útvary v povodích Lomnice, Skalice a Želivky mají při srovnatelných hustotách osídlení výrazně rozdílné koncentrace celkového fosforu. Zatímco v povodí Želivky se medián koncentrací celkového fosforu pohybuje do hodnoty 0,1 mg/l (s výjimkou dvou vodních útvarů – s městem Čechtice a s městem Pelhřimov, kde byla zjištěna nejvyšší koncentrace fosforu z hodnocených útvarů), v povodí Lomnice i Skalice se koncentrace pohybují v rozmezí 0,15–0,2 mg/l. Je tedy zřejmé, že zatížení fosforem původem z odpadních vod v těchto dvou povodích je vyšší než v povodí Želivky. Z výsledků je také zřejmé, že s rostoucí hustotou osídlení roste i medián koncentrací celkového fosforu v hodnocených profilech. Z tohoto schématu vybočují pouze vodní útvary, jejichž uzávěrové profily jsou situovány pod některou z významnějších vodních nádrží. Nejlépe je tato situace patrná v povodí Želivky, kde retence fosforu v nádržích snižuje střední hodnoty celkového fosforu (pod nádržemi Švihov, Trnávka a Němčice). Odlišné výsledky byly zjištěny pro dva hodnocené vodní útvary v povodí Loděnice. Zde byly zjištěny srovnatelné koncentrace celkového fosforu jako v povodí Lomnice a Skalice ale při výrazně vyšších hustotách obyvatel. Současně zde nebyla zjištěna závislost koncentrací fosforu na zvyšující se hustotě osídlení.

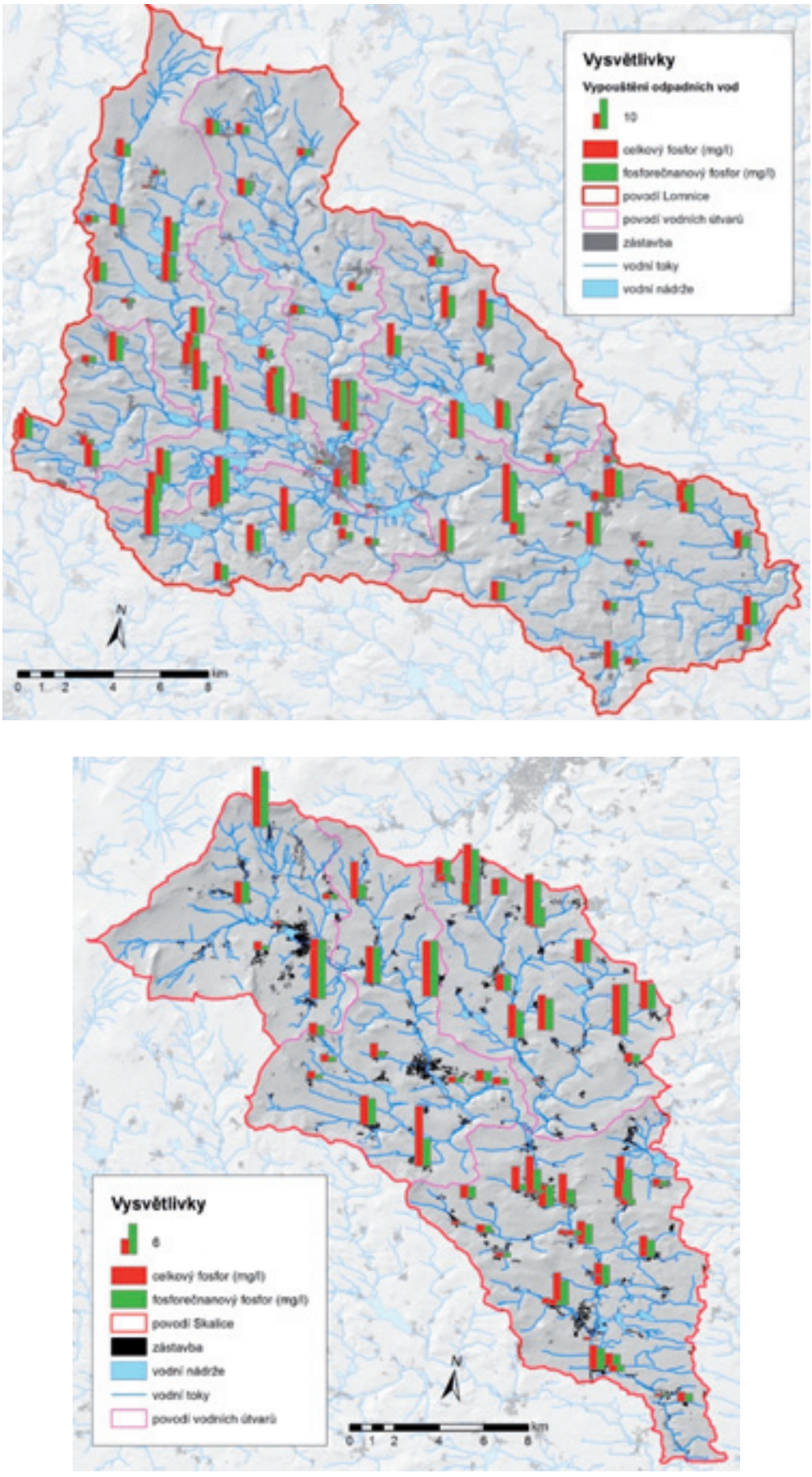
Diskuse a závěr

Získané výsledky z provedeného šetření ve čtyřech ucelených povodích přinesly jak očekávaná, tak i velmi překvapivá data. I přes dlouhodobou snahu o budování veřejných kanalizací a výstavbu čistíren odpadních vod jsou zejména povodí s rozptýlenou sídelní strukturou charakteristická nízkou napojeností obyvatel na vodohospodářskou infrastrukturu. Tato skutečnost sama o sobě však nemusí být důvodem špatné kvality povrchových vod v posuzovaných povodích. Dokládá to situace v povodí Želivky, která i přes relativně nízkou napojenost obyvatel na veřejné kanalizace a ČOV vykazuje výrazně nižší zatížení povrchových vod fosforem než přírodními a sídelními podmínkami srovnatelná povodí Lomnice a Skalice. Důvodem dobrého stavu řady vodních útvarů v povodí Želivky je vyšší důraz na odstraňování fosforu v řadě existujících čistíren odpadních vod a využívání těchto technologií i v malých ČOV. Důkazem, že vysoká míra napojení obyvatel na veřejné kanalizace zakončené čistírnami odpadních vod nemusí vést ke zlepšování stavu vodních útvarů přináší povodí Loděnice, kde napojenost obyvatel překračuje 90 % a přesto je stav vodních útvarů podle koncentrací celkového fosforu hodnocen jako nevyhovující. Příčinou je soustředění odpadních vod s jejich vypouštěním do říční sítě většinou bez efektivního odstraňování fosforu.

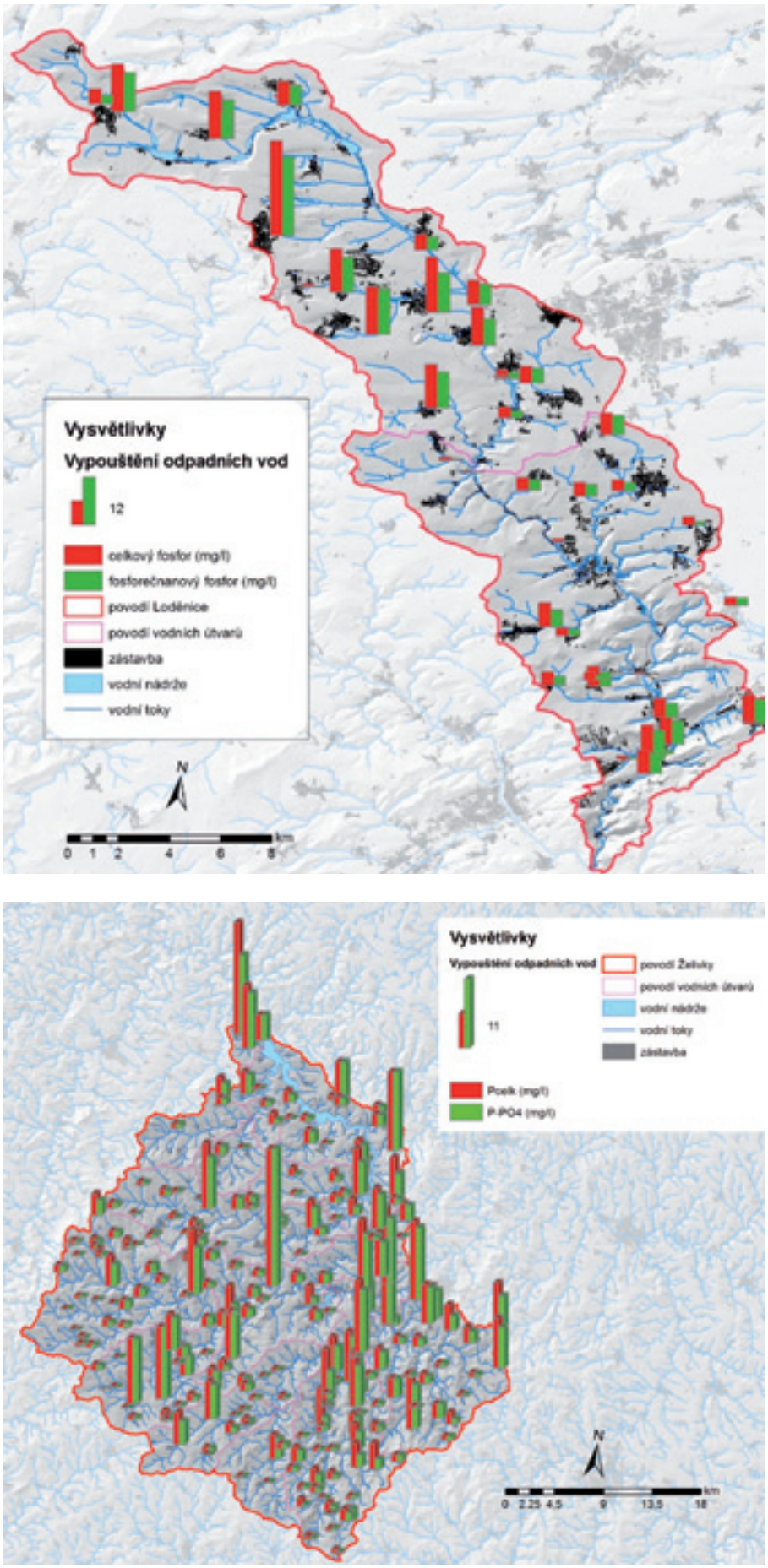
Velmi překvapivým zjištěním, které je důležitým výsledkem průzkumů všech povodí je, že koncentrace na odtoku z běžných mechanicko-biologických čistíren odpadních vod se často pohybují v jednotkách mg/l a žádnou zvláštností nejsou ani hodnoty přesahující 10 a více mg/l. Takto koncentrované „vyčištěné“ odpadní vody již mohou v případě středních a větších obcí představovat významnou zátěž recipientu a riziko pro eutrofizaci níže ležících vodních nádrží a toků. Vysoký poměr rozpuštěných forem fosforu v těchto odpadních vodách současné pasuje tyto zdroje znečištění na přední místa v žebříčku eutrofizačního potenciálu v povodí. Bylo by proto vhodné, aby se přistoupilo k legislativní případně jiné regulaci odtoku fosforu i z menších aglomerací a hledaly se vhodné způsoby omezení odtoku fosforu v odpadních vodách z velkých sídel.

Je také třeba zdůraznit, že zjištěné podíly rozpuštěného fosforu z průzkumů dobře korespondují s výsledky studií na podobném velikostním vzorku obcí ze Spojeného království [13], kde se v posledních letech velmi živě diskutuje o významnosti příspěvku různých typů znečištění na eutrofizaci vod a bodové zdroje znečištění se opět pozvolna dostávají do popředí zájmu.

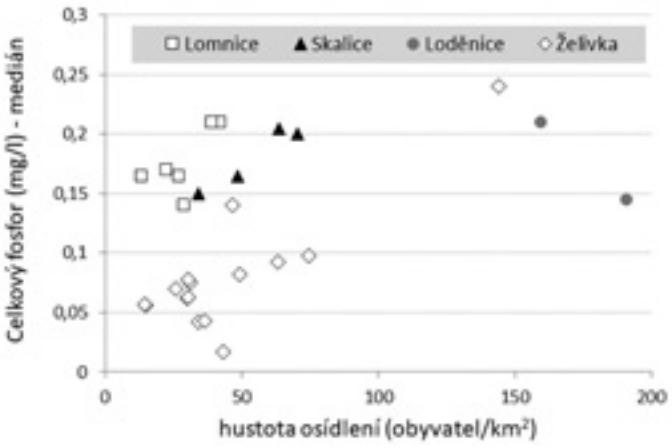
Pozitivním zjištěním provedených studií je, že i v povodích, která jsou charakteristická rozptýlenou sídelní strukturou s vysokým podílem malých obcí, lze při použití vhodných způsobu čištění a dočišťování odpadních vod dosáhnout přijatelné kvality vody



Obrázek 5. Koncentrace celkového a fosforečnanového fosforu ve vzorcích odpadních vod z povodí Lomnice (dole) a Skalice (nahoře)



Obrázek 6. Koncentrace celkového a fosforečnanového fosforu ve vzorcích odpadních vod z povodí Loděnice (nahoře) a Želivky (dole)



Obrázek 7. Vztah mezi koncentrací celkového fosforu v uzávěrových profilech vodních útvarů (medián z období 2010–2015) a hustotou osídlení v povodí vodních útvarů

a omezit eutrofizaci povrchových vod jako v povodí Želivky. Zde je logicky vyšší tlak na kvalitu vody dán přítomností nejvýznamnější vodárenské nádrže, v jiných povodích by mohla být důvodem například rekreace (vodní nádrž Orlík a povodí Lomnice a Skalice) případně jiné využití nebo ochrana přírody a společenstev vodních živočichů a rostlin.

Určitým podnětem do diskuse o způsobu nakládání s odpadními vodami v malých obcích je relativně příznivý stav v emisích fosforu při využívání „tradičních" způsobů zneškodňování odpadních vod v septicích a jímkách s přepady do dešťových kanalizaci nebo vsakováním do terénu. Tyto způsoby likvidace odpadních vod využívají přirozené retence již u zdroje a omezují tak zátěž významných vodních toků a nádrží. Naopak jakékoliv úvahy o koncentrování odpadních vod a jejich odvedení do recipientu bez účinného odstraňování fosforu představuje potenciální riziko zvyšování eutrofizace vod napříč všemi povodími v České republice.

Poděkování

Příspěvek vznikl na základě výsledků dvou studií, zadaných Povodím Vltavy, státní podnik Výzkumnému ústavu vodohospodářskému, v. v. i. v Praze v letech 2015–2016.

Literatura

[1] REYNOLDS, C., DAVIES, P. Sources and bioavailability of phosphorus fractions in freshwaters: a British perspective. 2001. Biological Reviews, 76 (1): 27–64.

[2] CHAPRA, S. C., ROBERTSON, A. (1977): *Great Lakes Eutrophication: The Effect of Point Source Control of Total Phosphorus.* Science, 196 (4297): 1448–1450.

[3] SHARPLEY, A. N., ROBINSON, J. S., SMITH, S. J. (1995) *Bioavailable Phosphorus Dynamics in Agricultural Soils and Effects on Water-Quality.* Geoderma, 67 (1–2): 1–15.

[4] WITHERS, P. J. A., LORD, E. I. (2002): *Agricultural nutrient inputs to rivers and groundwaters in the UK: policy, environmental management and research needs.* Science of the Total Environment, 282: 9–24.

[5] WITHERS, P. J. A., NEAL, C., JARVIE, H. P., DOODY, D. G. (2014): Agriculture and Eutrophication: Where Do We Go from Here? Sustainability, 6 (9): 5853–5875.

[6] JARVIE, H. P., SHARPLEY, A. N., WITHERS, P. J. A., SCOTT, J. T., HAGGARD, B. E., NEAL, C. (2013): *Phosphorus Mitigation to Control River Eutrophication: Murky Waters, Inconvenient Truths, and "Postnormal" Science.* Journal of environmental quality, 42 (2): 295–304.

[7] BOWES, M. J., GOZZARD, E., JOHNSON, A. C., SCARLETT, P. M., ROBERTS, C., READ, D. S., ARMSTRONG, L. K., HARMAN, S. A., WICKHAM, H. D. (2012): *Spatial and temporal changes in chlorophyll-a concentrations in the River Thames basin, UK: Are phosphorus concentrations beginning to limit phytoplankton biomass?* Science of the Total Environment, 426: 45–55.

[8] ROSENDORF, P., ANSORGE, L., DOSTÁL, T., ZAHRÁDKA, V., KRÁSA, J., BERÁNEK, J. (2015): *Metodika pro posuzování vlivu zdrojů znečištění na eutrofizaci vodních nádrží.* Certifikovaná metodika, TA02020808_MET, MZe (č. j. 14823/2015-MZE- 15100).

[9] FIALA, D., ROSENDORF, P. Variabilita odnosu fosforu ze zemědělské půdy v měřítku mikropovodí. Vodní hospodářství, 2011. VTEI 6/2011, s. 27–31.

[10] FUČÍK, P., KAPLICKÁ, M., ZAJÍČEK, A., KVÍTEK, T. Vyhodnocení monitoringu jakosti vod v malém zemědělsko–lesním povodí: diskrétní a kontinuální přístup. Vodní hospodářství, 2010. 8/2010, s. 213–217.

[11] RICHTR, J., HEJZLAR, J., SEMANČÍKOVÁ, E. Koncentrace a formy fosforu v odtoku z malých zemědělských povodí v povodí nádrže Orlík. In Očásková, I. Revitalizace Orlické nádrže 2009. Písek, 6.10.2009. Písek: Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, 2009, s. 65–74.

[12] KRÁSA, J., ROSENDORF, P., HEJZLAR, J., BOROVEC, J. DOSTÁL, T., DAVID, V., JANOTOVÁ, B., BAUER, M., DEVÁTÝ, J., STROUHAL, L., VRÁNA, K., ANSORGE, L., FIALA, D. A DURAS, J. (2013): *Hodnocení ohroženosti vodních nádrží sedimentem a eutrofizací podmíněnou erozí zemědělské půdy.* Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013. Certifikovaná metodika. ISBN 978-80-01-05428-4.

[13] NEAL, C., JARVIE, H. P., NEAL, M., LOVE, A. J., HILL, L., WICHAM, H. Water quality of treated sewage effluent in a rural area of the upper Thames Basin, southern England, and the impacts of such effluents on riverine phosphorus concentrations. 2005. Journal of Hydrology. 304: 103–117.

[14] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000 ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky.

[15] Český statistický úřad. Základní sídelní jednotky na území ČR.

[16] PRESSOVÁ, J. (2014): Katalog objektů ZABAGED ®. Český úřad zeměměřický a katastrální. pp. 152.

KONCENTRACE FOSFORU V NÁDRŽÍCH ORLÍK A SLAPY: VÝSLEDEK SOCIOEKONOMICKÉHO VÝVOJE V POVODÍ A ZMĚNY KLIMATU

Josef Hejzlar, Jiří Jarošík, Jiří Kopáček, Yuliya Vystavna

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

Abstrakt

Na základě existujících datových řad pro fosfor v nádržích Slapy a Orlík a v jejich hlavních přítocích jsme rekonstruovali vstup P z povodí do těchto dvou nádrží pro období 1961–2015 a sestavili nádržové modely retence P. Koncentrace P v obou nádržích rostly od 60. let minulého století do roku 1991 a pak začaly klesat, v nádrži Slapy ale s výrazně větší meziroční variabilitou. Trendy koncentračního nárůstu a poklesu P byly odrazem vývoje socio-ekonomiky v povodí Vltavy, zejména stavu kanalizací, vypouštění odpadních vod, aplikace hnojiv, množství hospodářských zvířat a intenzity rybničního chovu ryb. Po roce 1991 se v nádrži Slapy koncentrace P za zvýšených letních průtoků začaly zvyšovat a podporovat rozvoj fytoplanktonu, kdežto v suchých létech klesaly až k mezotrofii. Klimaticko-hydrologicky podmíněné procesy v současnosti zjevně začaly konkurovat obecně klesajícímu trendu znečištění P a zvyšují eutrofizaci nádrže navzdory poklesu zatížení P z povodí.

Klíčová slova: *VN Orlík a Slapy; modelování retence fosforu; eutrofizace; socio-ekonomické indikátory; změna klimatu.*

Abstract

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

Keywords: *Orlík and Slapy reservoirs; modelling of phosphorus retention; eutrophication; socio-economic indicators; climate change.*

Úvod

Vysoké koncentrace fosforu (P) jsou příčinou eutrofizace povrchových vod a jedním z nejčastějších důvodů neplnění požadavku Rámcové směrnice vodní politiky EU (RVS) na jejich dobrý ekologický stav či potenciál. Tento problém se týká zhruba dvou třetin nádrží v ČR [1]. Jako u jiných polutantů, znečištění povrchových vod fosforem pochází především z povodí a podílejí se na něm různé antropogenní zdroje, zejména zemědělské aktivity (obdělávání půdy, hnojení, chov hospodářských zvířat), urbanizace a rozvoj infrastruktury vodního hospodářství (odkanalizování obyvatelstva, úroveň čištění odpadních vod, nepropustné plochy aj.), které během posledního půlstoletí prošly výrazným vývojem, a to nejen v ČR ale i jinde v Evropě i v dalších částech světa [2–4]. Zároveň se ukazuje, že na odnos živin z povodí a jejich následný koloběh ve vodách také působí změna klimatu v důsledku globálního oteplování tím, že ovlivňuje sezónnost srážek, průtoky, teplotu vody a v hlubokých jezerech a nádržích také teplotní stratifikaci [5–8].

Koncentrace P je v nádržích a jezerech řízena jednak koncentrací P v přítocích, rychlostí jeho sedimentace a zpětného uvolňování ze sedimentu do vodního sloupce, případně recyklováním ve vodním sloupci [9,10]. Souhrnným výsledkem všech těchto procesů je tzv. retence P, která udává, jaká část z přísunu P je v nádrži zadržena. Koeficient retence (R) se pak definuje jako $R = 1 - P/P_{in}$, kde: P je koncentrace fosforu v nádrži, popř. v odtoku, a P_{in} je přítoková koncentrace P. Retence P je nepřímo úměrná průtočnosti či hydraulickému zatížení nádrže [11,12], ale může ji ovlivňovat také mnoho dalších faktorů, jako např. tvarová morfologie a hloubka nádrže, přítoková koncentrace P, velikost zatížení P anebo stav využití nosné kapacity daného vodního tělesa pro růst fytoplanktonu [10,13,14], takže retence P je v každém vodním tělese za daného stavu přísunu P do značné míry specifická a unikátní i přes svou obecně platnou závislost na době zdržení vody nebo průtočnosti. Důsledkem je, že předpovídání retence P podle průměrných vztahů sestavených na základě údajů z velkého množství morfologicky odlišných nádrží či jezer je zatíženo značnou nejistotou. I s tímto vědomím byl v metodice hodnocení ekologického potenciálu nádrží RVS [15] pro nastavení hraničních limitů pro jednotlivé kategorie ekologické kvality použit průměrný model podle Vollenweidera kalibrovaný pro nádrže [10], tj. $R = 1{,}84\tau^{0{,}5}/(1+1{,}84\tau^{0{,}5})$, kde: τ [rok] je teoretická doba zdržení vody v nádrži. Nicméně je zřejmé, že nastavené limitní hranice dobrého/středního ekologického potenciálu mohou být pro některé nádrže poměrně benevolentní, pro jiné naopak velmi přísné.

Prvotním záměrem a cílem naší studie bylo vyhodnotit příčiny změn koncentrace P v časové řadě měřené v nádrži Slapy od roku 1959 až do současnosti (tj. řadě svou délkou a počátkem měření unikátní minimálně v měřítcích střední Evropy) a pokusit se na jejím základě zrekonstruovat vývoj zdrojů znečištění povrchových vod fosforem v povodí horní Vltavy. Brzy po zahájení analýz jsme

však zjistili, že se neobejdeme také bez rekonstrukce vstupů fosforu do kaskády nádrží Orlík–Kamýk–Slapy, hydrologických ukazatelů a bez charakterizace retence P v obou hlavních nádržích – Orlík a Slapy. Díky tomu se však podařilo sestavit ucelený datový soubor, který dokládá, že fosforové znečištění v povodí Vltavy bylo nezanedbatelné již v 60. letech minulého století a že koncentrace P v nádržích Orlík a Slapy jsou do značné míry ovlivňovány nejen hydrologicky ale také proměnlivou retencí P. Naše hodnocení dokumentuje jednak vývoj klíčových zdrojů znečištění P v povodí, jednak ukazuje, že změny klimatických podmínek v posledním čtvrtstoletí ovlivňují sezónní dostupnost P pro růst fytoplanktonu a podílejí se na rozkolísanosti koncentrací fosforu zejména v letním období a na větší citlivosti nádrží k eutrofizaci.

Charakteristika lokality, použitá data, metodika

Povodí horní Vltavy (plocha 12 968 km² k hrázi nádrže Slapy, rozsah nadmořských výšek 271–1 378 m n. m.) se převážně rozkládá na území původního Jihočeského kraje (tj. včetně okresu Pelhřimov), se kterým má téměř shodnou celkovou plochu i počet obyvatel, takže lze pro hodnocení socio-ekonomických ukazatelů využívat dostupná statistická krajská data. Technické charakteristiky nádrží Orlík, Kamýk a Slapy jsou uvedeny v **tabulce 1**. Z limnologického hlediska Orlík patří ke zvrstveným dimiktickým nádržím vytvářejícím letní i zimní stratifikaci. Kamýk je silně průtočná nestratifikovaná nádrž. Slapy jsou zvrstvená monomiktická nádrž, která v zimě nezamrzá a v době letní stratifikace se vyznačuje výrazným zkratováním přítoku hypolimniem, protože relativně chladná voda vypouštěná z hypolimnia nádrže Orlík se ve Slapech zasunuje do spodních vrstev, odkud je odtahována na turbíny hydroelektrárny výpustmi v hloubce cca 40 m.

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

Denní průtoková data v přítocích do nádrže Orlík pocházejí z měření na limnigrafických stanicích Českého hydrometeorologickém ústavu (ČHMÚ) Vltava – Hluboká n/Vlt., popř. Vltava – České Budějovice (po r. 1990), Lužnice – Bechyně, Otava – Písek, Lomnice – Dolní Ostrovec, Skalice – Varvažov; přítok do nádrží z neměřeného zbytku povodí včetně průtoku v profilu Mastník – Radíč byl vypočten hydrologickou analogií na základě průměrného odtoku z povodí Lomnice a Skalice. Údaje o kótách hladiny, odběrech hydroelektráren a celkovém odtoku byly získány z písemných hodinových záznamů, popř. po roce 1990 z elektronické databáze archívu provozního sledování Vltavské kaskády v pražském centrálním vodohospodářském dispečinku PVL. Odtok z nádrží byl následně zrekonstruován metodou bilancování množství přitékající vody a aktuálních změn objemu vody v nádržích s krokem 1 hodina. Dlouhodobá denní klimatická data v měřících stanicích Tábor a České Budějovice pochází z databáze ČHMÚ.

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

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

Tabulka 1. Hlavní technické charakteristiky sledovaných nádrží (průměry za období 1961–2015)

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

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

P_{in} a q_w pomocí vztahu vzniklého spojením a úpravou dvou výše uvedených rovnic: $v_p = q_w(P_{in} - P_o)/P_o$.

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

Výsledky a diskuse

Trendy vývoje koncentrací P_{celk}

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

Trendy socioekonomických ukazatelů v povodí

Socio-ekonomické ukazatele se v povodí nádrže Slapy během posledního půlstoletí výrazně vyvíjely s největšími změnami počátkem 90. let minulého století (obr. 2). Počet obyvatel se zvětšoval jen mírně, ale zásadní změny proběhly v podílu populace připojené na kanalizaci, výstavbě čistíren odpadních vod a jejich účinnosti z hlediska odstraňování P (obr. 2a). Výrazně se měnila také specifická produkce P obyvatelstvem do komunálních odpadních vod, která až do počátku 90. let rostla v důsledku zvyšování použití fosfátových detergentů a poté klesla ve dvou vlnách po uzavření dohody Ministerstva životního prostředí ČR (MŽP) s výrobci detergentů o omezení koncentrace fosforu v detergentech v roce 1995 a úplném legislativním zákazu fosfátových detergentů v maloobchodním prodeji v roce 2006. Důsledkem těchto změn byl dramatický vývoj v množství P ve vypouštěných odpadních vodách (obr. 2b). V zemědělském sektoru narostly do konce 80. let aplikace P v minerálních hnojivech z 10 na 37 kg ha^{-1} a v organických hnojivech z 15 na 20 kg ha^{-1}, ale pak nastal jejich výrazný pokles. Intenzita roční produkce rybničního chovu ryb vzrostla z počáteční hodnoty cca 230 kg ha^{-1} na >500 kg ha^{-1} v 90. letech a stále se udržuje na této úrovni.

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

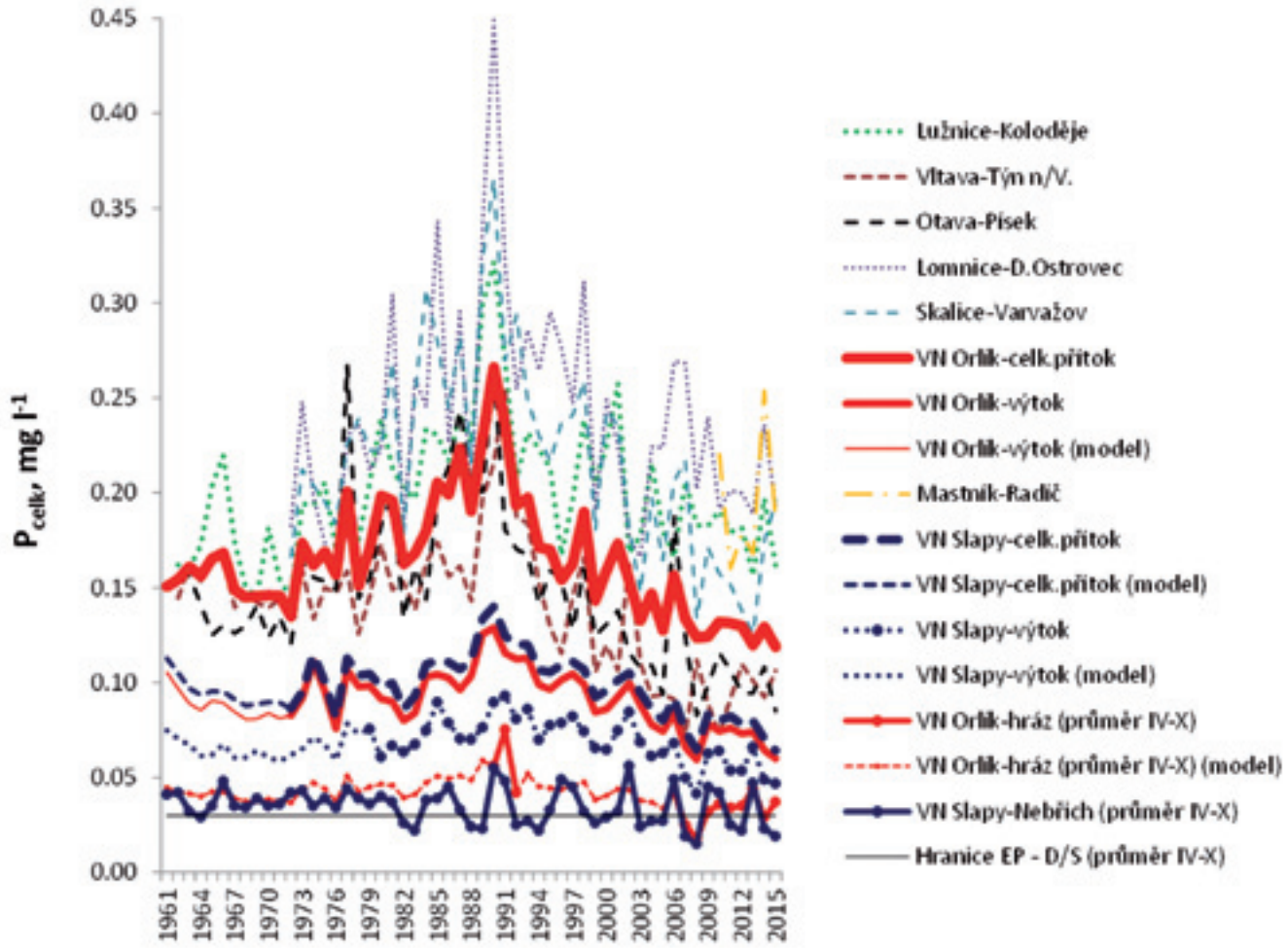
Analýza retence fosforu v nádržích

Relativní množství zadrženého P (neboli koeficient retence R) v nádrži Orlík v letech, pro něž se nám podařilo zrekonstruovat přítokové i odtokové koncentrace (tj. 1972–2015), kolísalo v rozmezí od 0,31 do 0,58 s průměrem (± směrodatnou odchylkou) 0,44±0,06 a bylo zhruba o polovinu vyšší než byla hodnota R v nádrži Slapy, tj. průměr 0,30±0,05 pro období 1979–2015 (obr. 3a). Hodnoty R byly nejvyšší v 80. letech s mírnou (statisticky nevýznamnou) tendencí k poklesu v pozdějších letech. Odlišnosti v retenci R mezi oběma nádržemi i meziroční variabilitu R lze připsat na vrub hlavně rozdílům doby zdržení vody v nádržích a meziročnímu kolísání průtoků, protože součinitel sedimentační rychlosti v_p nabýval v obou nádržích srovnatelných průměrných hodnot, tj. 95±33 m a^{-1} v nádrži Orlík a 105±36 m a^{-1} v nádrži Slapy. Změny v_p v průběhu sledovaného období probíhaly v obou nádržích víceméně souběžně (obr. 3b),

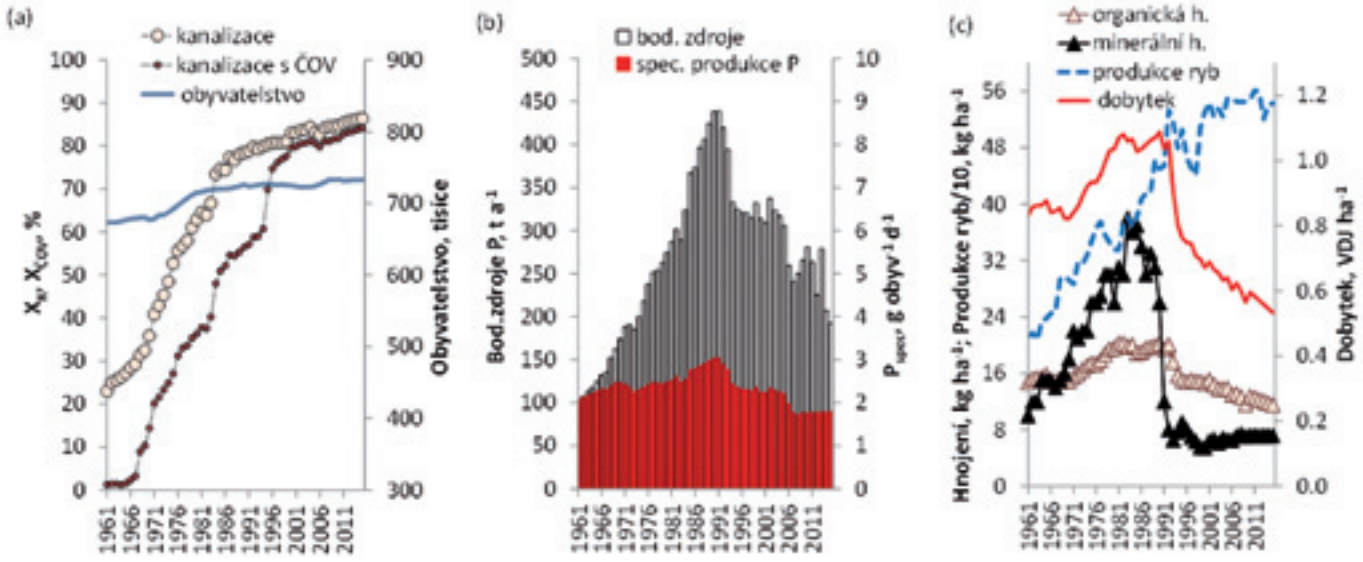
Tabulka 2. Korelační vztahy mezi roční průměrnou koncentrací P_{celk} v celkovém přítoku do nádrže Orlík a socio-ekonomickými ukazateli v povodí (Bod.z.P – bodové zdroje P v povodí [t a^{-1}]; P_{spec} – specifická produkce P obyvatelstvem do komunálních odpadních vod [g $obyv^{-1}$ d^{-1}]; X_K – podíl obyvatel připojených na kanalizaci; $X_{ČOV}$ – podíl obyvatel připojených na kanalizaci s ČOV; Hnoj.org. – hnojení zemědělské půdy organickými hnojivy [P, kg ha^{-1}]; Hnoj.min. – hnojení minerálními hnojivy [P, kg ha^{-1}]; Dobytek – hustota dobytka na zemědělské půdě [VDJ ha^{-1}]; Chov ryb – roční produkce rybničního chovu ryb [kg ha^{-1}]) pro různá časová období

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

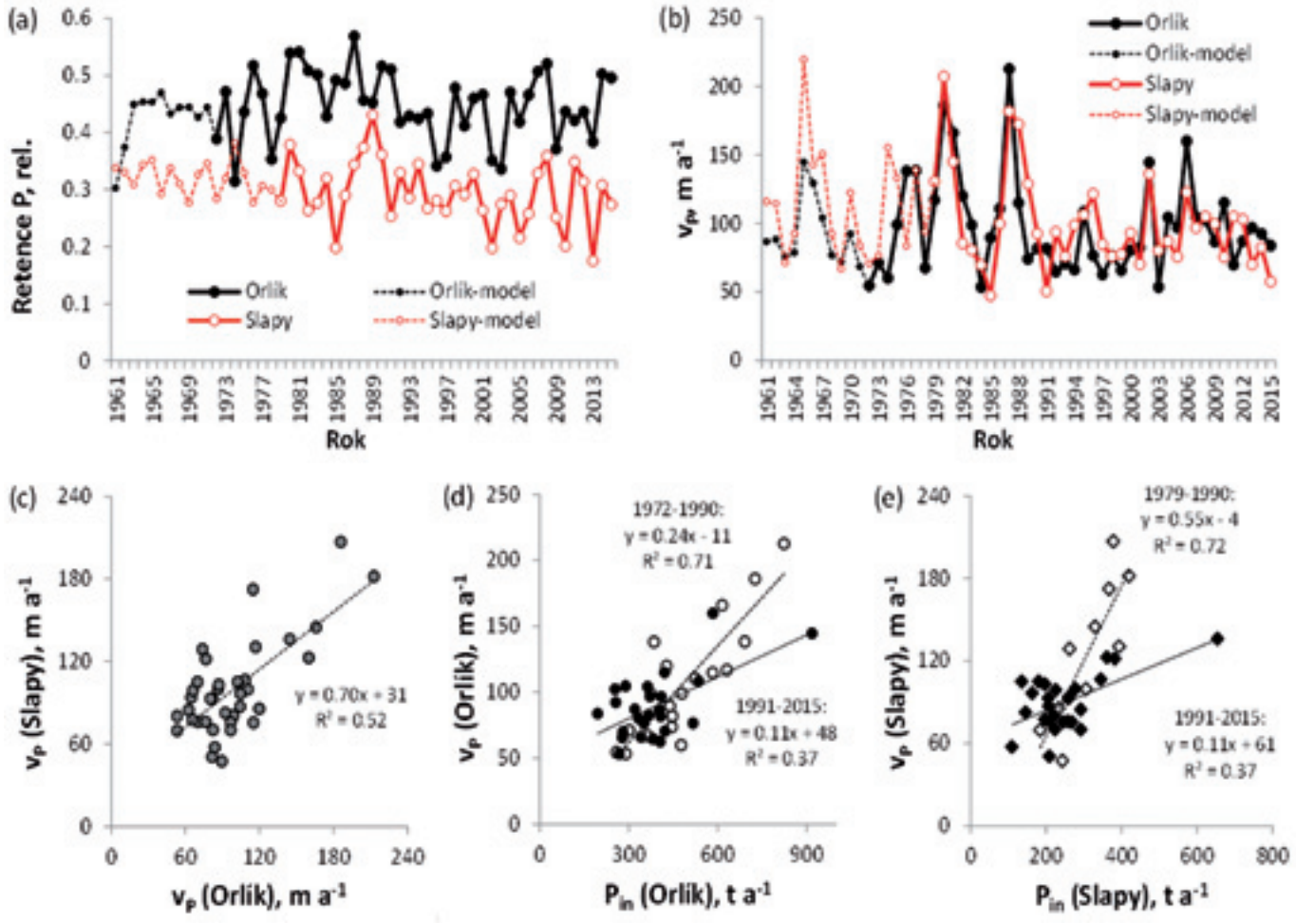
*[§] hodnoty představují Pearsonův korelační koeficient; negativní znaménko (–) indikuje negativní směrnici závislosti; hvězdička indikuje statistickou významnost: * p<0,05; ** p<0,01; statisticky významné hodnoty jsou tučným písmem*



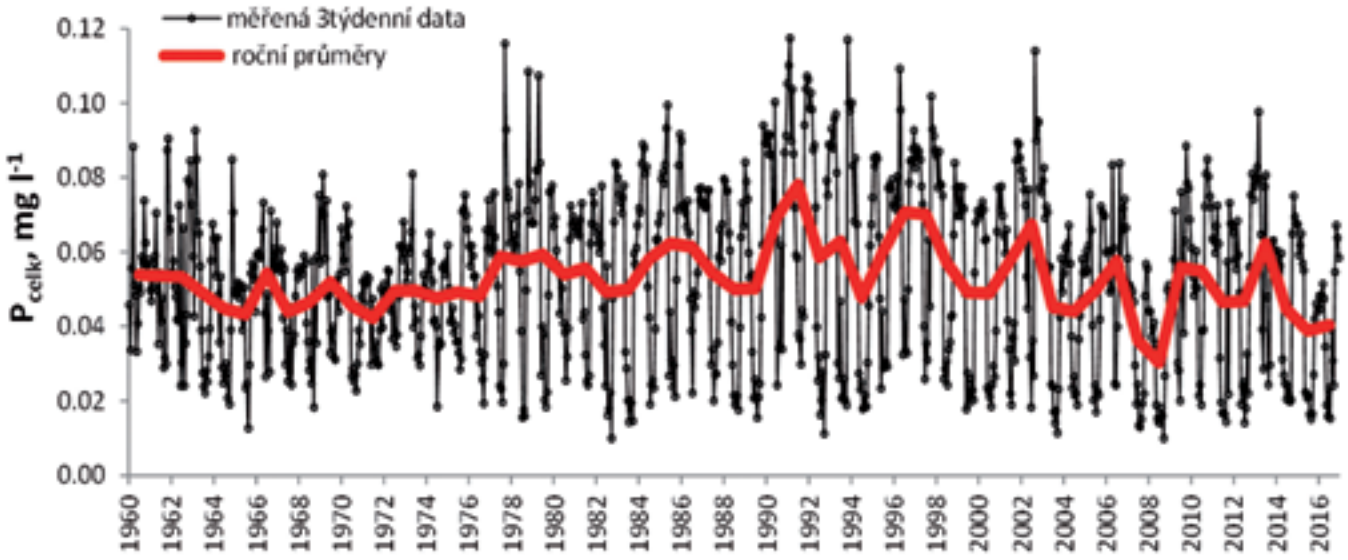
Obrázek 1. Průtokově vážené průměrné roční koncentrace P_{celk} v nádržích Orlík a Slapy a v jejich přítocích v období 1961–2015



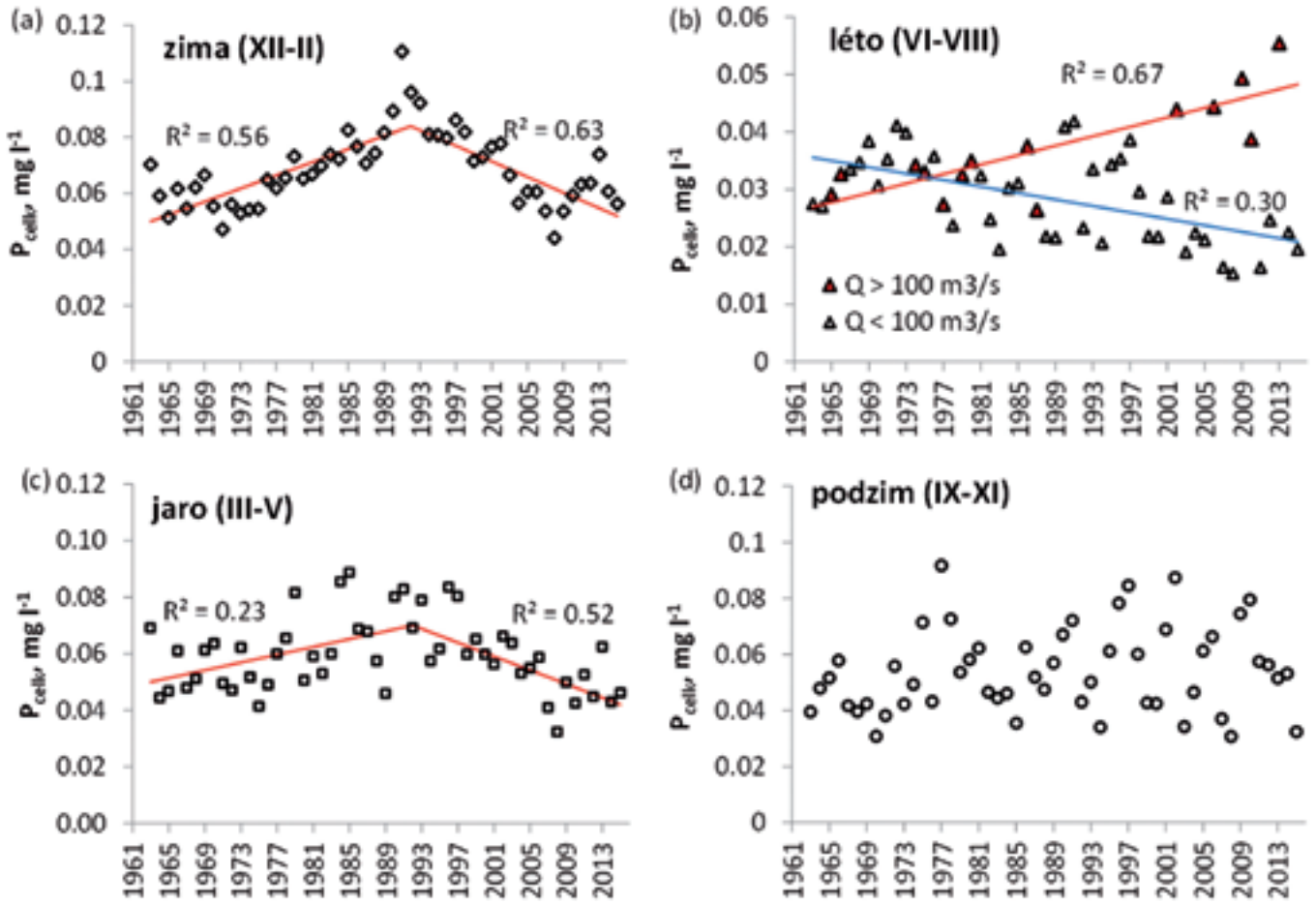
Obrázek 2. Vývoj socio-ekonomických ukazatelů v povodí nádrže Slapy: (a) počet obyvatel, připojení na kanalizace (X_K) a kanalizace s ČOV ($X_{ČOV}$); (b) export P z bodových zdrojů do povrchových vod a specifická produkce P obyvatelstvem do odpadních vod (P_{spec}); (c) aplikace P v hnojivech a hustota dobytka na zemědělské půdě a intenzita rybničního chovu ryb



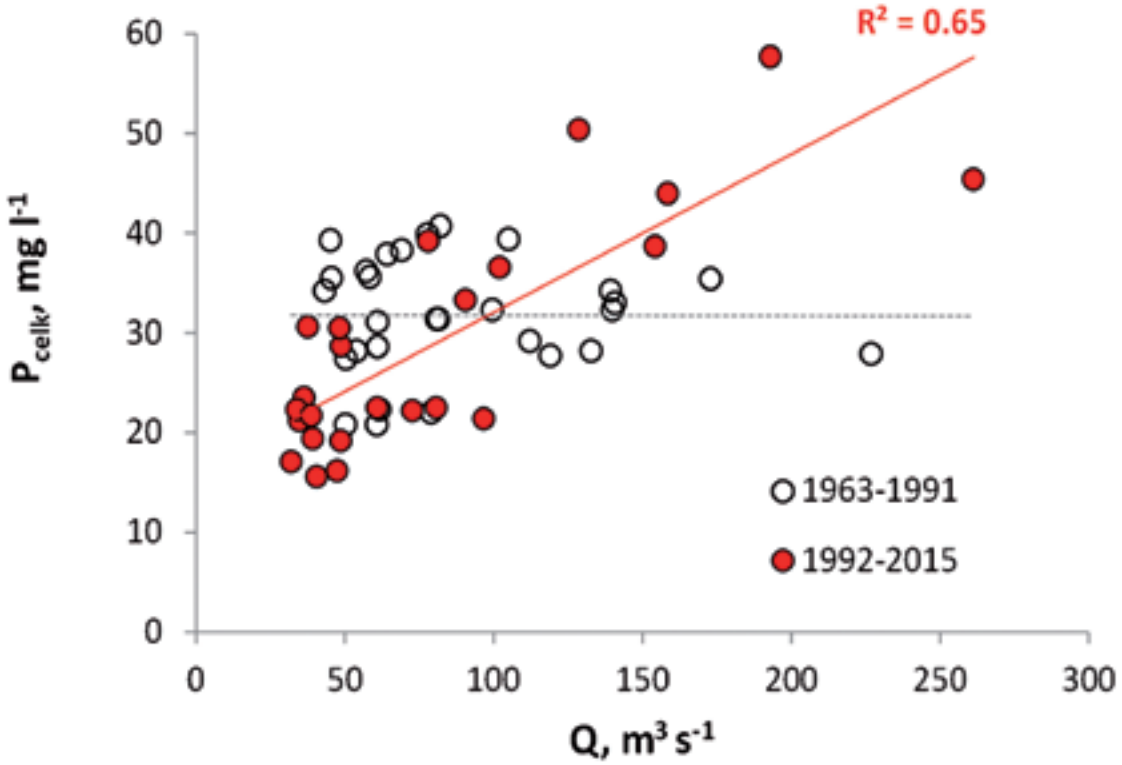
Obrázek 3. Ukazatele retence P v nádržích Orlík a Slapy: (a) relativní retence vypočtená z celkového zatížení a odtokové koncentrace P; (b) součinitel sedimentační rychlosti v_p; (c) korelační vztah mezi ročními hodnotami v_p v nádržích Orlík a Slapy; (d) závislost v_p v nádrži Orlík na přísunu P v období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



Obrázek 4. Koncetrace P_{celk} v profilu Slapy-Nebřich v období 1960–2016



Obrázek 5. Časové řady průměrných sezónních koncentrací P_{celk} v nádrži Slapy; čáry ukazují statisticky významné ($p<0.05$) lineární regresní trendy



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

takže mezi jejich ročními hodnotami v_p byl silný korelační vztah, vysvětlující 52 % variability (obr. 3c). Příčiny variability hodnot v_p, jsme testovali pomocí korelační analýzy a vícenásobné lineární regresní analýzy a hledali jsme souvislosti např. s koncentracemi a složením forem P v přítocích do nádrží, průtokem, teplotou vody či klimatickými veličinami. Jako jediná statisticky významná příčina byla nalezena pozitivní závislost v_p na absolutní velikosti přísunu P do nádrže, která se ale lišila ve velikosti směrnice v obdobích před rokem 1990 a v období 1991–2015 (obr. 3d,e). Do roku 1990, tj. období rostoucího odnosu P z povodí, dokázala tato závislost vysvětlit u obou nádrží přes 70 % variability a její směrnice byla strmější než od roku 1991, kdy přísun P z povodí postupně klesal a vztah mezi v_p a přísunem P do nádrží byl volnější, s vysvětlenou variabilitou 37 %. Toto zjištění je zajímavé, protože nabízí vysvětlení, proč koncentrace P v nádržích neklesaly ve stejné proporci, jako se snižovaly jejich přítokové koncentrace. Kromě toho, extrapolace v_p v regresní rovnici do nulové hodnoty umožňuje odhadnout průměrné množství P, kterým se sediment meziročně podílí na snižování či zvyšování zatížení nádrže fosforem. Podle tohoto odhadu byl sediment jako takový v období do roku 1990 schopen vázat v průměru ročně 170 t P v nádrži Orlík a 140 t P v nádrži Slapy, kdežto po roce 1991 naopak v průměru ročně uvolňoval 70 t P v nádrži Orlík a 50 t P v nádrži Slapy. Během období do roku 1990, kdy rostl přísun P z povodí, se tak zjevně vytvářela v sedimentech nádrží zásoba P, ze které se při snižování koncentrace ve vodním sloupci fosfor potom postupně uvolňoval a tlumil snižování koncentrace ve vodním sloupci. Pro dosažení limitní koncentrace pro dobrý ekologický potenciál bude tedy potřeba počítat s vyšším rozsahem opatření ke snížení odnosu P v povodí, než jak by se dalo předpokládat na základě velikosti retence v době s nejvyšším znečištěním.

Dlouhodobá a sezónní variabilita koncentrace P v nádrži Slapy

Jednotlivé koncentrace P_{celk} naměřené v nádrži Slapy v profilu Nebřich během nepřetržitého 57letého sledování se pohybovaly v řádovém rozmezí 0,010–0,12 mg l^{-1} a průměrné roční koncentrace v rozmezí 0,031–0,077 mg l^{-1} (obr. 4). Pro celé období (1961–2015) Kendallův test neprokázal žádné statisticky významné monotónní trendy ani pro průměrné roční, ani pro sezónní koncentrace P_{celk}. Použití segmentové regrese však prokázalo v roce 1992 pro roční koncentrace P_{celk} zlomový bod, který rozdělil časovou řadu na dva úseky se statisticky významnými trendy v období 1961–1991 s trendem nárůstu 0,6 μg l^{-1} a^{-1} a v období 1992–2015 s trendem poklesu -0,9 μg l^{-1} a^{-1}.

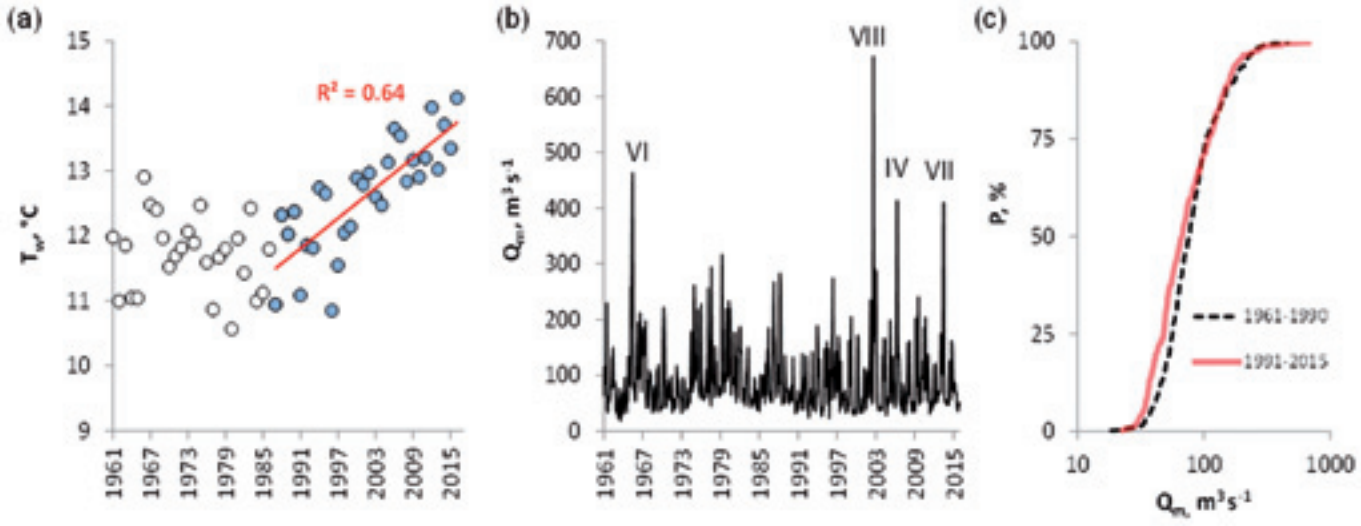
Sezónní koncentrace P_{celk} byly nejnižší v letním a nejvyšší v zimním období (obr. 5). V časových řadách zimních a jarních koncentrací byl segmentovou regresí zjištěn, obdobně jako pro roční koncentrace, zlomový bod v roce 1992 s rostoucím trendem v období 1961–1991 a klesajícím trendem v období 1992–2015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

Trendy environmentálních veličin

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

Hladinová teplota vody naměřená při 3týdenních odběrech začala růst koncem 80. let minulého století a zvýšila se do současnosti v průměru o cca 1,5 °C (obr. 7a). Sezónní Kendallův test prokázal statisticky významný ($p<0,01$) trend nárůstu se směrnicí 0,03 °C a^{-1} za celé období či 0,08 °C a^{-1} v období 1987–2015. Významné rostoucí trendy teploty vody byly prokázány v posledních letech i pro všechny čtyři roční sezóny, přičemž zlomový bod počátku teplotního nárůstu u nich segmentová regrese našla v rozmezí let 1987–1990.

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



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

Závěry

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

V případě hladinové koncentrace P_{celk} v nádrži Slapy v letním období byly příčiny dlouhodobé variability komplexnější a kromě změn zatížení P z povodí závisely také na klimatických a hydrologických podmínkách, tj. hlavně nárůstu teploty a zvětšování nerovnoměrnosti průtoku. Nízký průtok podporuje v nádrži Slapy prodlužování doby stratifikace a pokles koncentrace P v povrchové vrstvě. Naopak události s vysokým průtokem způsobují i v letním období narušení stratifikace, promíchávání hlubokých vrstev vody (z hypolimnia bohatého na P jednak díky vysokým přítokových koncentracím a také v důsledku uvolňování P ze sedimentů) s epilimniem a zvyšování koncentrace P. Proto se variabilita letních koncentrací P v nádrži začala po roce 1990 zvyšovat a stala se závislou na průtoku. Tento mechanismus vede paradoxně k situaci, kdy letní koncentrace P_{celk} v epilimniu mohou při vysokém průtoku růst (a eutrofizovat nádrž více než v minulosti) navzdory obecnému poklesu zatížení P i poklesu zimních a jarních koncentrací P_{celk}.

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

Poděkování

Studie byla podpořena projektem Grantové agentury ČR č. 15-04034S: Odrážejí dlouhodobá data o zooplanktonu Slapské nádrže civilizační a/nebo klimatické změny v minulých 50 letech?

Autoři děkují státnímu podniku Povodí Vltavy za bezplatné poskytnutí provozních dat ze sledování jakosti vody a hydrologických ukazatelů, zejména pak pracovníkům centrálního vodohospodářského dispečinku za spolupráci při získávání provozních a hydrologických dat pro nádrže Vltavské kaskády z před-digitálního období.

Literatura

[1] BOROVEC, J. *Vyhodnocení ekologického potenciálu silně modifikovaných a umělých vodních útvarů – kategorie jezero.* Biologické centrum AV ČR, v.v.i., České Budějovice, 2013, 14 s.

[2] BOWES, M.J., SMITH, J.T., JARVIE, H.P., NEAL, C. & BARDEN, R. Changes in point and diffuse source phosphorus inputs to the River Frome (Dorset, UK) from 1966 to 2006. Science of the Total Environment, 2009, roč. 407, s. 1954–1966.

[3] SMITH, V.H. & SCHINDLER, D.W. *Eutrophication science: where do we go from here?* Trends in Ecology and Evolution, 2009, roč. 24, s. 201–207.

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

[5] JEPPESEN, E., KRONVANG, B., OLESEN, J.E., AUDET, J., SØNDERGAARD, M., HOFFMANN, C.C., ANDERSEN, H.E., LAURIDSEN, T.L., LIBORIUSSEN, L., LARSEN, S.E., BEKLIOGLU, M., MEERHOFF, M., ÖZEN, A. & ÖZKAN, K. *Climate change effects on nitrogen loading from cultivated catchments in Europe: Implications for nitrogen retention, ecological state of lakes and adaptation.* Hydrobiologia, 2011, roč. 663, s. 1–21.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

[16] HRBÁČEK, J., PROCHÁZKOVÁ, L., STRAŠKRABOVÁ-PROKEŠOVÁ, V. & JUNGE C.O. *The relationship between the chemical characteristics of the Vltava River and Slapy Reservoir with an Appendix: Chemical Budget for Slapy Reservoir.* In: Hydrobiological Studies 1 (J. Hrbáček, ed.). Academia, Prague, 1966, s. 41–84.

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

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

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

[20] MURDOCH P.S. & SHANLEY J.B. *Detection of water quality trends at high, median, and low flow in a Catskill Mountain stream, New York, through a new statistical method.* Water Resources Research, 2006, roč. 42, čl. č. W08407.

SAMOČISTÍCÍ PROCESY V POVODÍ VODÁRENSKÉ NÁDRŽE ŠVIHOV: RYBNÍKY A DROBNÉ VODNÍ TOKY

Jindřich Duras[1], **Michal Marcel**[1], **Václav Boháček**[2]

[1]*Povodí Vltavy, státní podnik, Denisovo nábřeží 14, 301 00 Plzeň, tel. +420 602 429 682, jindrich.duras@pvl.cz*
[2]*Povodí Vltavy, státní podnik, V Lískách 795/35, 591 01 Žďár nad Sázavou*

Abstrakt

V článku jsou prezentovány výsledky na fosfor zaměřeného bilančního monitoringu pěti rybníků a dvou úseků vodních toků v povodí vodárenské nádrže Švihov. V případě rybníků byla potvrzena schopnost zadržovat sloučeniny fosforu s účinností zhruba odhadnutou podle teoretické doby zdržení vody dle [1]. Snížená účinnost (jeden případ) byla zřejmě způsobena vypouštěním vody ode dna rybníka, příčiny zvýšené účinnosti (jeden případ) bude třeba ještě prověřit. Zjišťování látkové bilance v případě vodních toků je komplikováno řadou faktorů a vyžaduje detailnější monitoring, než byl realizován v rámci této studie.

Klíčová slova: *rybníky; retence fosforu; samočištění; látková bilance fosforu.*

Abstract

Results of mass balance monitoring targeted at phosphorus are presented in the article. Five fish ponds and two segments of small streams were studied in the Švihov reservoir drainage basin. Ability to catch phosphorus compounds was confirmed in the case of fish ponds. The effectiveness was possible to estimate in relation of theoretical water residence time after [1]. Decreased efficiency in one case was obviously because the water was discharged out of the fishpond from near bottom layer. One case of extraordinary high P retention is not clear, now, and should be explained later. Estimation of mass balance was complicated by several factors in the case of streams and more detailed monitoring is necessary.

Keywords: *fish ponds; phosphorus retention; self-purification; phosphorus mass balance.*

Metodika a monitorované lokality

V povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce bylo v letech 2015–2016 detailně sledováno pět průtočných rybníků a dva úseky drobných vodních toků. Dále jsou prezentovány pouze výsledky za r. 2016. Monitoring byl zaměřen na kalkulaci látkové bilance zejména P celkového, tedy eutrofizačně důležité živiny, s cílem zjistit (vyčíslit) retenci sloučenin P v rybnících a vodních tocích.

Monitoring byl založen na odběrech vzorků vody ve čtrnáctidenních intervalech, a to s paralelním měřením průtoku vody (Q) přístrojem FlowTracker. Monitorovány byly všechny přítoky + odtok sledovaných rybníků a počáteční a závěrečný profil sledovaného úseku toku. Stanovení byla soustředěna na NO_3N (indikace vlivu plošných zdrojů), P celkový (P celk), tedy vzorek bez cezení či filtrace podrobený totální mineralizaci, a P rozpuštěný (P rozp), tedy vzorek filtrovaný na místě přes jednorázový membránový filtr (póry 0,45 µm) s mineralizací jako v případě P celk.

Propočet látkových toků byl založen na průměrných měsíčních hodnotách Q i koncentrací, z nichž byl počítán měsíční látkový odnos. Látkový tok za vegetační období (IV.–IX.) či za celé období sledování (IV.–XII.) je součtem měsíčních látkových toků. Pro porovnání je uváděna i tzv. potenciální retence P celk v rybníce (R_{pot}), která byla odvozena Hejzlarem a kol. [1]

Monitorovány byly tyto rybníky (povrchová vrstva vody 3× za rok: V., VII. a VIII.):

- Martinický r. na Martinickém potoce, 6,95 ha, 146 tis. m³, teoretická doba zdržení vody v r. 2016 (TRT) 14 dní, odtéká převážně spodní voda, sportovní, bez krmení, hnojení a výlovů, průhlednost vody (Zs) 0,60–0,65 m, P celk = 0,065–0,088 mg.l^{-1} a koncentrace chlorofylu a (Chl a) 41–70 µg.l^{-1}, R_{pot} = ~ 26 %;
- Hejlovský r. na Hejlovce, 24,2 ha, 390 tis. m³, TRT 33 dní, odtéká převážně horní voda (přeliv), bez krmení a hnojení, výlov 1× za 10 let, Zs = 0,70–2,90 m, P celk = 0,049–0,100 mg.l^{-1} a Chl a = 2,7–64 µg.l^{-1}, R_{pot} = ~ 36 %;
- r. Píště (syn. Rachyně) na Blažejovickém potoce, 5,8 ha, 87 tis. m³, TRT 38 dní, odtok přelivem, sportovní (pstruh nasazovaný týdně po 5 q), bez krmení, hnojení a výlovu, Zs = 0,50–0,75 m, P celk = 0,073–0,077 mg.l^{-1} a Chl a = 43–130 µg.l^{-1}, R_{pot} = ~ 37 %;
- r. Valcha na Sedlickém potoce, 10,1 ha, 97,5 tis. m³, TRT 48 dní, odtok spodní vody, bez hnojení, krmení a výlovů, Zs = 0,40–0,65 m, P celk = 0,060–0,170 mg.l^{-1} a Chl a = 40–150 µg.l^{-1}, R_{pot} = ~ 40 %;
- Panský r. na Sedlickém potoce, cca 300 m pod r. Valcha, 3,0 ha, 30 tis. m³, TRT 10 dní, odtok horní vody přelivem, chovný (2016 druhé horko), bez hnojení, s přikrmováním obilovinami, dvouhorkový produkční cyklus, Zs = 0,90–1,20 m, P celk = 0,044–0,091 mg.l^{-1} a Chl a = 18–48 µg.l^{-1}, R_{pot} = ~ 20 %.

Látkové toky byly sledovány na:

Čechtický potok od mostku silnice Křivsoudov – Strojetice po ústí do Sedlického potoka (u Leského Mlýna), 3,74 ř. km přirozeně meandrujícího toku, průměrný naměřený průtok v dolním profilu 52,0 l.s^{-1}, silný vliv bodových zdrojů;

Blažejovický potok mezi obcemi Dunice a přítokem od obce Hořice, 1,88 ř. km, průměrný naměřený průtok v dolním profilu 22,8 l.s^{-1}, vliv bodového zdroje (obec Dunice).

Výsledky

Výsledky jsou udávány pro rok 2016. Retence látek je vyjadřována vždy vzhledem ke zjištěnému přísunu s přitékající vodou z povodí, vstup z rybářských aktivit nebyl zahrnut.

Martinický r. při zatížení 52,7 kg.ha^{-1}.rok^{-1} P celk zachytil za vegetační období IV.–IX. 25 % P celk (49 kg celkem, tedy 7,1 kg.ha^{-1}) a 65 % PO_4-P (62 kg). V měsících IX. a X. rybník sloučeninami P protékající vodu obohacoval, protože koncentrace P celk a méně i PO_4-P se v odtékající vodě zvýšila (na 0,25–0,27 resp. 0,064–0,070 mg.l^{1}). Bilance za celé sledované období (IV.–XII.) tak byla pro P celk nepříznivá: z rybníka o 30 kg více P odteklo, než do něj přiteklo.

Hejlovský r. při zatížení 23,1 kg.ha^{-1}.rok^{-1} P celk vykázal za IV.–IX. retenci P celk 35 % (128 kg celkem, tedy 5,3 kg.ha^{-1}) a PO_4-P 31 % (40 kg). Kritické z pohledu retence sloučenin P byly měsíce IX. a X., a to zejména pro nerovnováhu aktuální hydrologické bilance: na odtoku z rybníka byly při měření zjištěny vyšší průtoky než na přítocích, patrně vlivem manipulace s vodou na rybníce. Bilance za celé sledované období (IV.–XII.) ale byla pro P celk stále ještě velmi příznivá (29 %, tj. 129 kg).

Rybník Píště při zatížení 38,6 kg.ha^{-1}.rok^{-1} P celk vykazoval stabilně poměrně účinnou retenci sloučenin P. V průběhu IV.–IX. rybník zachytil 75 % P celk (95 kg celkem, tedy 16,3 kg.ha^{-1}) a 90 % PO_4-P (78 kg), což znamená zhruba dvojnásobek R_{pot}. Koncentrace P celk ve vodě hlavního přítoku (průměrně 0,230 mg.l^{1}) byly snižovány zhruba na čtvrtinu (průměrně na 0,060 mg.l^{1}).

Rybník Valcha byl zatížený sloučeninami P relativně málo (7,5 kg.ha^{-1}.rok^{-1}). Za období IV.–IX. žádný P celk nezadržel, naopak 3,2 % (1,1 kg) P uvolnil, a to zejména vlivem zvýšených koncentrací P celk na odtoku v VII. Bilance za celé sledované období (IV.–II.) však byla příznivější: zadrženo bylo 25 % P celk (16 kg celkem, tedy 1,6 kg.ha^{-1}). PO_4P byl zadržován trvale kromě VII. a VIII., kdy byla retence nulová.

Panský rybník při zatížení 24,3 kg.ha^{-1}.rok^{-1} zadržel za IV.–IX. 23 % P celk (9,6 kg celkem, tedy 3,2 kg.ha^{-1}) a 24 % PO_4P (3,4 kg). Celkovou bilanci zkomplikoval říjnový výlov, kdy byla hydrologická bilance v nerovnováze o vypuštěný objem rybníka, přičemž samotný výlov, kdy obvykle uniká velké množství P vázaného na částečky splavenin, monitorován nebyl a celkovou – stále ještě poměrně příznivou – bilanci by dále zhoršil.

Monitoring látkových toků na malých vodních tocích byl komplikován několika faktory. (1) Přítokem vody z mezipovodí, která přinášela také určité množství sledovaných látek. Pro P celkový byla v kalkulacích použita koncentrace 0,05 mg.l^{1} pro veškerý přírůstek průtoku. Tento postup byl pro Čechtický potok nedostatečný, protože při vyšších průtocích (bohatší srážky) docházelo zřejmě z mezipovodí i k přítoku povrchové vody, která se pravděpodobně vyznačovala i vyššími koncentracemi sloučenin P. (2) Časově nesouvztažné vzorky mohly znamenat zejména v případě silného vlivu bodových zdrojů (Čechtický p.), kde lze předpokládat proměnlivé zatížení jak v průběhu dne, tak v případě srážek, neporovnatelné údaje, tedy nepoužitelné výsledky bilance. Uvedené vlivy lze omezit tím, že se zpracují pouze údaje pro dny se stabilními a nezvýšenými průtoky a výsledky pak slouží jako jakési snímky situací v jednotlivých odběrových dnech.

Čechtický potok byl silně ovlivněn vlivy uvedenými výše. Z monitorovacího období (IV.–XII.) bylo vybráno celkem 10 odběrových dnů, kdy bylo možné vyloučit vliv srážek a zvýšeného přítoku z mezipovodí. V jednotlivých dnech byla zjištěna široká škála výsledků: od přírůstku P celk 6 % (0,08 kg) po retenci 87 % (1,63 kg, tj. 0,44 kg.km^{-1}). V průměru bylo ve vybraných deseti dnech zachyceno 0,32 kg P celk, tj. 0,085 kg.km^{-1} a 0,14 kg PO_4P, tj. 0,04 kg.km^{-1}. Tyto údaje je ovšem třeba chápat jako spíše orientační (viz kap. Závěry) a přepočet na celou vegetační sezónu by mohl být zavádějící.

Blažejovický potok se vyznačoval jednodušší situací v lokalitě, proto i výsledky byly více konzistentní. V průběhu monitorovacího období (IV.–XII.) bylo zachyceno celkem 5,89 kg P celk, tj. 3,1 kg.km^{-1}, z toho většina jako PO_4P – 5,41 kg, tj. 2,9 kg.km^{-1}. Během vegetační sezóny retence sloučenin P činila celkem: P celk 4,39 kg (2,3 kg.km^{-1}) a PO_4P 4,14 kg (2,2 kg.km^{-1}).

Závěry

Každý rybník je specifické individuum, nicméně každý má potenciál zadržovat sloučeniny fosforu. Rybníky, z nichž odtéká tzv. spodní voda, mají sklon k nižší retenci P (Valcha), a to zejména v druhé polovině léta, kdy dochází k vyčerpání dusičnanových iontů a za anoxických podmínek se ze sedimentů obvykle uvolňuje PO_4P. Zvýšené koncentrace P ve vodě odtékající ode dna mohou ovšem být způsobeny i hromaděním sedimentujícího (a mineralizujícího) materiálu. Z pohledu látkových toků v povodí je tedy jednoznačnou výhodou, když voda z rybníka odtéká přelivem (obecně z povrchových vrstev), jak se ukázalo i v jiných lokalitách [2].

Retence P ve sledovaných rybnících vztažená na 1 ha plochy se (kromě r. Valcha) pohybovala v úrovni zhruba trojnásobku rozmezí zjištěném u velkých jihočeských rybníků [2]. Příčinou bude zřejmě jak absence hnojení a kromě Panského r. i krmení ryb, tak nezahrnutí výlovu. Z pohledu odhadnuté potenciální retence P [1] tři rybníky (Martinický, Hejlovský a Panský) dosáhly téměř přesně očekávaných hodnot, r. Píště zadržel zhruba dvojnásobek a r. Valcha se spodní výustí zhruba polovinu. Příčinu vysoké účinnosti zadržování P v r. Píště nelze zatím spolehlivě určit – v úvahu může připadat velmi specifická rybí obsádka doprovázená nesinicovým fytoplanktonem, ale také vstup Fe a Al (nemonitorováno), tedy vazebných partnerů fosforu, které odstraňují P do sedimentu.

Zjišťování látkových toků ve vodních tocích je velmi potřebné, ale také velmi obtížné jak z pohledu výběru vhodné lokality, tak z pohledu systému monitoringu. Považujeme za nezbytné provádět monitoring dokonalejším způsobem, než byl aplikován na našich lokalitách, a to s využitím intenzivního vzorkování obou odběrových profilů (např. slévané 24 hod. vzorky nebo četné bodové vzorky alespoň v několikadenních obdobích doprovázené kontinuálním měřením Q). Stávající výsledky sice dokládají retenci P ve vodních tocích, ale problematiku je třeba dále upřesnit detailním sledováním.

Literatura

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

[2] POTUŽÁK, J., DURAS, J., DROZD, B. Mass balance of fishponds: are they sources or sinks of phosphorus? Aquaculture International. Published on-line: 08/11/2016. DOI 10.1007/s10499-016-0071-4.

ZANÁŠENÍ TOKŮ A NÁDRŽÍ – PLOŠNÉ ZEMĚDĚLSKÉ ZNEČIŠTĚNÍ V POVODÍ VLTAVY

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

Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6-Dejvice, josef.krasa@fsv.cvut.cz

Abstrakt

Příspěvek představuje výsledky určení transportu splavenin a erozního fosforu pro celé povodí Vltavy a podrobnější analýzu výsledků na povodí Želivky (v povodí VN Švihov). Přestože VN Švihov je naší nejvýznamnější vodárenskou nádrží, klíčovou pro zásobování Prahy i Středočeského kraje, v povodí Vltavy je z velkých údolních nádrží VN Švihov jednoznačně nádrž s nejvyšším specifickým transportem sedimentu v rámci povodí celé nádrže. Průměrný dlouhodobý smyv v povodí dle výpočtu převyšuje hodnotu 6 t/ha/rok. Celkový průměrný roční vstup splavenin do VN Švihov je blízký hodnotě 48 000 t/rok. Výpočty jsou realizovány v rámci zakázky „Příprava listů opatření typu A lokalit plošného zemědělského znečištění pro plány dílčích povodí ", zpracovávané pro Povodí Vltavy s. p. a s podporou projektů Ministerstva zemědělství QK1720289 a QJ1530181.

Klíčová slova: *Povodí Vltavy; transport splavenin; vodní eroze; VN Švihov.*

Abstract

Paper represents the results of determination sediment and phosphorus transport for the entire catchment area of the Vltava River and a more detailed analysis of the results on the Želivka basin (the basin of the Švihov Reservoir). Švihov Reservoir is our most important source of drinking water, the key for supplying of Prague and Central Bohemia region. Nevertheless in the basin of the Vltava River Švihov Reservoir is the tank with the highest specific transport of sediment within the entire catchment area. The average long-term area specific soil loss in the basin, according to a calculation exceeds the value of 6 t/ha/year. The total average annual entry into the reservoir is close to 48 000 t/year.

Keywords: *Vltava Basin; sediment transport; soil erosion by water; Švihov Reservoir.*

Úvod

Erozní procesy mají obecně celou řadu negativních dopadů. Často zmiňované jsou zejména negativní dopady na zemědělskou půdu jako takovou. Eroze zde půdu zbavuje nejcennější organické složky a odnáší nejjemnější půdní částice, na kterých je vázána většina důležitých chemických látek, včetně živin – především fosforu. Tím dochází ke změně textury i struktury půdy, jejímu ochuzení o živiny, ztrátě pufrační kapacity, změně schopnosti zadržet a vázat vodu, a ztrátě dalších důležitých vlastností. Přímo v terénu lze obvykle vidět negativní dopad eroze a transportu erozních splavenin na lidskou infrastrukturu. Jedná se zejména o zanášení příkopů a cestních nebo silničních příkopů nebo epizody, kdy je erozní událostí přímo zasažena a poškozena obec, komunikace či jiná konstrukce.

O konkrétním působení erozních splavenin ve vodních nádržích existuje velké množství odborné literatury. Komplexně problematiku pojednává například certifikovaná Metodika [1]. V zásadě se jedná o to, že sediment ve vodních nádržích zabírá prostor, který měl podle původního návrhu být zaplněn vodou, a tak snižuje zásobní prostor nádrže. Při významné míře zanesení tak může být ovlivněna i funkce nádrže, a to především míra zabezpečenosti odběru vody. Sediment zpravidla nezasahuje do retenčního prostoru, proto prakticky nikdy není ovlivněna retenční kapacita vodní nádrže, a tedy její protipovodňová funkce (s výjimkou například záchytných protierozních nádrží nebo suchých nádrží).

Sediment erozního původu bývá bohatý na živiny. Jeho nebezpečí pak může spočívat i v tom, že při kolísání vodní hladiny ve vodní nádrži se obnažují velké plochy zachyceného sedimentu, které mohou zarůstat ruderální vegetací. Ta při opětovném zaplavení uhyne, což může způsobit druhotně problémy s kvalitou vody.

Sediment je současně nosným mediem látek, vázaných na půdní částice. Tím na jednu stranu působí pozitivně, neboť fixuje znečišťující látky z jejich rozpuštěné podoby, na druhou stranu zde dochází k jejich akumulaci a v případě vhodných podmínek mohou tyto být uvolněny zpět do vodního prostředí. Pro 31 významných vodních nádrží byla provedena kompletní bilance zdrojů fosforu v povodí [2], ze které je zřejmé, že pro většinu zemědělských povodí je erozní sediment bilančně největším zdrojem přísunu celkového fosforu do vod, i když není obvykle významným zdrojem eutrofizační účinného rozpuštěného fosforu.

Platí, že význam nerozpuštěných látek erozního charakteru pro vodní zdroje a kvalitu vody je zcela zásadní. Významnou otázkou, kterou je třeba brát v úvahu a následně legislativně řešit je skutečnost, že Vodní rámcová směrnice, stejně jako proces plánování s cílem zajištění požadovaného stupně kvality vody a dobrého stavu vodních útvarů pojem erozních splavenin nezná a nedokáže s ním pracovat. Bez vyřešení otázky erozních splavenin a jejich vstupu do vodního prostředí nicméně nelze efektivně dosáhnout dobrého stavu vodních útvarů tak, jak ho proces plánování požaduje.

Příspěvek představuje výsledky určení transportu splavenin a erozního fosforu pro celé povodí Vltavy a podrobnější analýzu výsledků na povodí Želivky (v povodí VN Švihov). Přestože VN Švihov je naší nejvýznamnější vodárenskou nádrží, klíčovou pro zásobování Prahy i Středočeského kraje, v povodí Vltavy je z velkých údolních nádrží VN Švihov jednoznačně nádrž s nejvyšším specifickým transportem sedimentu v rámci povodí celé nádrže (průměrný dlouhodobý smyv v povodí dle výpočtu převyšuje hodnotu 6 t/ha/rok). Celkový průměrný roční vstup splavenin do VN Švihov je blízký hodnotě 48 000 t/rok, zachycené průměrné roční množství činí cca 46 000 tun/rok. V případě VN Želivka jsou již historicky s dopady erozních událostí negativní zkušenosti. V 90. letech minulého století jednak došlo k výraznému zaklesnutí hladiny vody v nádrži, které bylo spojeno se zhoršením kvality vody v souvislosti s rozvojem vodního květu, a jednak bylo třeba odbahnit ochrannou předzdrž Němčice, která byla natolik zanesena sedimentem, že přestávala plnit svou funkci.

Pro účinnou ochranu VN Švihov by však by bylo třeba výrazně posílit význam ochranných pásem a změnit dlouhodobý způsob hospodaření v povodí.

Metodika

V rámci zakázky „Příprava listů opatření typu A lokalit plošného zemědělského znečištění pro plány dílčích povodí " byly řešitelským kolektivem vypočteny hodnoty transportu splavenin a erozního fosforu na celém území povodí Vltavy na základě nejnovějších údajů morfologii, srážkách a využití území. K výpočtu byl využit simulační model WATEM/SEDEM [3], [4] s nastavením doporučeným v certifikované metodice [1] a prezentovaným i na Vodních nádržích [5].

WATEM/SEDEM je empirický distributivní model, který počítá v rastru zvoleného rozlišení pro každý element hodnotu průměrné roční ztráty půdy (metodou 2D USLE) a porovnává ji s transportní kapacitou povrchového odtoku. Tím je určena jednak ztráta půdy a jednak depozice v každém elementu. Model řeší trajektorii povrchového odtoku přístupem vícesměrného dělení odtoku v závislosti na morfologii povrchu.

Pomocí modelu je vypočten transport erozních splavenin do vodních toků a vodními toky do závěrového profilu povodí. Jako redukce transportovaných erozních splavenin v hydrografické síti se uplatňují pouze vodní nádrže, u nichž je jednotlivě pro každou zvlášť určen poměr zachycení, vycházející z dlouhodobé průměrné doby zdržení dle Bruneho [6].

Hydrografická síť včetně vodních nádrží je slinkována do podoby orientovaného grafu a erozní splaveniny jsou touto sítí posouvány a bilancovány od uzlu k uzlu. Jejich celkový objem je redukován v každé jednotlivé vodní nádrži na trase. Výstupní tabulky modelu WATEM/SEDEM je možno přiřadit zpět vektorové vrstvě vodních toků a nádrží a prezentovat transport splavenin v tocích formou mapového výstupu.

Pro výpočet v povodí Želivky byly využity následující vstupní údaje: digitální model terénu v rozlišení 10 m odvozený z nejpodrobnějšího celorepublikového modelu DMR4G (ČÚZK); mapa využití území vytvořená sjednocením databází ZABAGED a LPIS; topologický model hydrografické sítě vytvořený opravami a úpravami vodních toků ZABAGED; prostorově variabilní mapa hodnot R-faktoru (faktor erozní účinnosti deště) pro období 2003–2012 [7]; erodovatelnost půdy odvozená z databáze BPEJ na základě platné metodiky [8]; hodnota C faktoru byla soustředěná a zpracovaná týmem VÚMOP [7] v rámci výzkumného úkolu KUS „Vliv očekávaných klimatických změn na půdy v ČR a hodnocení jejich produkční funkce" pro celé území ČR po jednotlivých podnicích okresů šetřením Agentur pro zemědělství a venkov (AZV) v roce 2011. Protierozní opatření nebyla do výpočtu uvažována, hodnota faktoru P byla proto ve všech výpočtech uvažována rovna 1,0. Na základě polygonů DIBAVOD/ZABAGED byla vytvořena topologická vrstva polygonů vodních nádrží větších než 0,25 ha. Do této databáze byly převzaty objemy z databáze DIBAVOD a dalších dostupných informačních zdrojů. Pro zbylé nádrže bez objemu (většina malých nádrží) byl objem empiricky dopočten.

Tabulka 1. Nádrže v povodí VN Švihov s předpokládaným dlouhodobým ročním zachycením sedimentu přesahujícím 300 tun sedimentu (resp. 160 kg fosforu)

Název nádrže	Zachycovaný sediment [t/rok]	Název nádrže	Zachycovaný fosfor [kg/rok]
VN Švihov	46444	VN Švihov	14751
VN Trnávka	20076	VN Trnávka	7376
VN Sedlice	12521	VN Sedlice	4997
VN Němčice	6979	VN Němčice	2823
Valcha	1189	Valcha	488
MVN na Předožlabském potoce u Hořepníka	1130	MVN na Předožlabském potoce u Hořepníka	444
Martinický ryb.	1000	MVN na Lučním potoce S od Čechtic	398
Hejlovský ryb.	792	Martinický ryb.	335
MVN na Jankovském potoce – Polánky	578	Božejovský ryb.	311
Božejovský ryb.	492	Strážník	272
MVN na Kopaninském potoce	450	Hejlovský ryb.	261
Píště	444	Píště	238
MVN na Zahrádčickém potoce pod D.Kral.	434	MVN u Loutkova S od Hořepníka	215
Strážník	434	MVN u Košetické obory na Košetickém potoce	202
MVN na Lohenickém potoce – Podolí	407	MVN na Jankovském potoce – Polánky	193
Horní Kladiny	405	MVN Čelistná na Vlásenickém potoce	188
MVN Mlýnský rybník – Útěchovičcký p.	388	Starý ryb.	186
Dvořište	380	MVN Popelištná na Popelištném potoce	177
MVN na Lučním potoce S od Čechtic	372	MVN na Novodvorském potoce	169
Hronský ryb.	325	MVN nad Všebořicemi – Všebořický potok	167
Starý ryb.	302	MVN na Kopaninském potoce	166
MVN u Loutkova S od Hořepníka	300	Dvořiště	160

Tabulka 2. Základní charakteristiky a bilance vstupu erozních splavenin a fosforu v rámci hlavních přispívajících povodí v povodí VN Švihov

tok	Celková plocha povodí (ha)	Specifický smyv – průměrný dlouhodobý smyv na celou plochu povodí (t/ha/rok)	Specifický smyv – průměrný dlouhodobý smyv na plochu orné půdy v povodí (t/ha/rok)	Celkový transport sedimentu do toků v rámci povodí (t/rok)	transport sedimentu uzávěrovým profilem povodí (t/rok)	transport celkového erozního fosforu uzávěrovým profilem povodí (kg/rok)
Bělá	13062	5.50	14.07	10595	6093	2311
Blažejovický p.	3340	5.57	13.28	3856	2342	1044
Hejlovka po Bělou	13568	4.31	10.50	8307	4784	1982
Hejlovka po Sedlici	28120	4.94	12.19	20516	12217	5028
Jankovský	13001	3.95	12.03	7444	2825	987
Martinický	11600	5.98	12.93	11961	8764	2262
VN Švihov z mezipovodí*)	17121	6.71	17.51	30147	25 594	7 875
Sedlický a Čechtický p.	8169	8.30	15.98	11737	1637	662
Trnava	34014	5.98	13.49	40629	5202	1862
Želivka po Trnavu	43600	4.64	12.31	30253	4341	1502

**) Pro vlastní VN Švihov se nejedná o transport uzávěrovým profilem povodí (odtok z nádrže), protože do hodnoty není uvažováno zachycení v nádrži. Jedná se vstup do VN přes břehovou hranu a drobnými vodními toky z mezipovodí mimo hlavní bilancované přítoky.*

Tabulka 3. Hodnoty průměrného ročního zachycení erozních splavenin ve významných vodních nádržích v povodí Vltavy

Vodní nádrž	průměrené roční množství zachycených splavenin (t/rok)
VN Orlík	189923
VN Slapy	54006
VN Švihov	46444
VN Vrané	42634
VN České údolí	31788
VN Hracholusky	27443
VN Hněvkovice	26804
VN Trnávka	20076
VN Sedlice	12521
Huťský ryb.	10205
VN Hostivař	9287
VN Římov	8866
VN Kamýk	7450
VN Němčice	6979
rybník Okrouhlík	5895
Horusický ryb.	5265
rybník Pokoj	4667
VN Kořensko	4628
VN Žlutice	4263
VN Lipno I	3780
VN Štěchovice	3057
rybník Bezdrev	2988
rybník Strašík	2543

Na tocích s dostupnými daty byly převzaty údaje o průměrných ročních dlouhodobých průtocích z evidenčních listů hlásných profilů ČHMÚ (zejména pro většinu větších nádrží). Na malých tocích s nedostupnými daty byl roční průměrný průtok nádrží odvozen z digitální vrstvy specifických odtoků pro dílčí povodí IV. řádu, která byla vytvořena ve VÚV TGM digitalizací hodnot specifických odtoků, tabelovaných pro povodí IV. řádu v publikaci Hydrologické poměry ČSSR, díl II (1978). Pro profil každé vodní nádrže byla v GIS vypočtena plocha jejího povodí a následně pak dlouhodobý průtok v závislosti na průměrném specifickém odtoku v povodí dané nádrže [1].

Výsledky pro povodí VN Švihov

Nádrže v povodí VN Švihov s předpokládaným dlouhodobým ročním zachycením sedimentu přesahujícím 300 tun sedimentu (resp. 160 kg fosforu) jsou přehledně seřazeny dle objemu zachycovaného sedimentu (Tabulka 1). V případě fosforu se pořadí nejzatíženějších nádrží mírně mění, nikoli však na prvních místech u nejvíce zatížených nádrží. V řadě případů jsou nádrže zatíženy velkým přísunem splavenin, nicméně s nižší koncentrací vázaného fosforu a naopak. To je způsobeno nižším nebo naopak vyšším obsahem fosforu v půdách v různých částech povodí i rozdílnou morfologií určující intenzitu erozního smyvu a poměr obohacení. Mimo jiné to velmi dobře dokumentuje, že eroze je velmi významným faktorem, ovlivňujícím kvalitu vody, ale vztahy jsou poměrně složité a případná silná zjednodušení mohou být zavádějící. V obou případech se jasně projevuje kaskádový efekt – rozhodující z hlediska zatížení sedimentem nebo erozním fosforem tak není jen velikost nádrže, ale její poloha v kaskádě.

Důležité je kromě celkového zatížení hlavní nádrže sledovat i zdroje, odkud znečištění přichází, aby případně bylo možno cíleně navrhovat kompenzační opatření. V rámci celého povodí VN Švihov je možno vyčlenit hlavní přítoky, z nichž některé jsou od hlavní zdrže VN odstíněny záchytnými novými ochrannými předzdržemi

Obrázek 1. Členění povodí VN Švihov na hlavní zdrojová povodí erozních splavenin a fosforu

(VN Němčice, VN Trnávka) nebo historickými nádržemi (VN Sedlice), jiné pak jsou do hlavní VN zaústěny přímo a případnou retenci zajišťují jen původní rybníky v ploše povodí. Základní členění na bilancované plošné jednotky ukazuje Obrázek 1 a příslušné charakteristiky prezentuje Tabulka 2.

Celkově se ukazuje, že vybudování velkých ochranných předzdrží těsně nad zaústěním významných přítoků do vodní nádrže je velmi efektivním opatřením, které dokáže ochránit hlavní vodní nádrž před většinou transportovaného materiálu, a tedy i vázaného znečištění. Budování takových předzdrží dokáže eliminovat i rozdíly v morfologii a způsobu využití území. Výpočet jasně dokumentuje, že i dostatečný počet menších průtočných vodních nádrží v ploše povodí (rybníků) může být v tomto směru efektivní, ale celkový dopad se velké předzdrži nikdy nevyrovná. V případě rybníků navíc přistupuje skutečnost, že během manipulací a zejména při výlovu dochází k resuspendaci a následnému vypuštění nezanedbatelných objemů zachycených splavenin níže po toku, což předchozí pozitivní efekt rybníků může omezovat. Stejně tak se ukazuje zásadní význam vyhlašování a managementu ochranných pásem v případě VN Želivka, protože významná část sedimentu vstupuje do toků právě v těsné blízkosti nádrže a opatření v celkové ploše povodí nemohou situaci zásadním způsobem vyřešit.

Diskuze a závěr

Průměrný dlouhodobý transport sedimentu vodními toky v povodní Želivky samozřejmě není zanedbatelný. Pokud porovnáme hodnoty dlouhodobého průměrného zachyceného sedimentu do VN Švihov s dalšími nádržemi, pro něž byl transport sedimentu v rámci povodí Vltavy modelován, získáme následující hodnoty (nádrže jsou seřazeny opět od největšího zachyceného množství) – viz Tabulka 3.

Orlík a Slapy mají samozřejmě nepoměrně větší povodí, nicméně z hlediska průměrného erozního smyvu v povodí nádrže VN Švihov jednoznačně vede. Jediná nádrž s ekvivalentně velkým povodím a stejným ročním zachycovaným množstvím sedimentu je VN Brno, v povodí Dyje se pak nachází řada dalších nádrží, s ještě vyššími vstupy sedimentu z povodí. Ta však v porovnání nejsou zařazena, protože zejména dolní část povodí Dyje je klimaticky, pedologicky i morfologicky zcela odlišná, její povodí je vnímáno jako erozně nejohroženější oblast v ČR. V povodí Vltavy je však z velkých údolních nádrží VN Švihov jednoznačně nádrž s nejvyšším specifickým transportem sedimentu v rámci povodí celé nádrže (průměrný dlouhodobý smyv v povodí dle výpočtu převyšuje hodnotu 6 t/ha/rok).

K zamyšlení v této souvislosti vybízí především fakt, že tato nádrž je současně ze všech uvedených nádrží jednoznačně nejvýznamnější jakožto zdroj pitné vody (největší zdroj pitné vody v ČR) a ochrana kvality vody by zde proto měla mít jasnou prioritu. Na čelních místech seznamu (Tabulka 3) figurují i všechny tři ochranné předzdrže VN Švihov.

Poděkování

Prezentované výpočty byly realizovány v rámci zakázky „Příprava listů opatření typu A lokalit plošného zemědělského znečištění pro plány dílčích povodí “, zpracovávané pro Povodí Vltavy s.p. Monitoring popisovaných erozních procesů je řešen v rámci projektu QK1720289 s názvem „Vývoj automatizovaného nástroje pro optimalizaci monitoringu eroze zemědělské půdy“ a hodnoty C-faktoru vstupující do řešení jsou určovány v rámci projektu QJ1530181 – “Stanovení aktuálních hodnot ochranného účinku vegetace za účelem kvantifikace a zefektivnění protierozní ochrany zemědělské půdy v České republice”.

Literatura

[1] J. KRÁSA et al., *Hodnocení ohroženosti vodních nádrží sedimentem a eutrofizací podmíněnou erozí zemědělské půdy.* Praha, CZ: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2013.

[2] L. ANSORGE AND J. KRÁSA, “Možnosti využití výsledků projektu QI102A265 ‘Určení erozního podílu na eutrofizaci ohrožených útvarů stojatých povrchových vod při plánování v oblasti vod,” *Vodn. hospodářství,* vol. 64, no. 4, pp. 5–9, 2014.

[3] G. VERSTRAETEN, A VAN ROMPAEY, J. POESEN, AND G. GOVERS, “Solving the off-site impacts of soil erosion by an integrated environmental watershed management?,” *Soil Eros. Res. 21st Century, Proc.,* no. January, p. 645–648 ST–Solving the off–site impacts of soil, 2001.

[4] J. KRÁSA, “Hodnocení erozních procesů ve velkých povodích za podpory GIS,” ČVUT v Praze, 2004.

[5] J. KRÁSA et al., “Eroze zemědělské půdy a její význam pro zanášení a eutrofizaci nádrží v české republice,” in *Vodní nádrže 2015,* 2015, pp. 43–46.

[6] G. VERSTRAETEN AND J. POESEN, “Estimating trap efficiency of small reservoirs and ponds: methods and implications for the assessment of sediment yield,” *Prog. Phys. Geogr.,* vol. 24, no. 2, pp. 19–51, 2000.

[7] J. VOPRAVIL et al., “Vliv očekávaných klimatických změn na půdy České republiky a hodnocení jejich produkční funkce,” 2014.

[8] M. JANEČEK et al., *Ochrana zemědělské půdy před erozí.* Praha: ČZU, 2012.

MONITORING KVALITY VODY VN JORDÁN V TÁBOŘE – CESTA OD ODBAHNĚNÍ KE SRÁŽENÍ FOSFORU V POVODÍ

Jan Potužák[1], **Richard Faina**[2], **Jindřich Duras**[3], **Jan Fišer**[4]

[1] *Povodí Vltavy, státní podnik, Emila Pittera 1, 370 01 České Budějovice, jan.potuzak@pvl.cz*
[2] *ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň*
[3] *Povodí Vltavy, státní podnik, Denisovo nábřeží 14, 304 20 Plzeň, jindrich.duras@pvl.cz*
[4] *Městský úřad Tábor, Odbor životního prostředí, Husovo náměstí 2938, 390 02 Tábor 2*

Abstrakt

Vodní nádrž Jordán byla již v minulosti označována jako nádrž vykazující vysokou míru eutrofizace. Tento fakt zásadním způsobem komplikoval její vodárenské i rekreační využití. V letech 2011–2014 proběhlo na nádrži poměrně rozsáhlé odbahnění. Od roku 2015 je na nádrži realizován komplexní monitoring kvality vody. Z doposud získaných výsledků je zřejmé, že z pohledu koncentrací sloučenin fosforu, biomasy fytoplanktonu a vývoje teplotních a kyslíkových poměrů ve VN Jordán se sezóny 2015 a 2016 významně nelišily od situace, která byla doložena výsledky monitoringu v období před odbahněním. Hlavní příčinou je, že obsah fosforu v přitékající vodě se výrazně nesnížil. Jedním z navrhovaných proti eutrofizačních opatření je i vybudování srážecí stanice pro fosfor nad nádrží Jordán. Jednalo by se však pouze o dočasné řešení a proto je nutné v povodí Košínského potoka systematicky realizovat další opatření potřebná k razantnímu snížení vstupu fosforu z bodových zdrojů a chovných rybníků.

Klíčová slova: *VN Jordán; fosfor; eutrofizace; odbahnění.*

Abstract

The main factor which has been affecting usage of a water reservoir Jordán for water supply and recreational purposes is a high level of eutrophication. Large-scale dredging of sediments was done between years 2011 and 2014. Thereafter a complex monitoring of water quality has been initiated since 2015. Results show that a high level of eutrophication still persist. The major sources of phosphorus are point sources (i.e. municipal wastewaters) and fishponds which are situated in a watershed of Jordán. One solution how to restrict an excessive amount of incoming phosphorus is to build a coagulant dosing station on the main inflow of Jordán and simultaneously reduce phosphorus emissions from the municipal wastewaters and the fishponds.

Keywords: *Water reservoir Jordán; phosphorus; eutrophication; dredging of sediments.*

Úvod

Vodní nádrž Jordán patří mezi nejstarší přehradní nádrže v České republice. Vybudována byla na konci 15. století, kdy přehrazením Košínského potoka vzniklo „jezero" o vodní ploše bezmála 52 ha. Objem zadržené vody je 3 mil m^3. Původním účelem nádrže bylo zásobovat město Tábor vodou, později se k této funkci přidal i chov ryb. Pro obtížnost vypouštění a technicky velmi náročné výlovy se postupně upustilo od cíleného chovu ryb (poslední výlov datován v roce 1830) a nádrž začala sloužit pouze sportovním rybářům. Od třicátých let minulého století sloužila VN Jordán také k zásobování města Tábor pitnou vodou (nadlepšování vody ze stávajících vrtů), která byla upravována v nově vybudované úpravně pitné vody „U rytíře". Díky výhodné poloze prakticky v centru města byl vždy Jordán vyhledávaným cílem vodní rekreace.

Postupná eutrofizace vodních ekosystémů, projevující se zejména od druhé poloviny dvacátého století, neušetřila ani nádrž Jordán. Míra eutrofizace této nádrže dosáhla na přelomu milénia velmi vysoké úrovně, což významně omezilo její vodárenské využití. Projevy eutrofizace, zejména pak výskyt hladinových vodních květů sinic, negativně ovlivnilo i vodní rekreaci.

V letech 2011–2014 proběhlo na nádrži poměrně rozsáhlé odbahnění v průběhu, kterého bylo odstraněno téměř 270 tisíc m^3 sedimentů. Součástí odbahnění byla i výstavba nové spodní výpusti, která kromě regulace hladiny v průběhu povodní, může sloužit například i k zlepšování kyslíkových poměrů v hypolimniu nádrže. Odbahněním došlo i k odstranění nemalého množství fosforu. Nádrž se odbahněním zbavila také části inokula sinic.

Otázkou je, zdali realizované odbahnění opravdu přispěje i k zlepšení kvality vody. Z dříve publikovaných prací je zřejmé, že většina živin, které se v nádrži hromadí, pochází nikoliv ze sedimentu, ale z rozkladu sedimentující biomasy, připlavené z povodí anebo narostlé v nádrži na aktuálně přitékajících živinách [1].

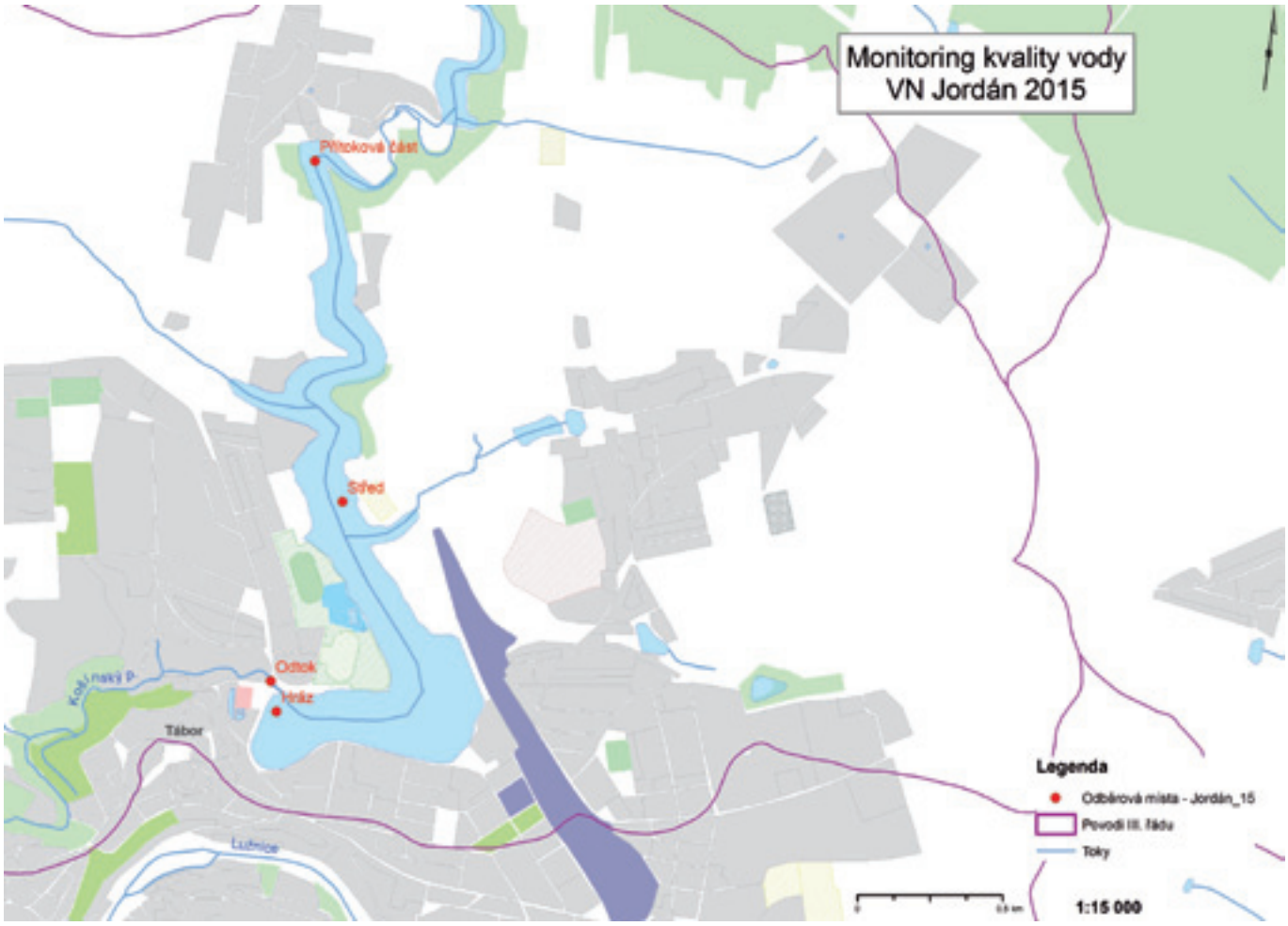
Aby byl zachycen stav kvality vody po odbahnění, je od roku 2015 realizován podrobný hydrochemický a hydrobiologický monitoring nádrže a jejího blízkého povodí. Ten má sloužit nejen k popsání aktuální míry trofie, ale je vnímán také jako důležitá součást managementu této vodní nádrže, neboť objektivně dokládá situaci, ukazuje reakce ekosystému na prováděná opatření a umožňuje plánovat další aktivity ve prospěch kvality vody.

Hlavním cílem toho příspěvku je představit nejdůležitější výsledky získané v průběhu let 2015 a 2016 a současně nastínit i návrh opatření, která by se v budoucnu měla realizovat s cílem udržet kvalitu vody VN Jordán v dobré kvalitě vhodné pro vodní rekreaci.

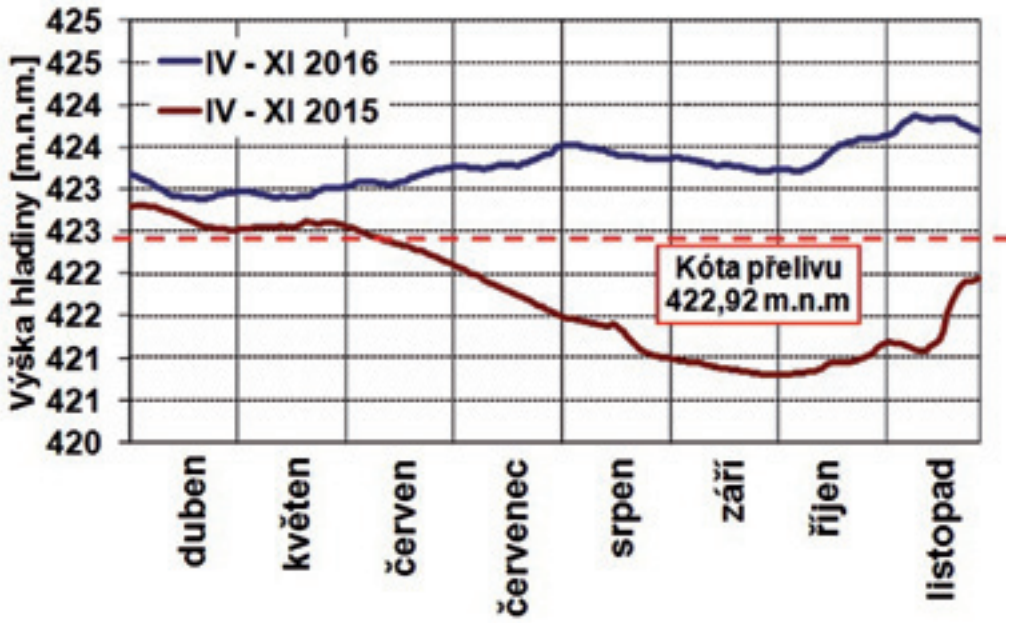
Materiál a metody

Monitoring kvality vody ve VN Jordán je od roku 2015 realizován od dubna do listopadu pravidelně ve čtrnáctidenních intervalech. Odběry vzorků jsou prováděny na třech odběrových profilech. V dolní části nádrže v prostoru u hráze a dále pak ve středu nádrže a v přítokové části (obr. 1).

V průběhu vzorkování bylo na každém odběrovém profilu prováděno zonační měření hlavních fyzikálně-chemických parametrů vody (teplota vody, koncentrace a nasycení vody kyslíkem, konduktivita, pH a oxidoredukční potenciál). Odběr hydrochemických vzorků byl prováděn tak, aby reprezentativně postihl vertikální gradient sledovaných parametrů ve výše uvedených odběrových profilech.



Obrázek 1. Schéma znázorňující umístění odběrových profilů na nádrži Jordán



Obrázek 2. Kontinuální záznam výšky hladiny VN Jordán v průběhu sezóny 2015–2016 (duben–listopad). Hodnoty jsou uvedeny v denních průměrech. Červenou přerušovanou čárou je znázorněna kóta bezpečnostního přelivu.

Jako reprezentativní vzorek fytoplanktonu posloužila část směsného epilimnetického vzorku (0–2/4 m). Zooplankton byl odebírán vrhací planktonní sítí s velikostí ok 80 µm. Odběr byl realizován třemi pětimetrovými horizontálně-vertikálními tahy tak, aby byla postihnuta zejména epilimnetická část vodního sloupce a způsob vzorkování byl shodný na všech odběrových profilech. V průběhu odběrů byla měřena průhlednost vody pomocí Secchiho desky.

Z pohledu hydrochemických parametrů byl důraz kladen zejména na sloučeniny fosforu, dusíku, železa, nerozpuštěných (NL_{105}, NL_{550}), organických látek (TOC, $CHSK_{Mn}$, BSK_5) a chlorofylu_a. Doplňkově byly sledovány koncentrace síranů, alkalita a koncentrace vápníku a hořčíku.

U vzorků fytoplanktonu bylo stanoveno druhové složení a objemová biomasa taxonů a jednotlivých taxonomických skupin.

Vzorky zooplanktonu byly odebírány za účelem získat informace o druhovém složení, početnosti nalezených taxonů (semikvantitativní stanovení) a procentickém zastoupení hlavních taxonomických skupin.

Informace o aktuální výšce vodní hladiny ve VN Jordán byly získány z automatické, kontinuální měřící stanice snímající výšku hladiny s desetiminutovou frekvencí.

Monitoring povodí VN Jordán se skládal zejména ze vzorkování hlavního přítoku (Košínský potok) nad a pod nádrží Malý Jordán a dále pak ze sledování několika významných přítoků (Radimovický, Svrabovský potok a několik drobných bezejmenných přítoků). Od roku 2017 bylo do monitoringu zařazeno sledování deseti chovných rybníků. Termíny vzorkování přítoků byly shodné se vzorkováním na nádrži Jordán. Monitoring rybníků je realizován třikrát během vegetační sezóny (odběr směsného vzorku v prostoru u hráze). Rozsah sledovaných parametrů je zacílen zejména na měření základních fyzikálně-chemických parametrů vody a stanovení obsahu sloučenin fosforu, dusíku, železa a nerozpuštěných látek. V rybnících se navíc sleduje koncentrace chlorofylu_a, průhlednost vody a odebírají se vzorky fytoplanktonu, zooplanktonu a na přítocích se v rámci odběru vzorků měří aktuální průtok vody (pro odhad látkových vstupů z povodí).

Tabulka 1. Průměrné roční koncentrace celkového (Pc) a fosforečnanového ($P\text{-}PO_4$) fosforu a chlorofylu_a (Chl_a) a průměry ročních a maximálních koncentrací chlorofylu_a v oblasti u hráze. V závorce je uveden rozsah ročních průměrů. Data jsou převzatá z publikací [1] a [2]. Hodnoty jsou uvedeny v µg l^{-1}. V případě roku 2015 se jedná o průměrné hodnoty za období od dubna do listopadu.

Období	Pc	$P\text{-}PO_4$	Chl_*a*	Max. Chl_*a*
1986–1990	86 (71–139)	20 (9–37)	17 (12–22)	40 (28–56)
1992–1993	62	31	16	65
2000–2003	91 (75–97)	42 (35–48)	26 (21–31)	89 (57–125)
2015	65	10	43	120
2016	36	10	32	120

Výsledky a diskuze

Jordán je průtočná nádrž, která při zajištění průměrného průtoku vody 0,4 $m^3 s^{-1}$ (dlouhodobý průměrný průtok) dosahuje teoretické doby zdržení 75 dní [1]. Obě doposud uzavřené monitorovací sezóny (2015–2016) lze z pohledu hydrologie charakterizovat jako podprůměrné. Výrazný srážkový deficit a tudíž i velmi malý přísun vody z povodí byl zaznamenán zejména v roce 2015.

Na základě kontinuálního měření výšky hladiny, které bylo doplněno o průtok vody na přítoku, byla teoretická doba zdržení (HRT) vody v roce 2015 odhadnuta na 270–300 dní, a v roce 2016 na 230–250 dní. Rozdíl oproti sezóně 2015 byl však ten, že nedocházelo k významnějšímu odpouštění vody z VN Jordánu z důvodu stavebních prací v prostoru městské plovárny. V nádrži byla snaha vodu spíše zadržovat (minimální odtok vody z nádrže). Díky tomu měla výška hladiny v Jordánu v průběhu sledování spíše stoupající tendenci (obr. 2).

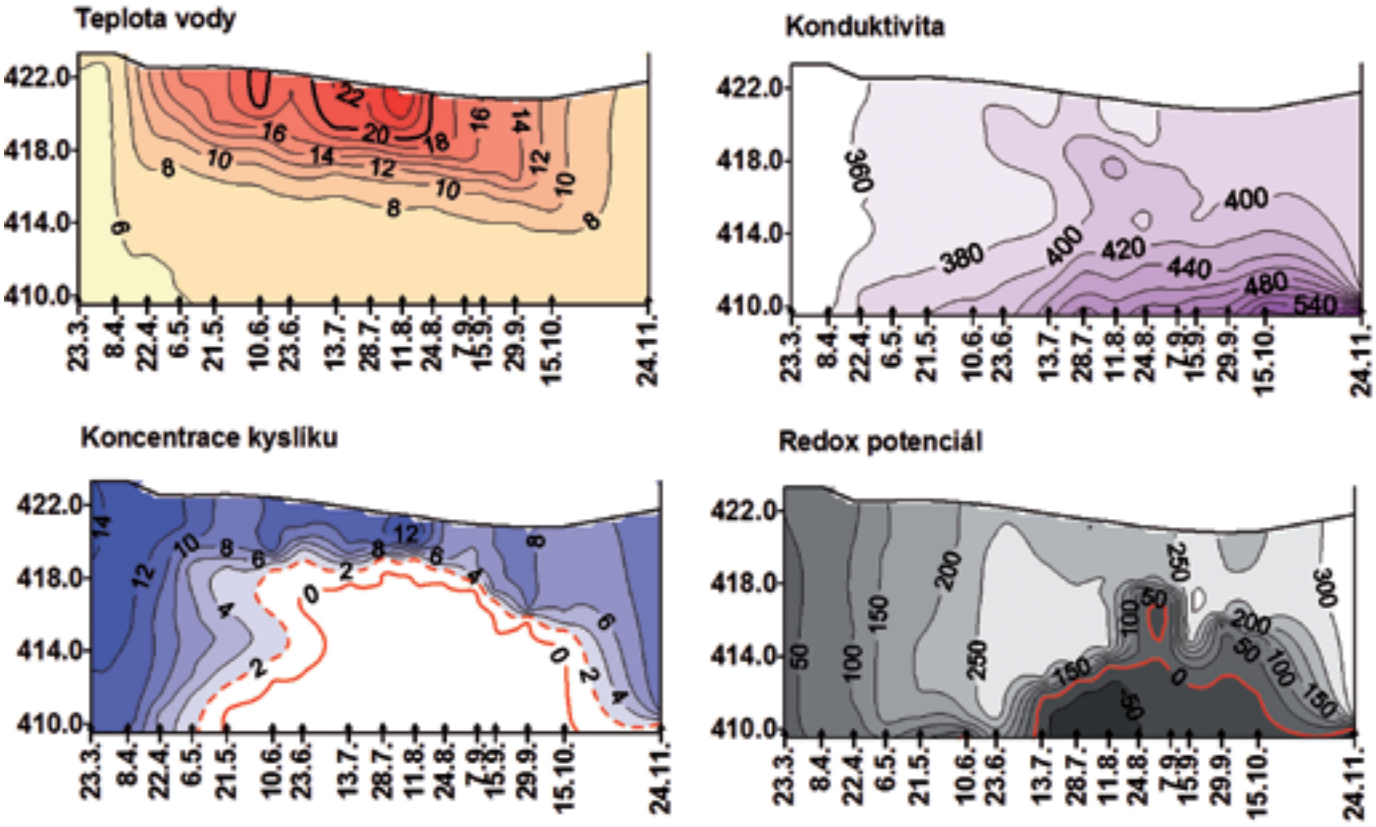
Aktuální stav trofie

Relativně pomalá obměna vody v roce 2016 měla vliv na utváření a stabilitu teplotní a kyslíkové stratifikace, bilanci živin a sezónní dynamiku společenstva fytoplanktonu.

Tabulka 1 ukazuje porovnání aktuálních průměrných koncentrací celkového a fosforečnanového fosforu s koncentracemi, které byly zjišťovány v epilimniu VN Jordán (odběrový profil u hráze) v minulých letech. Aktuální výsledky ukazují, že oproti minulým letům se průměrné koncentrace celkového fosforu prakticky nezměnily. Nižší průměrné koncentrace byly zaznamenány u fosforečnanového fosforu. Příčinou byla zřejmě účinnější utilizace fosfátů fytoplanktonem. Průměrná koncentrace biomasy fytoplanktonu, charakterizovaná koncentrací chlorofylu_a, byla v rozsahu, který byl zaznamenán v sezónách 2000–2003. Oproti hodnotám, které byly zjišťovány na přelomu 80. a 90. let je průměrná koncentrace prakticky o polovinu vyšší. Je však nutné uvést, že vzorky pro analýzu chlorofylu_a byly v 80. a 90. letech minulého století odebírány s odlišnou frekvencí (v průběhu celého roku) a srovnatelnost výsledků tak nemusí být plnohodnotná (v roce 2015 a 2016 nebyl realizován celoroční monitoring).

I přes nižší průměrnou koncentraci celkového fosforu v sezóně 2016 vykazuje nádrž Jordán stále vysokou úroveň trofie. Vyskytující se koncentrace celkového fosforu v epilimniu dolní a střední části nádrže v průměru běžně přesahují 0,030 až 0,040 mg l^{-1}, což je zhruba dvojnásobek oproti koncentracím, které lze považovat za bezpečné z pohledu možného rozvoje řas a sinic, tedy žádoucí pro kvalitní rekreaci koupáním. V horní části nádrže průměrná koncentrace celkového fosforu (P) v obou sezonách běžně převyšovaly 0,10 mg l^{-1}. V pozdně letním a podzimním období lze v horní části nádrže zaznamenat i koncentrace P větší než li 0,2 mg l^{-1}. Domníváme se, že příčinu takto vysokých koncentrací lze hledat zejména v přísunu P přítokem, dále pak v rozkladu sedimentujícího sestonu a v následné recyklaci P z mělce uložených sedimentů. Význam tohoto zdroje fosforu pravděpodobně vzrůstá v srážkově podprůměrných periodách.

Opakovaně se prokázalo, že v průběhu letního období dochází v nádrži Jordán k vytváření velmi rozsáhlého anoxického hypolimnia, v jehož spodní části panují silně anaerobní podmínky (oxidoredukční potenciál klesající až pod -100 mV), které mají za následek masivní uvolňování železa (max. 17 mg l^1 Fe celk a 16 mg l^1 Fe rozp) a na něj vázaného fosforu (max. 2,6 mg l^1 Pcelk a 2,5 mg l^1 $P\text{-}PO_4$) ze sedimentu (obr. 3). Tento fosfor však v uplynulých dvou sezónách nepředstavoval pro VN Jordán významné eutrofizační riziko, protože teplotní rozhraní (skočná vrstva) bylo velmi ostré a neumožňovalo vstup fosforu do horní fytoplanktonem oživené vrstvy. Možné riziko lze ale vidět ve střední části VN Jordán, kde za chladného a větrného počasí se fosfor do povrchové vrstvy mohl dostávat. Rizikem mohou být i sinice, které mají schopnost si pro fosfor klesnout do spodní části vodního sloupce a pak jej využívat pro svůj další růst při hladině. Vlivem silně anaerobních podmínek docházelo v hypolimniu nádrže k postupné redukci síranů s rizikem vzniku volného (toxického) sirovodíku. Důležité bude sledovat, zda v průběhu následujících let nebude v důsledku postupného



Obrázek 3. Vertikální vývoj teploty vody (°C), konduktivity (µS cm^{-1}), koncentrace kyslíku (mg l^{-1}) a oxidoredukčního potenciálu (mV) v profilu u hráze VN Jordán v období březen – listopad 2015

vyvázání železa do podoby sulfidů docházet k pozvolnému snižování obsahu Fe v hypolimniu nádrže. To by vedlo ke snížení celkové schopnosti vysrážet na podzim fosfor z vodního sloupce s rizikem rozvoje podzimních sinicových vodních květů.

Fytoplankton a zooplankton

Na základě sezónní dynamiky biomasy fytoplanktonu (koncentrace chlorofylu_a) a jeho druhového složení v letech 2015 a 2016 je možné nezávisle posoudit kvalitu vody v nádrži Jordán z pohledu vodní rekreace. Množství řas a sinic v Jordánu, vyjádřeno obsahem chlorofylu_a, odpovídalo dle klasifikace pro koupací vody [3] v případě obou sezón od poloviny července do poloviny října kategorii zhoršená jakost vody (😐) a v průběhu srpna a druhé poloviny září kategorii voda nevhodná ke koupání (☹). Dominantní složkou letního fytoplanktonu byly v obou hodnocených letech, ale obrněnky rodu *Ceratium,* které nepředstavují významné hygienické riziko. Navíc jsou obrněnky konkurenty sinic, které se ale mohou uplatnit zejména za sníženého obsahu živin, tedy fosforu.

V průběhu sezóny 2015 a 2016 nepřesáhla celková biomasa planktonních sinic 3 mg l^{-1}. Maximální procentické zastoupení sinic ve fytoplanktonu dolní části nádrže bylo zaznamenáno v první polovině července 2016, a to 28 % z celkové biomasy. Biomasa sinic v nádrži Jordán odpovídala množství fosforu, které se sem dostávalo s přitékající vodou. Oproti sezóně 2015 však došlo v sezóně 2016 k dvojnásobnému nárůstů biomasy sinic. Je pravděpodobné, že podíl sinic ve fytoplanktonu se bude v dalších letech i nadále zvyšovat. Tato zjištění ukazují, že opatření snižující přísun fosforu do Jordánu z povodí jsou nejen nutná, ale je třeba je realizovat co nejdříve.

Na nádrži Jordán je aktuálně realizováno řízené rybí hospodaření v rámci, kterého je podporováno intenzivní vysazování dravých ryb, zejména pak candáta. Snahou je podpořit rozvoj a udržení minimálně středního zooplanktonu s významným podílem perlooček rodu *Daphnia.* Ty tvoří v nádrži významný podíl biomasy zooplanktonu (od 18 do 41 %) zejména v období od poloviny května do poloviny června, kdy svou filtrační aktivitou pomáhají nastolit stádium tzv. čiré vody. V tomto období jsme zaznamenávali v dolní části nádrže průhlednost vody blížící se pěti metrům. V průběhu vegetační sezóny však dochází k jejich významné eliminaci planktonožravými druhy ryb (plotice, ouklej, okoun), které se jednak v nádrži přirozeně rozmnožují a jednak se do ní dostávají z povodí. Pozitivním zjištěním je, že intenzivně vysazovaný candát se v nádrži přirozeně rozmnožuje, což potvrdily i kontrolní odlovy vrhací sítí v průběhu jara a léta 2016.

Malý Jordán a bilance fosforu

Vodní nádrž Malý Jordán je mělká, průtočná nádrž (HRT ~ 4–5 dní) ležící nad VN Jordán. Do konce roku 2014 složila tato nádrž k chovu ryb. Hospodařícím subjektem byla společnost ESOX, spol. s.r.o. V roce 2015 bylo Radou města Tábor schváleno odkoupení této nádrže s cílem jejího využití pro zlepšování kvality vody přitékající do VN Jordán.

Na základě bilančního monitoringu nádrže Malý Jordán bylo zjištěno, že tato nádrž byla v hydrologických podmínkách roku 2016 schopná zadržet ~16 % celkového fosforu. Její potenciální retence se však pohybovala na úrovni 27 %. Je tedy zřejmé, že Malý Jordán má v retenci celkového fosforu ještě určité rezervy. V hydrologicky podprůměrných letech jeho význam z pohledu retence P vzrůstá.

Celkový vstup P celk do nádrže Malý Jordán činil v průběhu sledovaného období 310 kg. Za stejné období odteklo z Malého Jordánu do vlastní nádrže Jordán 260 kg P celk.

Malý Jordán, i přes nastolení vhodného „protieutrofizačního" managementu, sám k výraznému snížení vstupu P do VN Jordán nestačí. Z tohoto pohledu je tedy na místě, začít aktivně řešit opatření, která povedou k podstatnému snížení koncentrací P na přítoku do Malého Jordánu.

Závěr

Výsledky doposud realizovaného monitoringu ukázaly, že nádrž Jordán vykazuje i po poměrně komplexním odbahnění stále vysokou míru eutrofie. Z pohledu koncentrací sloučenin fosforu, biomasy fytoplanktonu a vývoje teplotních a kyslíkových poměrů ve VN Jordán se sezóny 2015 a 2016 významně nelišily od situace, která byla doložena výsledky monitoringu v období před odbahněním. Hlavní příčinou je, že obsah fosforu v přitékající vodě se výrazně nezlepšil (tj. nesnížil). Jedním ze způsobů, jak docílit snížení koncentrace fosforu na vtoku do nádrže Jordán v zásadě „ihned" a nikoli až po desetiletích, je vybudování srážecí stanice pro fosfor [4]. I přes realizaci srážecí stanice je však nutné v povodí Košínského potoka systematicky realizovat opatření k razantnímu snížení množství přitékajícího fosforu. Jedná se zejména o řešení komunálních odpadních vod, a to včetně znečištění produkovaného za srážkoodtokových událostí (odlehčení jednotných kanalizací). Čistírny odpadních vod (ČOV) musí být vybaveny technologií pro efektivní srážení fosforu (např. v obcích Chotoviny a Borotín – doplnění stávající technologie). Kontraproduktivní a neekonomické by bylo vybavovat nově budované ČOV technologií na odstraňování dusíku (stupeň denitrifikace). V povodí je řada rybníků, kde díky samočistícím procesům fungují tyto rybníky jako velmi efektivní „denitrifikační stanice" a tuto činnost realizují přirozeně a zadarmo. Navíc dusičnany jsou velmi důležitým oxidoredukčním pufrem, který zabraňuje uvolňování fosforu ze sedimentu. Z tohoto důvodu by bylo finančně neefektivní – a také kontraproduktivní – dusičnany z čištěné odpadní vody cíleně odstraňovat. V neposlední řadě je nutné začít intenzivně řešit problematiku rybníků, zejména z pohledu využití jejich přirozené schopnosti fosfor zadržovat. Důležité je snížení jejich eutrofizačního potenciálu pro povodí Košínského potoka. Jedná se zejména o omezení odnosu fosforu v průběhu vegetační sezóny a minimalizaci odnosu fosforu a nerozpuštěných látek během výlovů. Ve výše ležících rybnících se nalézá také významné inokulum drobných planktonofágních druhů ryb, které představují riziko nejen tím, že efektivně omezují rozvoj herbivorního filtrujícího zooplanktonu (zejména perlooček rodu Daphnia), ale jsou i účinné v recyklaci fosforu v povrchových vrstvách vody a podporují tak rozvoj fytoplanktonu, včetně sinic.

Poděkování

Městu Tábor za financování monitoringu kvality vody v průběhu let 2015–2017.

Literatura

[1] HEJZLAR J., BOROVEC J., JAROŠÍK J., RŮŽIČKA M. (2004): *Koloběh živin v eutrofizované nádrži (Jordán, Jižní Čechy),* Vodní hospodářství 9/267–270.

[2] PORCALOVÁ, P. (1997): *Nádrž Jordán – celkové posouzení nádrže Jordán jako zdroje pitné vody pro zásobování města Tábor,* Zpráva pro Vodovody a kanalizace Jižní Čechy a.s.

[3] Vyhláška č. 238/2011 Sb. o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch ve znění vyhlášky č. 97/2014 Sb.

[4] BOROVEC J. (2015): Srážecí stanice fosforu na vtoku do VN Jordán v Táboře – technický podklad pro VZ, 23s.

VLIV DOSTUPNOSTI AKCEPTORŮ ELEKTRONŮ NA BIOGEOCHEMICKÉ PROCESY A CYKLUS FOSFORU V SEDIMENTU

Jiří Jan, Jakub Borovec, Daniel Petráš, Nana Osafo, Iva Tomková, Tomáš Hubáček

Biologické centrum AV ČR, v. v. i., Výzkumná infrastruktura SoWa,
Na sádkách 7, 370 05 České Budějovice, tel. +420 608 817 137, blondos@email.cz

Abstrakt

Příspěvek se zabývá vlivem sedimentu přítokové části nádrže Vranov na přísun fosforu (P) do vodního sloupce nádrže za různých podmínek dostupnosti tzv. terminálních akceptorů elektronů, zejména rozpuštěného O_2 a NO_3^-. Přítokové části eutrofních nádrží jsou typické vysokou primární produkcí fytoplanktonu a následnou sedimentací organického materiálu. Mikrobiální procesy spotřebovávají při jeho mineralizaci akceptory elektronů a v závislosti na míchání vodního sloupce může docházet k výkyvům jejich dostupnosti. Pro určení jejich vlivu byly kóry sedimentů inkubovány 5 týdnů ve 3 různých variantách, které simulovaly: i) anoxický vodní sloupec se současným vyčerpáním NO_3^-, ii) saturovaný vodní sloupec rozpuštěným O_2 a iii) saturovaný vodní sloupec O_2 a zvýšené koncentrace NO_3^-. Pomocí sledování změn koncentrací ve vodě nad sedimentem, průběžné analýzy pórové vody a změn ve složení částic a zastoupení forem a množství P na začátku a konci experimentu jsme zjistili míru uvolňování P a určily vliv železa (Fe) v tomto sedimentu.

Klíčová slova: *sediment; kyslík; fosfor; železo; eutrofizace.*

Abstract

This study focus on phosphorus (P) release from sediment of inflow part of Vranov reservoir under different availability of terminal electron acceptors, mainly dissolved O_2 and NO_3^-. The inflow parts of eutrophic reservoirs typically exhibit exacerbated rates of primary production, with concomitant increase in organic matter sedimentation. Its microbial remineralization leads to the consumption of electron acceptors, shifting their availability depending on water column mixing. To understand the cycling of P in sediments, sediment cores were incubated for five weeks in three parallel variations that simulated: i) anoxia with depleted NO_3^-, ii) O_2 saturated water column and iii) O_2 saturated water column in the presence of high concentrations of NO_3^-. Evaluating the release of P and the impact of Iron (Fe) and its metabolism in sediment under the different conditions, water above the sediments was monitored, porewater composition and different P fractions in the sediment were analysed.

Keywords: *sediment; oxygen; phosphorus; iron; eutrophication.*

Úvod

Ke zhoršování kvality vody (myšleny zejména projevy eutrofizace a jevy s ní spojené) dochází především vnosem fosforu (P) do nádrže přítokem. Na tento negativní proces však mají často aditivní vliv také sedimenty, ze kterých se P buď může uvolňovat, nebo jej sedimenty málo zadržují. Sedimenty v nádržích tak fungují jako dynamický zásobník látek, do kterého se současně ukládají a z něj i uvolňují v závislosti na okolních podmínkách a biogeochemických procesech. Výměna látek mezi vodou a sedimenty je řízena zejména teplotou vody, přísunem látek (koncentrace a formy) z povodí, průtoky, disturbancemi sedimentů (povodňové epizody, manipulace s hladinou, ryby), přítomností vazebných prvků (železo, hliník, mangan, organická hmota), a dalšími vlivy.

Přítokové části nádrží obvykle zachycují největší objemy sedimentů, jejich množství a kvalita se však liší nejen v podélném, ale i v příčném profilu nádrže v závislosti na hydraulických vlastnostech vodního sloupce. V přítokových zónách rovněž dochází k nejmasovějšímu rozvoji řas a sinic, jejichž biomasa postupně sedimentuje z vodního sloupce. Pokud se tak děje ještě v zóně úplného míchání vodního sloupce, zpravidla nedochází ke kumulaci sestonu na dně, ale k jeho rychlému rozkladu. V případě, kdy míchaná část vodního sloupce již nedosahuje ke dnu, dochází ke vzniku lokálních bezkyslíkatých zón, k nedostatečnému rozkladu sedimentovaných částic a k ukládání nestabilizovaného, živinami bohatého sedimentu, schopného efektivně uvolňovat živiny zpět do vodního sloupce [1]. Zóny dna těchto částí nádrže se tak často mění ve smyslu dostupnosti kyslíku (O_2) a případně dusičnanů (NO_3^-), které mají zásadní vliv na metabolismus bakterií a určují chování sedimentu.

S rostoucí hloubkou nádrže klesá vliv sedimentu jako zdroje živin k rozvoji fytoplanktonu ve vodním sloupci, neboť P uvolňovaný ze sedimentu zůstává v hypolimnetické části vodního sloupce, tedy pod produkční zónou fytoplanktonu. Tyto přítokové části nádrže na rozhraní míchaného/nemíchaného vodního sloupce jsou tak nejdynamičtější a mají největší vliv na trofii celé nádrže.

Sedimenty obsahují nejen částice, ale také pórovou vodu, která funguje jako transportní spojovatel mezi sedimenty a vodou nad sedimenty. Prostřednictvím ní se do sedimentu dostávají z vodního sloupce látky, které jsou zde v nízkých koncentracích a jsou zde spotřebovávány (zejména rozpuštěný O_2, NO_3^-, SO_4^{2-}). Naopak ze sedimentu jsou transportovány látky, které se vlivem chemických a mikrobiálních procesů na částicích rozpouštějí do pórové vody (např. P, NH_4^+, CO_2 a další).

Rozpuštěné látky v pórové vodě, včetně P, se dostávají ze sedimentu do vody v nádrži buď přímou difúzí, nebo rychleji díky rozrušováním celého sedimentu bioturbací bezobratlých živočichů (např. larvy pakomárů) a ryb, produkcí a následným vybubláním plynů nebo resuspenzí sedimentu díky pohybům vody [2]. Biogeochemické změny částic pak závisejí na parametrech, jako je teplota,

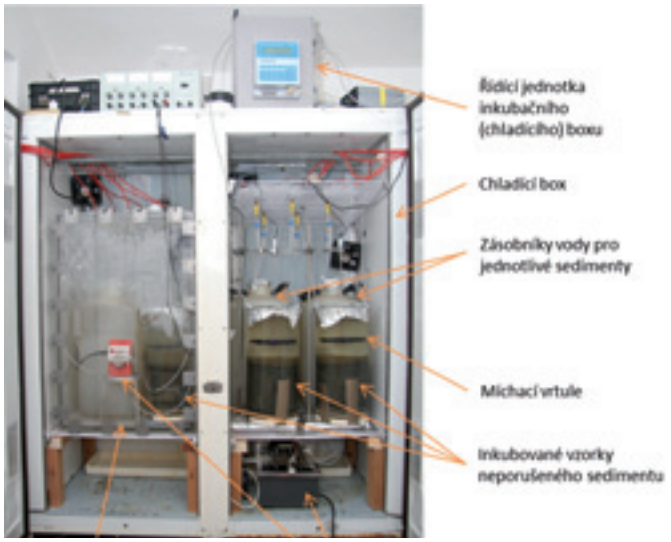
která dále ovlivňuje rychlosti chemických a zvláště mikrobiálních aktivit, dostupnost tzv. akceptorů elektronů O_2, NO_3^-, SO_4^{2-} a následně oxidačně-redukční potenciál (Eh) a pH, formy organických látek, a dále pak sorpčně desorpční rovnováhy. Akceptory elektronů jsou důležité pro proces oxidace organických sloučenin bakteriemi. Pokud je sediment anoxický a jsou vyčerpány výše zmíněné akceptory (zejména O_2 a NO_3^-), dochází k redukci sloučenin Mn^{IV} na Mn^{II} a zejména více zastoupeného Fe^{III} na Fe^{II}, které se tak rozpouštějí do pórové vody. Díky tomu, že Fe^{III} sloučeniny a zejména jeho (hydr)oxidy jsou hlavním vazebným partnerem pro P, dochází k současnému rozpouštění P do pórové vody. Pokud obsahuje pórová voda vyšší koncentrace rozpuštěného Fe, můžeme s jistotou říci, že dochází k redukčnímu rozpouštění Fe (hydr)oxidů a současně k přeměně P z pevné formy do rozpuštěné a zpřístupnění tohoto P pro přechod do vodního sloupce. Sedimenty s vysokými koncentracemi P v pórové vodě mají tak vysoký eutrofizační potenciál.

V tomto příspěvku bude ukázán způsob zjištění potenciálního vlivu sedimentu z přítokové části nádrže Vranov na kvalitu vody v nádrži za přítomnosti či nepřítomnosti kyslíku, dostupnosti NO_3^- a vysvětlen mechanismus uvolňování P ze sedimentu.

Materiál a metody

Odběr sedimentů

Studovaný sediment byl odebrán na nádrži Vranov v lokalitě mezi „Farářkou" a „M. Loučky" 23. 8. 2016. V době a místě odběru byla koncentrace O_2 4 mg l^{-1} v hloubce 0,5 m nade dnem. Celkem čtyři neporušené kóry sedimentů byly odebrány inovovaným gravitačním odběrákem do plexisklových trubic o průměru 20 cm a výšce 40 cm. Současně byla z vodního sloupce nade dnem odebrána voda do 25l barelů, která sloužila následně během inkubačního sledování jako zásobárna vody. Tento objem (společně s vodou nad sedimentem v odběrové trubici) odpovídal výšce vodního sloupce 1 m na plochu sedimentu vzorků v trubicích.



Obrázek 1. Inkubačního box umožňující paralelní inkubaci vzorků sedimentů (kóry s neporušeným vertikálním profilem) ke sledování vlivu složení vody nad sedimentem (koncentrace O_2, NO_3^-). Systém obsahuje zásobník vody, který zvyšuje objem vody nad sedimentem zapojený do cirkulujícího oběhu zajišťovaný peristaltickými pumpami, systém míchání vody nad sedimentem (míchací vrtule s jednotnou rychlostí míchání) a box umožňující simulaci bezkyslíkatých podmínek (plexisklová komora s průtokem čistého plynného N_2).

Inkubace kórů a sledování změn koncentrací ve vodě nad sedimentem

Kóry sedimentů byly umístěny do inkubačního boxu temperovaného na 12°C, napojeny na systém kontinuální výměny vody mezi vodou nad sedimentem v kóru a zásobní vodou v barelu. Nad sediment byly následně umístěny míchací vrtule simulující pomalé proudění vody nad sedimentem (Obr. 1). Byly simulovány 3 varianty podmínek ve vodním sloupci **a) vodní sloupec bez přítomnosti rozpuštěného O_2 a NO_3^-** (sediment byl umístěn v uzavřeném plexisklovém boxu, do kterého neustále proudil čistý plynný N_2, který současně probublával také barel s vodou), **b) sediment s neustálým přísunem O_2 ve vodním sloupci** (otevřená trubice se sedimentem a vodou, barel navíc probubláván atmosférickým vzduchem), **c) sediment s přísunem rozpuštěného O_2** a za zvýšené koncentrace NO_3^- (bublání jako v předešlé variantě, navíc přidán do barelu rozpuštěný $NaNO_3$, jehož přídavek odpovídal celkovému přísunu NO_3-N 4 mg l^{-1}). Sediment byl inkubován po celkovou dobu 35 dní, během níž byl třikrát týdně odebírán vzorek vody pro sledování změn koncentrací rozpuštěných iontů a prvků.

Analýza pórové vody

Každý týden byl monitorován ve všech variantách vývoj koncentrací rozpuštěných látek v pórové vodě vertikálního profilu sedimentu. Pro vzorkování pórové vody byla použita upravená technika DET (Diffusive Equilibrium in Thin Film). Minipeeper s aktivní gelovou částí o celkové délce 9 cm byl zasunut do sedimentu a exponován zde 24 hodin. Tato málo invazivní metoda a velký průměr kórů nám umožnila vzorkování pórové vody ve stejném kóru, pouze na vždy jiném místě. Pro informace ohledně této techniky viz [3, 4].

Formy P v sedimentu a sledování změn složení částic

Pro sledování změn složení částic sedimentů vyvolaných vývojem sedimentu za různých podmínek inkubace byl vzorek sedimentu analyzován pomocí frakcionace P. Jeden kór byl v době začátku inkubace (použit čtvrtý neinkubovaný replikát) rozřezán ve vertikálním profilu do vrstev o výšce 1 cm a analyzován pro obsah vody ve vzorku (105°C, 2 hod), ztrátu žíháním, která odpovídá obsahu organické složky v částicích sedimentu (550°C, 2 hod). Vzorky z jednotlivých vrstev byly analyzovány pomocí frakcionace dle Jan et al. [5], ke stanovení forem P a jeho vazebných partnerů

Tabulka 1. Označení jednotlivých extrahovaných frakcí a popis nejdůležitějších forem P, Mn, Fe a Al extrahovaných v jednotlivých extrakčních krocích

Krok	Frakce	Extrahovaná forma
1.	H_2O	Rozpuštěný a volně adsorbovaný P
2.	BD-I	Nejdostupnější (hydr)oxidy Mn a Fe pro bakteriální a chemickou redukci a P na těchto nejvíce sorpčně aktivních formách navázaný
3.	BD-II	Hůře redukovatelné (hydr)oxidy Fe a Mn s navázaným P
4.	NaOH-I	Amorfní a vysoce sorpčně aktivní (hydr) oxidy Al s navázaným P, organické formy P
5.	NaOH-II	Krystalické (hydr)oxidy Al s navázaným P, stabilnější formy organického P
6.	HCl	Apatity a CaCO3 s adsorbovaným P Fe ve formách sulfidů, uhličitanů a křemičitanů
7.	Zbytek	Nedostupné formy extrakčními činidly

(viz Tab. 1). Stejně byly rozřezány a zanalyzovány tři inkubované kóry po ukončení inkubačního sledování, ke stanovení změn složení částic způsobených různými podmínkami ve „vodním sloupci nad sedimentem".

Výsledky a diskuse

Obecné vlastnosti sedimentu

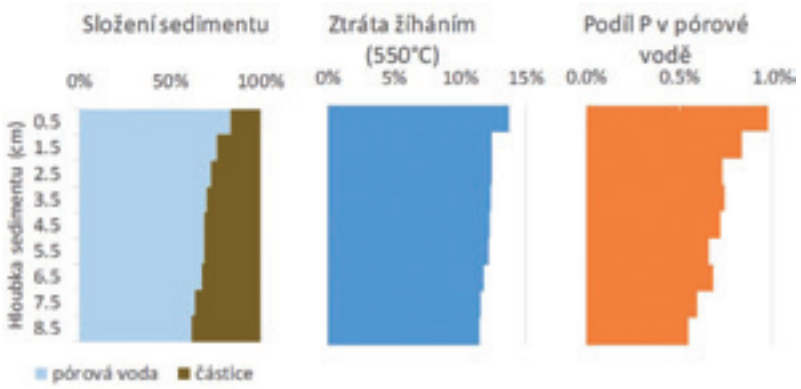
Základní parametry sedimentu před zahájením inkubací jsou vyobrazeny na Obr. 1. Sediment obsahoval 86% vody s nejsvrchnější vrstvě 0-1 cm a postupně klesal až na 57% ve vrstvě 8-9 cm. Částice sedimentu, které tvořily zbytek sedimentu, pak obsahovaly přibližně 14% organické složky (stanoveno jako ztráta žíháním při 550°C) a klesaly s hloubkou sedimentu na 12% ve spodní sledované vrstvě. Zjevně vyšší zastoupení organické složky v nejsvrchnější vrstvě je způsobena nasedimentovanou organickou hmotou z průběhu produkční sezóny fytoplanktonu. Pokud se pak zaměříme na poměr mezi obsahem P rozpuštěného v pórové vodě a celkovým obsahem P v jednotlivých vrstvách (rozpuštěný + částicový), vidíme, že pórová voda na počátku inkubace obsahovala pouze méně než 1% z celkového množství P v sedimentu a klesala s hloubkou až na 0,5%. Ačkoli se zdá toto procento velice nízké, hraje pórová voda významnou roli nejenom z hlediska množství P v ní, ale také jako transportní médium mezi sedimentem a vodou nad ním viz dále.

Změny koncentrací ve vodě nad sedimentem

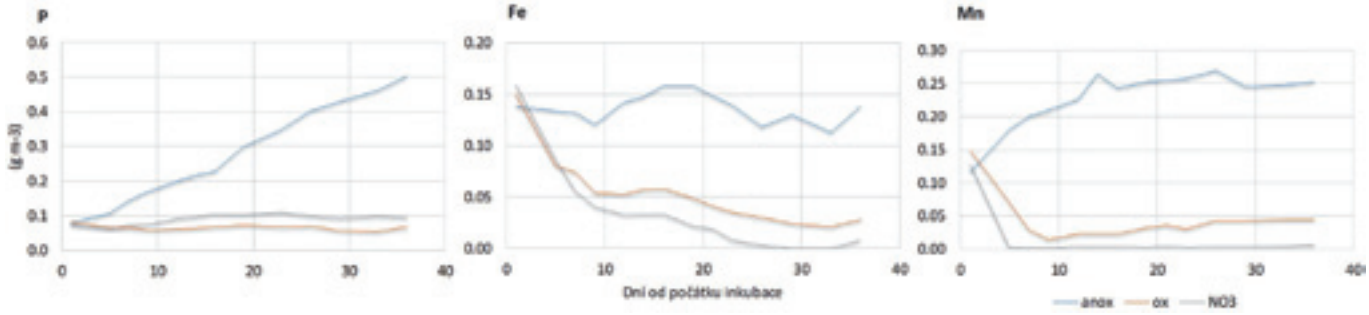
Z výsledku monitoringu vody nad sedimentem v průběhu inkubačního pokusu se ukázal výrazný vliv podmínek během inkubace (Graf 2). Zatímco sediment inkubovaný za anoxických podmínek vody nad sedimentem (anox) vykazoval kontinuální uvolňování P ze sedimentu, u obou oxických variant, jak bez přídavku NO_3^- (ox), tak i s přídavkem NO_3^- (NO_3), k uvolňování P ze sedimentu nedocházelo. Sediment o ploše 1 m² tak v anoxii uvolnil celkem 435 mg P během 35 dní inkubace, vyjádřeno na koncentrace, zatímco počáteční stav byl 70 mg m³ P, koncový stav 505 mg m³ P, což znamená, že 1 m² sedimentu každý den obohatil 1l vody ve vodním sloupci o výšce 1 m o 12,4 µg P. Toto anoxické uvolňování P nebylo doprovázeno uvolňováním Fe do vodního sloupce, jak je vidět na grafu a koncentrace rozpuštěného Fe, která zůstala na stabilní nízké koncentraci. V oxických variantách došlo k jeho dalšímu poklesu, tedy vysrážení z vodního sloupce do částic. Redukční rozpouštění pak bylo patrné u dalšího redox labilního prvku, manganu (Mn). Z těchto výsledků se může zdát, že za uvolňování není zodpovědné rozpouštění železitých sloučenin s P, opak je však pravdou, jak potvrzují výsledky analýzy pórové vody a frakcionace.

Analýza pórové vody

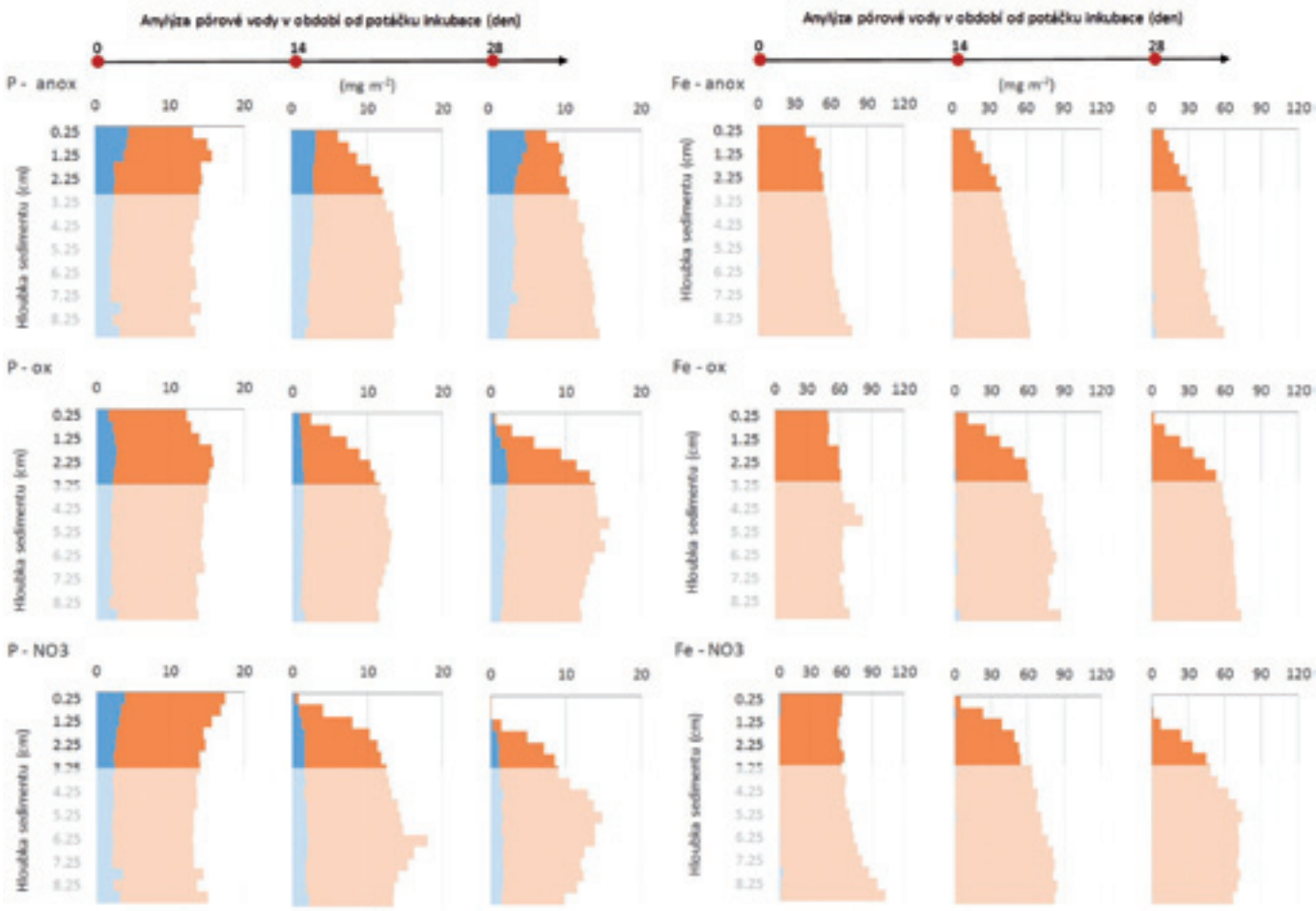
Z analýz pórových vod (Graf 3) je patrné, že na počátku inkubace (den 0) byl vysoký obsah celkového rozpuštěného P v jednotlivých vrstvách sedimentu včetně nejsvrchnější vrstvy o -0,5 cm (c = 3,3±0,5 mg l^{-1} P). Tato koncentrace je téměř 50 krát vyšší oproti koncentraci P ve vodním sloupci na počátku inkubace 70 µg l^{-1} P. Díky tomuto vysokému koncentračnímu gradientu P na rozhraní sediment/voda docházelo k difuznímu transportu P pórovou vodou ven ze sedimentu. Jak je pak patrné z dalších dvou sledování po 14 a 28 dnech, vysoké množství P je stále ve svrchních vrstvách přítomno. Tento obsah P v pórové vodě je tedy výsledkem dvou procesů: i) transportem P ven ze sedimentu (viz akumulace P ve vodním sloupci) a generováním rozpuštěného P uvnitř sedimentu díky přeměně/rozpouštění částic obsahující P, jak bude ukázáno dále. V případě oxické varianty (ox) v průběhu inkubace docházelo k výraznému poklesu P ve vrstvě 0-3 cm a zejména nejvíce ve svrchních vrstvách pod povrchem sedimentu. Tento pokles



Graf 1. Základní charakteristika složení studovaného sedimentu z přítokové části nádrže Vranov. Vlevo – procentuálně vyjádřené hmotnostní zastoupení pórové vody a částic, uprostřed – ztráta žíháním částic při 550°C, vpravo – procentuální vyjádření obsahu P v pórové vodě vůči celkovému obsahu P v jednotlivých vrstvách sedimentu.



Graf 2. Průběh změn koncentrací P, Fe a Mn ve vodě nad sedimentem o ploše 1 m² a výšce vodního sloupce 1m vyjádřená v jednotkách g m^{-3}



Graf 3. Analýza změn koncentrací P a Fe v pórové vodě jednotlivých inkubovaných variant sedimentů v průběhu inkubace (den 0, den 14 a den 28). V grafu zvýrazněny nejaktivnější první 3 cm sedimentu vykazující změny v koncentracích.

byl ještě výraznější u inkubovaného sedimentu s vyšší koncentrací NO_3^- ve vodním sloupci (NO3). Nízký obsah P tak zapříčinil, že sedimenty P neuvolňovaly.

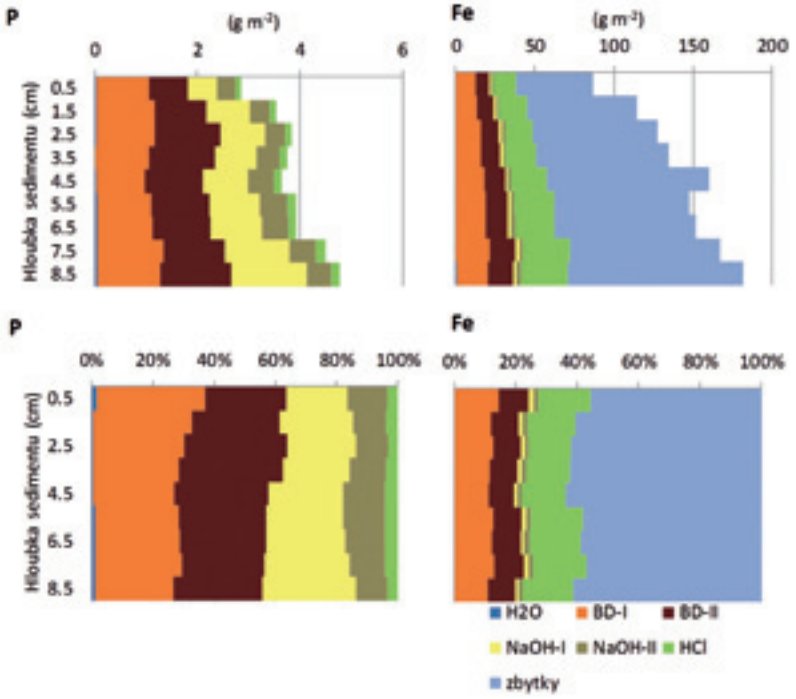
Pokud se zaměříme na profily rozpuštěného Fe v pórové vodě (Graf 3), je patrné, že mají stejný průběh, jako u P. Znamená to, že v sedimentu nedocházelo k rozpouštění železitých sloučenin s P, naopak díky přítomnosti oxické vody nade dnem docházelo k postupnému „prooxidovávání" svrchní vrstvy sedimentu a ke srážení nových Fe~P sloučenin. Ke stejnému efektu docházelo, pokud byly přítomny ionty NO_3^- v sedimentu, které navíc pronikaly do větších hloubek sedimentu a ke srážení rozpuštěného Fe a současně P docházelo ještě efektivněji. Z průběhu koncentrací Fe na počátku inkubací a dále v anoxické variantě by ovšem mělo docházet k uvolňování Fe do anoxické vody. Tento proces však nebyl zaznamenán při monitoringu složení vody nad sedimentem a byl způsoben srážením redukované formy Fe do formy sulfidů FeS_x na povrchu sedimentu díky souběžné redukci síranů.

Obsah P v pórové vodě jednotlivých vrstev lze rozdělit do dvou částí i) H2O frakce (modrá složka v grafech) odpovídá P, který se při přechodu do oxické vody díky disturbancím sedimentu (hydraulická resuspenze, aktivita ryb a další) není schopen srazit s rychle oxidovaným Fe pocházejícího ze stejné pórové vody a vytvořit nové částice a ii) HNO3 frakce (oranžová část v grafech), která je s tímto rozpuštěným Fe potencionálně srazitelná v oxických podmínkách. H2O část P pórové vody je tedy v případě resuspenze okamžitě v rozpuštěné formě dostupná pro organismy ve vodním sloupci a představuje největší riziko z celkového obsahu P v sedimentu. Pokud by došlo k resuspenzi sedimentu do hloubky 3 cm u sedimentu na počátku inkubace, uvolnilo by se v průměru 90 mg P z jednoho čtverečního metru sedimentu, z čehož 18 mg by se v případě oxické vody nebylo schopno srazit s Fe, a stalo se tak okamžitě dostupnými.

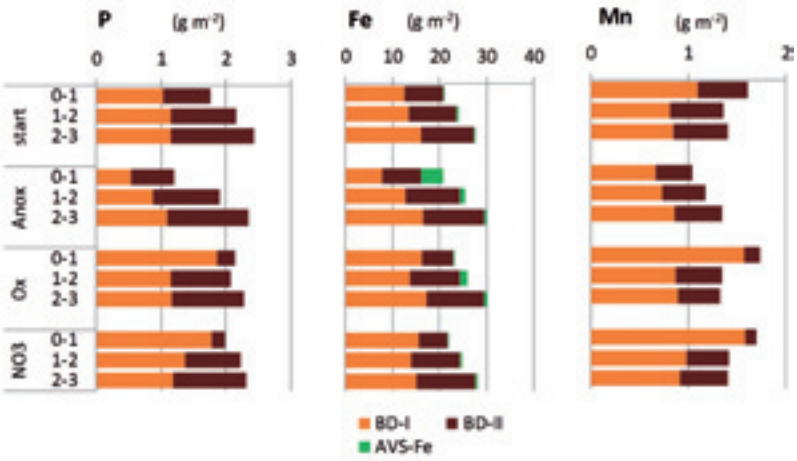
Formy P v sedimentu a změny složení částic

Sediment obsahoval na počátku inkubačního pokusu v horních 9 cm celkem 35 g m^{-2} P. Celkové množství různých forem P a Fe stanovovaných frakcionační analýzou, stejně jako jejich procentuální zastoupení v různých vrstvách je zobrazeno v Grafu 4. Průměrně 29±3 % P bylo vázaného ve vysoce redukčně labilních sloučeninách Fe a Mn (frakce BD-I), 30±3 vázaného na stabilnější a méně bakteriálně a chemicky redukovatelné sloučeniny Fe a Mn (frakce BD-II), 26±4 % P vázaného na amorfní (hydr) oxidy Al a v organických formách (frakce NaOH-I), 11±2% ve stabilních organických formách a krystalických oxidech Al (frakce NaOH-II), 4±1% P ve sloučeninách labilních v nízkých hodnotách pH. Fosfor je v tomto typu sedimentu převážně vázán v železitých (hydr)oxidech, jejich největší zastoupení je pak ve svrchních 3 centimetrech.

Změny, které se odehrály během sledovaného období, byly nejvýznamnější ve svrchních 3 cm sedimentu, a byly téměř výhradně způsobeny změnami množství P vázaného na redox labilní (hydr) oxidy Fe a následně Mn, který měl ovšem menší význam vzhledem k jeho malému množství v sedimentu (graf 5). Uvolňovaný P ze sedimentu pod anoxickým vodním sloupcem byl způsoben rozpouštěním snadno dostupných (hydr)oxidů Fe, které slouží jako terminální akceptor elektronů při mikrobiálním rozkladu organických látek, a na nich vázaného P (frakce BD-I). Pokles jejich množství byl patrný zejména v nejsvrchnější vrstvě 0-1 cm (pokles



Graf 4. Obsah jednotlivých forem P a Fe a jejich procentuálního zastoupení v sedimentu stanovených pomocí frakcionační analýzy



Graf 5. Obsah P, Fe a Mn ve svrchních 3 cm sedimentu extrahovaných ve frakcích BD-I a BD-II před inkubací (varianta start) a po inkubacích jednotlivých variant (varianta anox, ox a NO_3). AVS-Fe bylo stanoveno jako sulfidická síra přepočítána na Fe v molárním poměru 1:1.

P o 48%, pokles Fe o 38%, viz tab. 2). Jak bylo ukázáno dříve, Fe se ze sedimentu v anoxické variantě neuvolňovalo, neboť docházelo ke srážení FeS_x díky silným anoxickým podmínkám a redukci síranů (stanoveno jako AVS – acid volatile sulfur a přepočítáno s molárním poměre S:Fe - 1:1). Naopak v obou oxických variantách došlo k nebohacení P v BD-I frakcích a to o desítky procent (graf 5, tab. 2). Tento efekt byl způsoben jednak vysrážením rozpuštěného P a Fe z pórové vody a pravděpodobně také díky přeměně původních hůře dostupných (hydr)oxidů Fe. Zatímco při dostupnosti rozpuštěného O_2 a NO_3^- docházelo k nabohacení množství P a Fe v BD-I frakci, došlo k ochuzení hůře P a částečně Fe v hůře dostupných formách (BD-II). Tento fakt byl zapříčiněn buď oxidací a uvolněním organických látek nasorbovaných na povrchu železitých (hydr)oxidů nebo oxidací redukovaných FeII iontů taktéž na površích těchto sloučenin. Oba mechanismy v sedimentech znepřístupňují bakteriím přenášet elektrony na FeIII (hydr)oxidy. V BD-II frakci jsou navíc extrahovány krystalické (hydr)oxidy Fe, které mají nižší sorpční schopnosti pro P. Tyto minerály tak zůstaly beze změny, což naznačují zvýšené molární poměry Fe/P v této frakci v obou oxických variantách (Tab. 2).

Potencionální význam P ze sedimentu pro přítokovou část nádrže

Přes veškerou snahu se při inkubaci přiblížit podmínkám v nádrži, včetně použití nejlepších dostupných postupů, bude vždy obtížné extrapolovat výsledky do většího měřítka. I přesto se níže pokusíme o vyjádření vztahu mezi naměřenými výsledky a situací v nádrži.

Na základě přechozího monitoringu lze předpokládat:

Při ploše sedimentů s oxicko-anoxickým režimem 200000 m^2, průměrnou hloubku 1,5 m je objem vody nad plochou: 300000 m^3, pak, při koncentraci rozpuštěného P 0,05 mg l^{-1} je ve stanoveném objemu obsaženo 15000 g P.

Tabulka 2. Procentuální změny P a Fe během inkubace v BD-I a BD-II frakcích vůči hodnotám před počátkem inkubací a molární poměry Fe/P v jednotlivých frakcích a vrstvách sedimentů

	Hloubka (cm)	**Změna obsahu látek ve frakcích po inkubacích** (%)				**Molární poměry**	
		P		**Fe**		**Fe/P**	
		BD-I	**BD-II**	**BD-I**	**BD-II**	**BD-I**	**BD-II**
start	0–1					7	6
	1–2					7	6
	2–3					8	5
Anox	0–1	-48	-12	-38	0	8	7
	1–2	-23	1	-6	13	8	6
	2–3	-4	-2	2	16	8	6
Ox	0–1	83	-64	30	-21	5	14
	1–2	0	-8	3	2	7	6
	2–3	2	-14	5	10	8	6
NO_3	0–1	75	-74	25	-27	5	18
	1–2	21	-16	3	1	6	7
	2–3	3	-12	-6	11	7	6

Při uvolňování 12,4 mg m^{-2} d^{-1} je denně do definovaného objemu uvolněno 2500 g P, tj. 17 % dostupného P ve vodním sloupci.

Při obsahu 20 mg m^2 P (anoxie) je ve svrchní 3cm vrstvě v definované ploše obsaženo 12000 g P, tj. 80 % dostupného P ve vodním sloupci.

Při obsahu 3 mg m2 P (NO_3) je ve svrchní 3cm vrstvě v definované ploše obsaženo 1800 g P, tj. 15% dostupného P ve vodním sloupci.

Závěr

Sediment z přítokových částí nádrží mají velký vliv na trofický stav nádrží vzhledem k jejich blízkému kontaktu s epilimnetickou vodou. Uvolňovaný P ze sedimentů tak snadno přechází do produkční zóny fytoplanktonu ve vodním sloupci a zvyšuje dostupnost živin i v hlubších již stratifikovaných částech nádrže. Sediment z nádrže Vranov je značně závislý na dostupnosti rozpuštěného O_2 a také NO_3^-, které zabraňují při jejich dostupnosti uvolňování P ze sedimentů. V případě jejich nedostatku jsou využívány fosforem vysoce saturovány (hydr)oxidy Mn a zejména pak Fe při mikrobiální mineralizaci nasedimentovaného organického materiálu. Jejich rozpouštění pak vede k uvolňování P ze sedimentu. Rychlost uvolňování P za anoxických podmínek odpovídala 12,4 mg P na m^2 za den. Toto množství tak výrazně přispívá k dostupnosti živin v nádrži. Za přítomnosti rozpuštěného O_2 a/nebo NO_3^- jsou naopak tyto (hydr)oxidy schopné P zadržovat a kumulovat se v horních vrstvách sedimentu. Toto zadržení však není trvalé a při změně nestabilních oxických podmínek ve vodě nad sedimentem nebo překrytí novým organickým materiálem může docházet k jejich uvolnění. Fosfor obsažený v pórové vodě se také stane rychle dostupným pro vodní sloupec, pokud dojde k jeho narušení ať již zvýšenými průtoky a resuspenzí, či narušením způsobeným aktivitou ryb.

Poděkování

Tato práce vznikla za podpory Technologické Agentury České Republiky (projekt č. TA04021342) a projektu MŠMT č. LM2015075.

Literatura

[1] KOSOUR, D., DURAS, J., HANÁK, R., (2015) VN Vranov – situace a možnosti řešení jakosti vody. In: Kosour, Dušan et al., ed. Vodní nádrže 2015: 6.–7. října 2015, Brno, Česká republika. Brno: Povodí Moravy, s.p., 2015. ISBN 978-80-260-8726-7.

[2] WETZEL, R.G. (2001) Limnology: lake and river ecosystems, 3rd ed. Academia Press, San Diego.

[3] BOROVEC, J., JAN, J., JAROLÍMOVÁ, Z. (2009). Využití gelových minipeeperů při sledování složení pórové vody v sedimentech. Zborník prednášok z V. konferencie s medzinárodnou účasťou Sedimenty vodných tokov a nádrží. ISBN 978-80-89062-61-4.

[4] JAN, J., BOROVEC, J., HUBÁČEK, T (2015) Co umíme říci o sedimentech, aneb hodnocení sedimentů v nádržích ve vztahu k eutrofizaci. In: Kosour, Dušan et al., ed. Vodní nádrže 2015: 6.–7. října 2015, Brno, Česká republika. Brno: Povodí Moravy, s.p., 2015. ISBN 978-80-260-8726-7.

[5] JAN, J., BOROVEC, J., KOPÁČEK, J., HEJZLAR, J. (2015) Assessment of phosphorus associated with Fe and Al (hydr)oxides in sediments and soils. J Soils Sediments 15: 1620–1629.

PREFERENCE ČECHŮ PRO ADAPTAČNÍ OPATŘENÍ KE ZMÍRNĚNÍ DOPADŮ POVODNÍ A SUCHA: TECHNICKÁ, PŘÍRODĚ BLÍZKÁ, NEBO DOPROVODNÁ OPATŘENÍ?

Iva Zvěřinová, Milan Ščasný, Zuzana Martínková

Univerzita Karlova, Centrum pro otázky životního prostředí, José Martího 2, 162 00 Praha 6, tel. +420 220 199 479, iva.zverinova@czp.cuni.cz

Abstrakt

Cílem výzkumu je zjistit postoje a preference obyvatel ČR vůči adaptačním opatřením na snížení dopadů povodní a sucha. Na jaře 2016 jsme uskutečnili dotazníkové šetření na reprezentativním vzorku obyvatel ČR (3666 respondentů). Více než polovina dotázaných očekává, že jejich domácnost bude v příštích 10 letech častěji vystavena dopadům sucha a vln horka. Na národní úrovni respondenti nejčastěji podporovali změnu způsobu hospodaření v lesích (72 %) a zemědělské půdě (69 %) a využívání odpadní a dešťové vody (63 %). Velmi populární je také vytváření mokřadů. Nejkritičtěji se vyjadřovali k zavedení daní či poplatků. Češi jsou ochotni i nést část nákladů na snížení dopadů sucha a povodní. V průměru jsou ochotni zaplatit měsíčně za domácnost 1000 Kč v případě adaptačních opatření na snížení dopadů sucha nebo 923 Kč v případě povodní. Respondenti jsou ochotni nést náklady technických opatření, ale jejich přijatelnost klesá, jak se zvyšuje jejich podíl na úkor opatření přírodě blízkých.

Klíčová slova: *adaptace na změnu klimatu; technická opatření; přírodní opatření; výběrový experiment; ochota platit.*

Abstract

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

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

Úvod

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

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

Materiál a metody

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

Vnímání četnosti a závažnosti dopadů živelních pohrom bylo měřeno s využitím sedmibodové Likertovy škály a byla nabídnuta možnost, že se živelní pohroma respondentovy domácnosti netýká. V tomto článku uvádíme podíly z dotázaných, kteří uvedli, že se jich živelní pohroma týká. Pro hodnocení různých adaptačních opatření jsme se respondentů ptali, jestli by zavedli či nezavedli různá opatření na škále od 1 do 7, kdy 1 znamenala „rozhodně zavést" a 7 „rozhodně nezavést", nebo mohli vybrat možnost „nevím".

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

Respondentům byla volba podoby adaptačního plánu v dotazníku představena jako jistá forma referenda, v rámci kterého bychom rádi zjistili, jaký plán by lidé upřednostňovali. Dále bylo vysvětleno, že probíhá diskuse mezi odborníky a politiky, jaký by Národní akční plán adaptace na změnu klimatu měl být, a že tento dokument

Tabulka 1. Atributy a úrovně výběrového experimentu

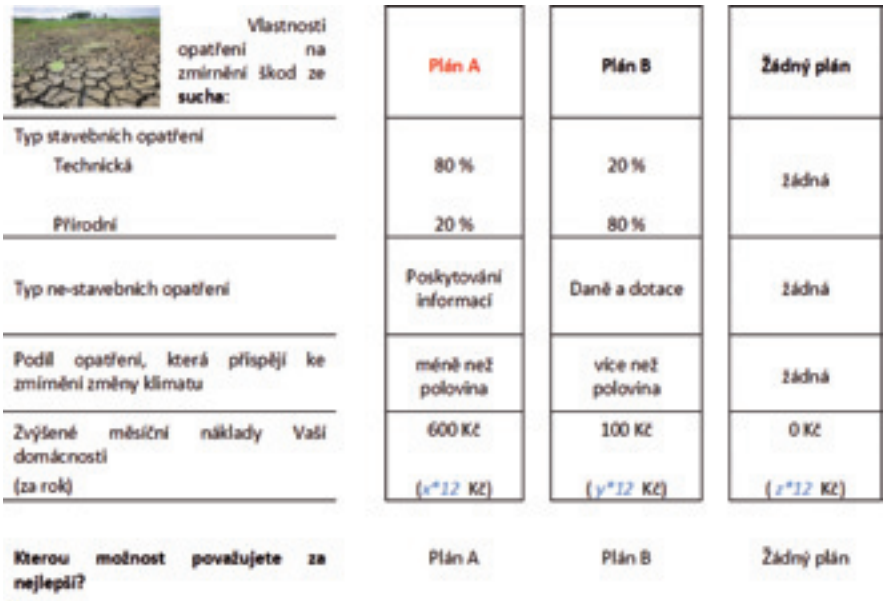
Charakteristiky plánů	Úrovně adaptačních plánů	Úrovně žádného plánu
Typ stavebních opatření Technická Přírodní	100 %, 80 %, 60 %, 40 % 60 %, 40 %, 20 %, 0 %	žádná
Typ ne-stavebních opatření	poskytování informací, územní plánování, daně a dotace, pojištění, nebo žádná	žádná
Podíl opatření, která přispějí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

bude schválen vládou a bude stanovovat výši finančních prostředků, které by se měly vynakládat na opatření pro přizpůsobení se změnám klimatu. V době realizace šetření se Národní akční plán adaptace na změnu klimatu teprve připravoval, takže mohl být využit pro scénář výběrového experimentu. Národní akční plán adaptace na změnu klimatu byl schválen Vládou ČR 16. ledna 2017 [2].

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

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

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



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

Účastníci výzkumu byli náhodně rozděleni do tří podskupin, z nichž každá obdržela jinou verzi výběrového experimentu. V tomto článku analyzujeme data ze dvou podskupin, z nichž první podskupina obdržela adaptační plány snižující dopady povodní a druhá podskupina obdržela opatření snižující dopady sucha. Z tohoto důvodu je počet respondentů, kteří volili v experimentu na sucho 1213 a na povodně 1160. Výběrovou kartu pro opatření na zmírnění škod ze sucha ilustruje obrázek č. 1.

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

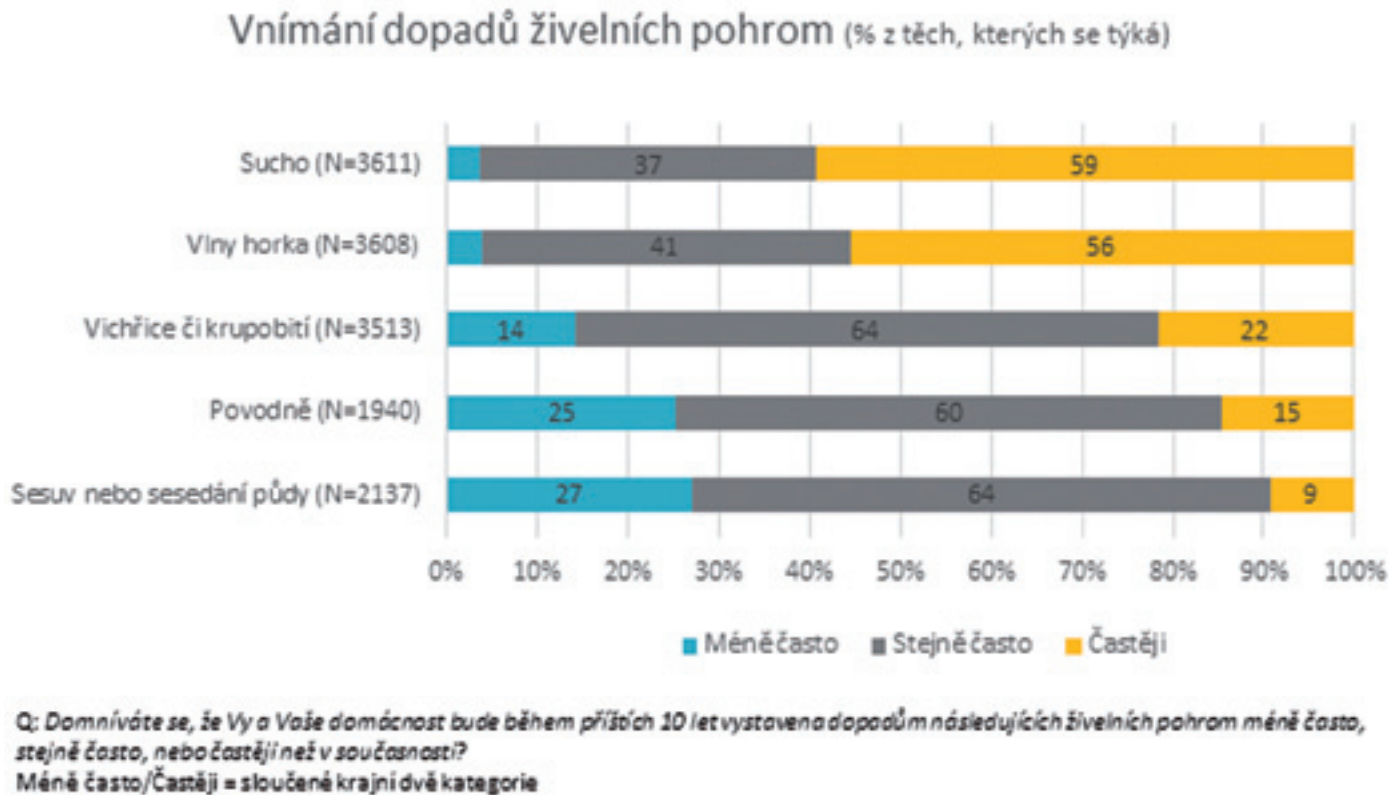
Data byla statisticky a ekonometricky analyzována. Užité byly zejména modely diskrétní volby. Pro tento příspěvek byla ochota platit odhadnuta multinomiální podmíněnou logistickou regresí. Teoretickým základem ekonometrického modelu je model náhodného užitku („random utility model") [3].

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

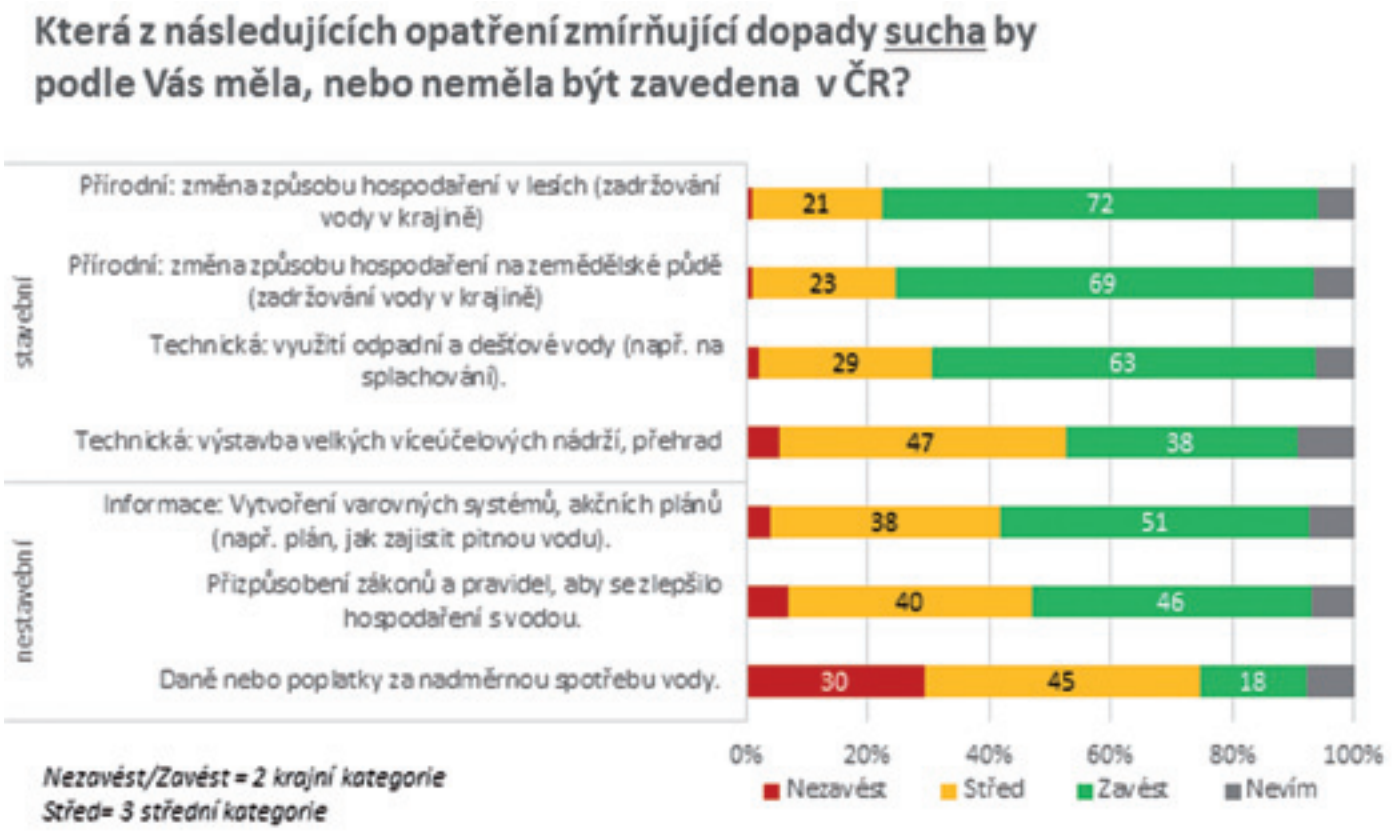
Další informace k dotazníkovému šetření a další analýzy dat včetně výběrových experimentů jsou k dispozici ve zprávě z výzkumu [4].

Výsledky a diskuse

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



Graf 1. Vnímání četnosti dopadů živelních pohrom na domácnosti respondentů, kteří se vyjádřili, že se jich dané pohromy týkají

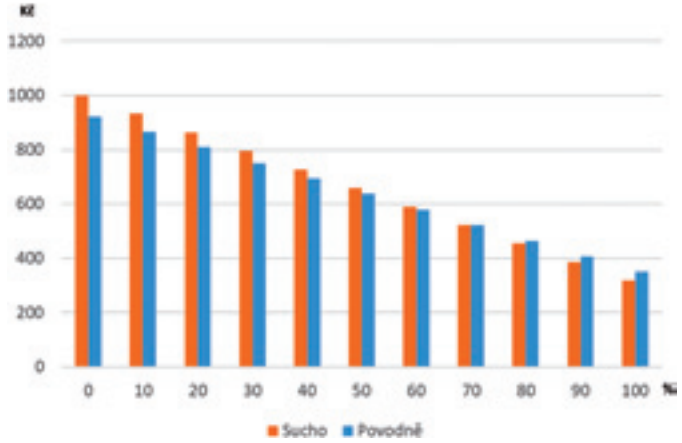


Graf 2. Vyjádření souhlasu či nesouhlasu se zavedením navrhovaných opatření zmírňující dopady sucha v ČR (%; N=1196)

Tabulka 2. Odhad volby konkrétních opatření na snížení škod z povodní a sucha, multinomální logistická regrese, po vyloučení protestních odpovědí

	sucho				povodně			
	koef.	**t stat**	**p value**	**WTP**	**koef.**	**t stat**	**p value**	**WTP**
adaptace	2.1995	26.9	<.0001	1,000 Kč	2.4151	28.54	<.0001	923 Kč
technické (%)	-0.015	-14.54	<.0001	-6.8 Kč	-0.015	-14.07	<.0001	-5.7 Kč
daně	-0.0151	-0.25	0.8029	*	-0.0785	-1.26	0.2093	*
pojištění	0.1848	3.32	0.0009	84 Kč	-0.00373	-0.06	0.9482	*
plánování	0.0899	1.34	0.1795	*	0.0106	0.15	0.8777	*
informace	0.0366	0.48	0.6337	*	-0.0619	-0.78	0.438	*
mitigace (střední)	0.0456	1.05	0.2956	*	-0.0087	-0.19	0.8478	*
mitigace (velké)	0.0671	1.38	0.1664	*	0.0995	1.97	0.0486	38 Kč
náklady	-0.0022	-17.81	<.0001		-0.00262	-20.37	<.0001	
No respondentů	1213				1160			
No odpovědí	6065				5800			
Log Likelihood	-6018				-5656			
LogL(0)	-6663				-6372			

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



Graf 3. Ochota platit za adaptační opatření (v Kč) v závislosti na podílu technických opatření (v procentech)

59 % respondentů budou jejich domácnosti častěji vystaveny suchu a podle 56 % respondentů domácnosti budou častěji vystaveny vlnám horka (viz Graf 1). Častější výskyty sucha v budoucnu respondenti dále spojují se změnami klimatu. V důsledku změny klimatu přibližně dvě třetiny obyvatel (62 %) očekávají do roku 2040 častější období sucha ve svém regionu a téměř polovina ze všech respondentů rovněž očekává úbytek biodiverzity. Více než třetina předpokládá celkové zhoršení životní úrovně obyvatel (35 %) a častější povodně (29 %).

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

Také na národní úrovni respondenti pro snížení negativních důsledků sucha podporovali zejména přírodní opatření (Graf 2), konkrétně nejčastěji změnu způsobu hospodaření v lesích (72 %) a zemědělské půdě (69 %). Třetím nejvíce podporovaným opatřením je poté využívání odpadní a dešťové vody. Nejkritičtěji se respondenti vyjadřovali naopak k opatření, které by se jich mohlo dotýkat přímo a to daně či poplatky za nadměrnou spotřebu vody. Toto opatření odmítá 30 % dotázaných a přijalo by ho pouhých 18 %.

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

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

Češi jsou ochotni i nést část nákladů na opatření zmírňující dopady sucha a povodní. Na základě analýzy dat z výběrového experimentu jsme zjistili, že v průměru jsou respondenti ochotni zaplatit za adaptační opatření 1 000 Kč (sucho) nebo 923 Kč (povodně) (viz Tabulka 5). Dotázaní silně preferují přírodě blízká opatření. Ochota platit se snižuje s každým procentem, o které jsou přírodě blízká opatření nahrazovány technickými

opatřeními (viz Graf 3). Například v případě podílu 50% technických a 50% přírodě blízkých opatření ochota platit za adaptační plány klesne na 660 Kč pro opatření na snižování dopadů sucha (1000 Kč – 50*6.8 Kč) a na 640 Kč u protipovodňových opatření (923 Kč – 50*5.7 Kč).

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

Závěr

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

Poděkování

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

Literatura

[1] STEG, L., DREIJERINK, L., ABRAHAMSE, W. *Why Are Energy Policies Acceptable and Effective?* Environment and Behavior, 2006, roč. 38, č. 1, s. 92–111. doi:10.1177/0013916505278519.

[2] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Národní akční plán adaptace na změnu klimatu,* 2017. https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni_akcni_plan_zmena_klimatu/$FILE/OEOK-NAP_cely_20170127.pdf

[3] MCFADDEN, D. *Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior*. In: Zarembka, P. (ed.) Frontiers in Econometrics, 1973. New York: Academic Press. s. 105–142.

[4] ŠČASNÝ, M., ZVĚŘINOVÁ, I., MÁCA, V., MARTÍNKOVÁ, Z., HAVRÁNEK, M. *Jaká adaptační opatření Češi upřednostňují? Výzkumná zpráva z dotazníkového šetření postojů a preferencí vůči adaptačním opatřením.* Praha: Univerzita Karlova – Centrum pro otázky životního prostředí, 2016, 83 s., dostupné z https://www.czp.cuni.cz/czp/images/2016/KLIMA.pdf.

POZOROVANÉ ZMĚNY A VÝHLED PRO VODNÍ BILANCI A POTŘEBU VODY V ZEMĚDĚLSKÉ KRAJINĚ ČESKÉ REPUBLIKY

Miroslav Trnka[1,2], Adam Vizina[3], Martin Hanel[3,4], Jan Balek[1], Petr Hlavinka[1], Daniela Semerádová[1], Filip Chuchma[5], Miroslav Dumbrovský[6], Jan Daňhelka[5], Martin Dubrovský[1], Pavel Zahradníček[1,5], Petr Stěpánek[1,5], Zdeněk Žalud[1,2]

[1]Ústav výzkumu globální změny AV ČR v.v.i, tel. +420 725 950 927, mirek_trnka@yahoo.com,
[2]Mendelova univerzita v Brně
[3]Výzkumný ústav vodohospodářský TGM, v.v.i.
[4]Česká zemědělská univerzita
[5]Český hydrometeorologický ústav
[6]Vysoké učení technické v Brně

Abstrakt

Kvantifikace změn vláhových potřeb a posouzení výhledu pro nejbližší dekády koresponduje s doporučením Generelu vodního hospodářství krajiny ČR. Modelové odhady potřeby vody byly provedeny pro každý grid s rozlišením 500x500m pro celé území ČR na základě denních meteorologických dat, údajích o sklonitosti a expozici pozemku, o retenční schopnosti a hloubce půdy a případném vlivu podzemní vody. Byla zohledněna dynamika růstu vegetace v modelu ale i termíny setí/sázení/citlivých period/sklizně ve vazbě na průběh počasí a klíčové faktory ovlivňující potřebu vody (např. proměnlivá velikost listové plochy či hloubka kořenění). Pro případy výpočtu potřeby vody v očekávaném klimatu byl zahrnut i vliv CO_2 na vodní režim rostlin. Dostupné zdroje vody byly odhadnuty na základě měsíčního bilančního modelu BILAN a ve výpočtech byl zohledněn vliv, jak vodohospodářské soustavy, tak reálných odběrů a vypouštění. Kompatibilita mezi parametry modelu BILAN a SoilClim byla zajištěna jejich integrací. Pro lepší interpretovatelnost bylo hospodaření s vodními zdroji a jejich dostupnost analyzována jak na úrovni jednotlivých mezipovodí tak na úrovni soustav.

Abstract

The quantification of changes in water requirements and the outlook for coming decades corresponds to the recommendation of the recent strategic documents. The water requirements for agriculture were estimated at 500x500 m grid for the entire territory of the Czech Republic based on daily weather data, slope and aspect, soil water holding capacity and potential influence of groundwater. The estimates included also vegetation dynamics as well as sowing / sowing / sensitive period / harvest timing in relation to the weather patterns of the given year and other key factors influencing the water need (e.g. varying leaf area and root depth). The effect of increasing ambient CO_2 on the water regime of plants was also included. The available water resources were estimated on the basis of the BILAN monthly balance model, and the impacts of both the water management system and actual withdrawals and discharges were taken into account in the calculations. Compatibility between the BILAN and SoilClim parameters was ensured by their integration. For better interpretability, the management of water resources and their availability has been analyzed both at the level of individual catchments and their integration.

Úvod

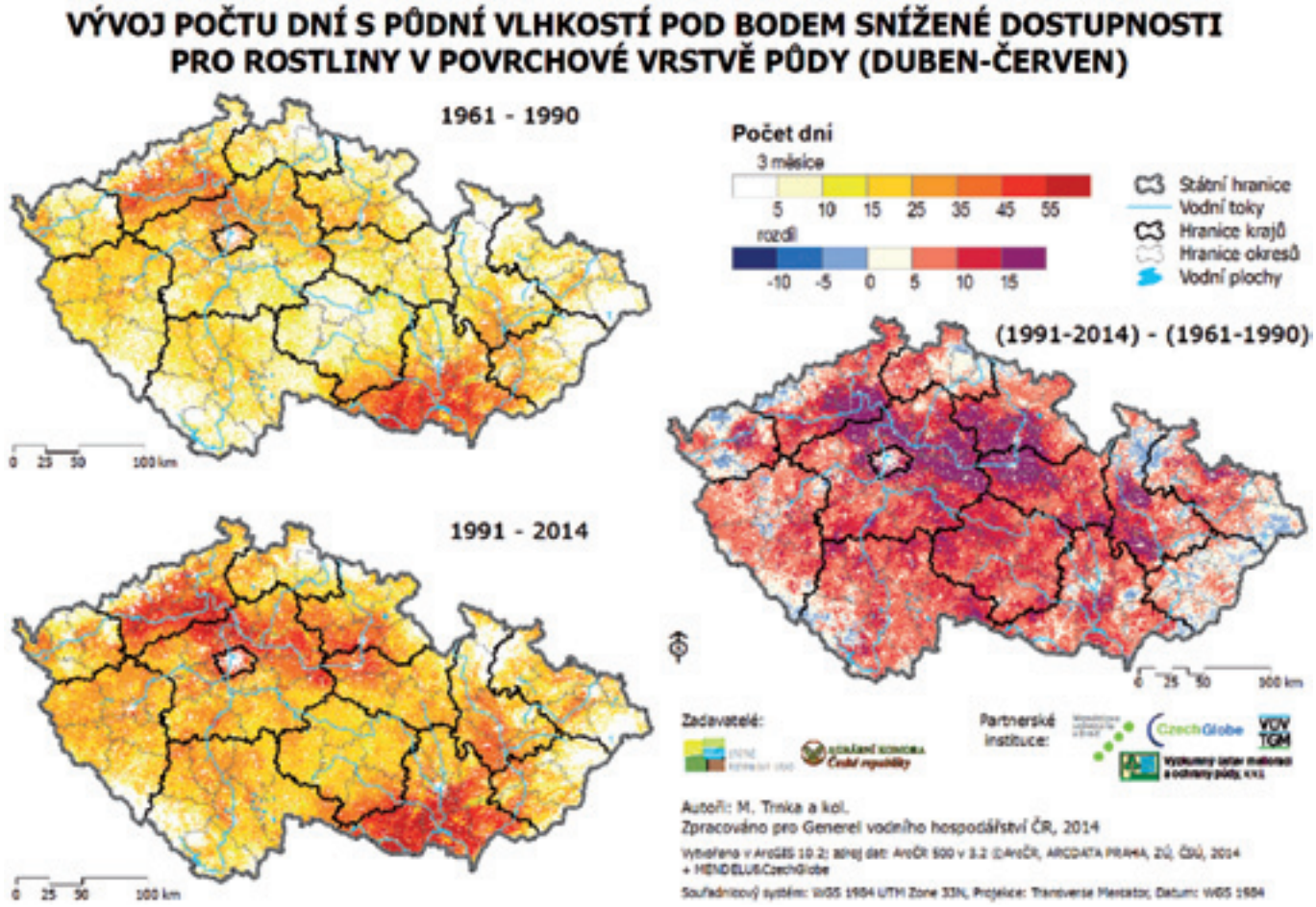
Aktuálně celosvětově ve stále větším počtu postižených oblastí velmi rychle narůstá nedostatek vody a výskyt sucha, který v některých případech dosahuje úrovně živelné katastrofy s masivními dopady. V případě sucha dochází k zásadnímu nárůstu jeho četnosti v některých oblastech včetně střední Evropy. Tento jev souvisí s procesem globálního klimatické změny.

Problém zabezpečení vodních zdrojů se už začíná projevovat i v oblastech, v nichž obyvatelstvo si dosud ataky sucha příliš neuvědomovalo, ale začíná je už čím dál výrazněji pociťovat. Na našem území se zatím nejedná o masivní výpady ve sféře zásobování vodou obyvatelstva a průmyslu, ale v zemědělství a lesnictví, kde se dopady tohoto jevu projevují obvykle nejdříve. Jak dokládá Mapa 1, došlo reálně ke zvýšení počtu dní s nedostatkem vláhy v klíčovém období pro produkci většiny plodiny mezi léty 1961–1990 a 1991–2014. Tyto trendy jsou nezávisle potvrzeny v řadě dalších prací. Tato situace se projevuje i v oblasti střední Evropy a adaptační opatření k jejímu řešení musí mimo jiné směřovat k zavlažování nejen zahrad, skleníků a travnatých hřišť, ale namístě je úvaha o dostupnosti vodních zdrojů v krajině obecně. V případě zemědělské krajiny pak jde o využití závlah pro stabilizaci zemědělské produkce (zejména speciálních kultur) a pro vybrané účely (školky) i v lesnictví.

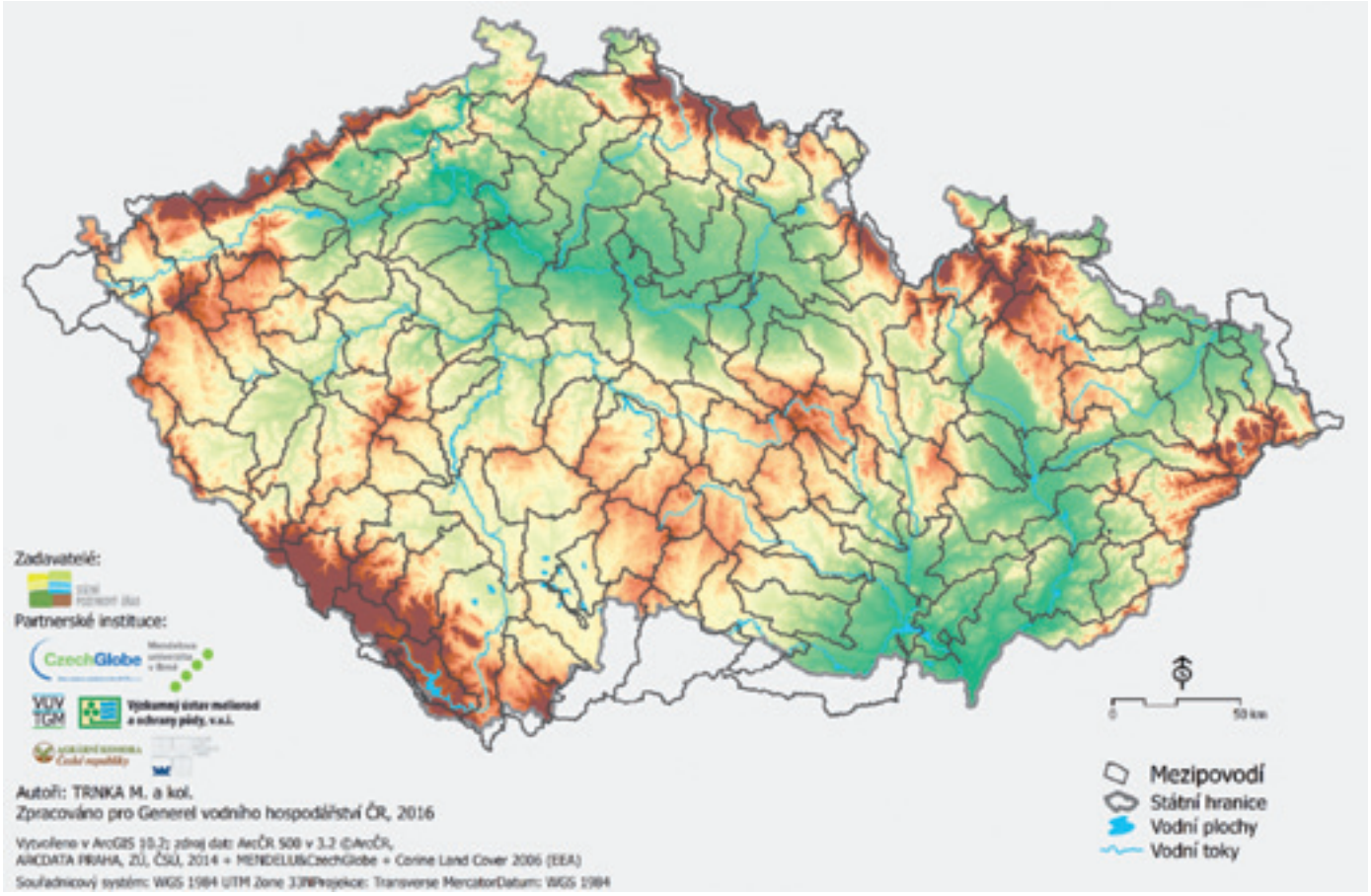
V této situaci je naléhavě třeba zjistit, zda zdroje vody v České republice umožní v současné době závlahu ve všech oblastech, které zavlažování potřebují. S ohledem na naléhavost řešení této problematiky je tudíž třeba nejprve vyčíslit potřeby vody pro závlahy a tyto potřeby pak porovnat s kapacitami disponibilních vodních zdrojů. Současně je třeba věnovat zvýšenou pozornost možnostem rozšiřování kapacit vodních zdrojů, a to nejen budováním nových nádrží na vodních tocích, ale i úspornějším hospodařením s vodou, zřizováním racionálních převodů vody mezi povodími, event. i úvahách o zřízení kanálu Dunaj – Odra – Labe, který může potenciálně sloužit nejen jako vodní cesta, ale současně i jako významný zdroj vody pro závlahy.

Cílem toho příspěvku je představit pokus o ucelené zmapování dostupných zdrojů vody využitelných pro zemědělské hospodaření tedy zejména pro závlahy na území ČR a je určena pro rámcové vyhodnocení této problematiky. Konkrétní rozhodnutí musí být provedeny podstatně detailnějším způsobem a iterativně než tato rámcová studie. Nicméně již tento příspěvek obsahuje poměrně detailní podklady, které umožňují získat velmi dobrou představu o:

- Klimatických podmínkách podmiňujících potřebu vodních zdrojů v zemědělství a jejich očekávané změně v období 2021–2040;
- Rámcové srovnání dostupných vodních zdrojů a odhadovaných závlahových potřeb.



Mapa 1. Počet dní s výskytem nedostatku vláhy na území ČR. (Dle Generelu vodního hospodářství krajiny ČR. Státní pozemkový úřad, 2015)



Mapa 2. Hranice tzv. mezipovodí, které byly uvažovány v rámci studie. (Zdroj: VÚV)

Metodika

Tato práce se mimo jiné opírá o odhad budoucího vývoje klimatu v České republice pro období roků 2021–2040 připravený týmem Ústavu pro výzkum globální změny pro období 2021–2040 a vychází z emisního scénáře RCP 4.5. Současně je založena na odhadech týmu Výzkumného ústavu vodohospodářského o budoucím vývoji hydrologických charakteristik, zejména odtoků z povodí a průtoků ve vodních tocích v České republice pro současnost (1981–2015) a období roků 2021–2040. V práci je použit přibližný odhad plošného rozsahu zemědělských pozemků s možností zavlažování plodin existujícími/bývalými závlahovými stavbami (dále jen zavlažovatelné gridy) na území České republiky zpracovaný týmem Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, v.v.i., který byl pro potřeby této studie dále upraven na základě poznatků „Studie ověření stavu závlahových systémů a jejich inventarizace". Významnou měrou se na zpracování podílel i Český hydrometeorologický ústav a to jak poskytnutím nutných klimatických a hydrologických dat pro kalibraci modelů. Na přípravě se kormě autorů podíleli konzultačně i externí spolupracovníci Vysokého učení technického v Brně (Doc. S. Korsúň a Ing. P. Spitz).

V prvním kroku byla vypočtena vláhová bilance, a to jak pro běžný rok, tak pro 5 a 10 letou jistotu a to pro celý rok a klíčové části vegetačního období zejména pak období od dubna do června a od července do září. Jednalo se o rozdíl sumy srážek za dané období a referenční evapotranspirace vypočtené dle Penman-Monteithovy metody s pomoci programů SoilClim (www.intersucho.cz) a podobného modelu AVISO provozovaného ČHMÚ. S ohledem na význam tohoto výpočtu byly použity dvě nezávislé metody stanovení klimatologické vodní bilance (s ohledem na rozsah jsou prezentovány pouze výsledky modelu SoilClim). Následně byl proveden i výpočet aktuální evapotranspirace a stanovena potřeba vodních zdrojů pro více než v případě výpočtu programem SoilClim byl výpočet proveden v gridu 500x500 m s uvážením vlivu 20 různých plodin a trvalých kultur, což rovněž modul programu SoilClim umožňuje. Při výpočtu referenční evapotranspirace byl uvažován vliv expozice, sklonu a překážek horizontu na radiační bilanci. Při výpočtu aktuální evapontranspirace a závlahové potřeby se vycházelo z reálných půdních podmínek, dynamiky fenologického vývoje, charakteru sněhové pokrývky a dalších parametrů, které umožnili velmi robustně stanovit potřebu vodních zdrojů v rámci každého povodí.

Pro celé území ČR (každý z gridů) byly všechny parametry vypočteny z denních dat pro období 1981–2015 a dále pak pro období 2021–2040 na základě odhadu pěti globálních cirkulačních modelů. Ty reprezentují jak pomyslný střed rozsahu změn teplot a úhrnů srážek (IPSL), tak modely předpokládající spíše mírný nárůst srážek (CNMR a MRI) resp. pokles srážek (HadGEM, BNU) ve vegetačním období a liší se i mírou nárůstu teplot. Modely HadGEM a CNMR zastupují modely s větším nárůstem teploty a modely MRI a BNU spíše s menším nárůstem teplot. Očekávané změny lze u jednotlivých modelů popsat takto:

IPSL (verze IPSL-CM5A-MR) – země původu: Francie; model reprezentující medián modelů použitých v poslední zprávě Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) nejlépe;

HadGEM (verze HadGEM2-ES) – země původu: Velká Británie; model reprezentující výraznější změnu rozložení srážek v našem regionu (úbytek letních a podzimních srážek a nárůst jarních srážek). Předchozí verze tohoto modelu byly použity ve většině studií na našem území citovaných mezivládním panelem pro změnu klimatu;

CNRM (verze CNMR-CM5) – země původu: Francie; model s podobnou změnou teplot jako HadGEM, ale nárůstem srážek ve všech měsících zejména na jaře a na podzim; předchozí verze tohoto modelu byla použita jako hlavní řídící model tzv. Pretelovy zprávy z roku 2011;

BNU (verze BNU-ESM) – země původu: Čína; reprezentuje GCM modely předpovídající pro naše území relativně nižší nárůst teplot a redukci srážek ve všech měsících kromě léta;

MRI (verze MRI-CGCM3) – země původu: Japonsko; reprezentuje GCM modely předpovídající pro naše území relativně nižší nárůst teplot a nárůst srážek s výjimkou konce léta a podzimu.

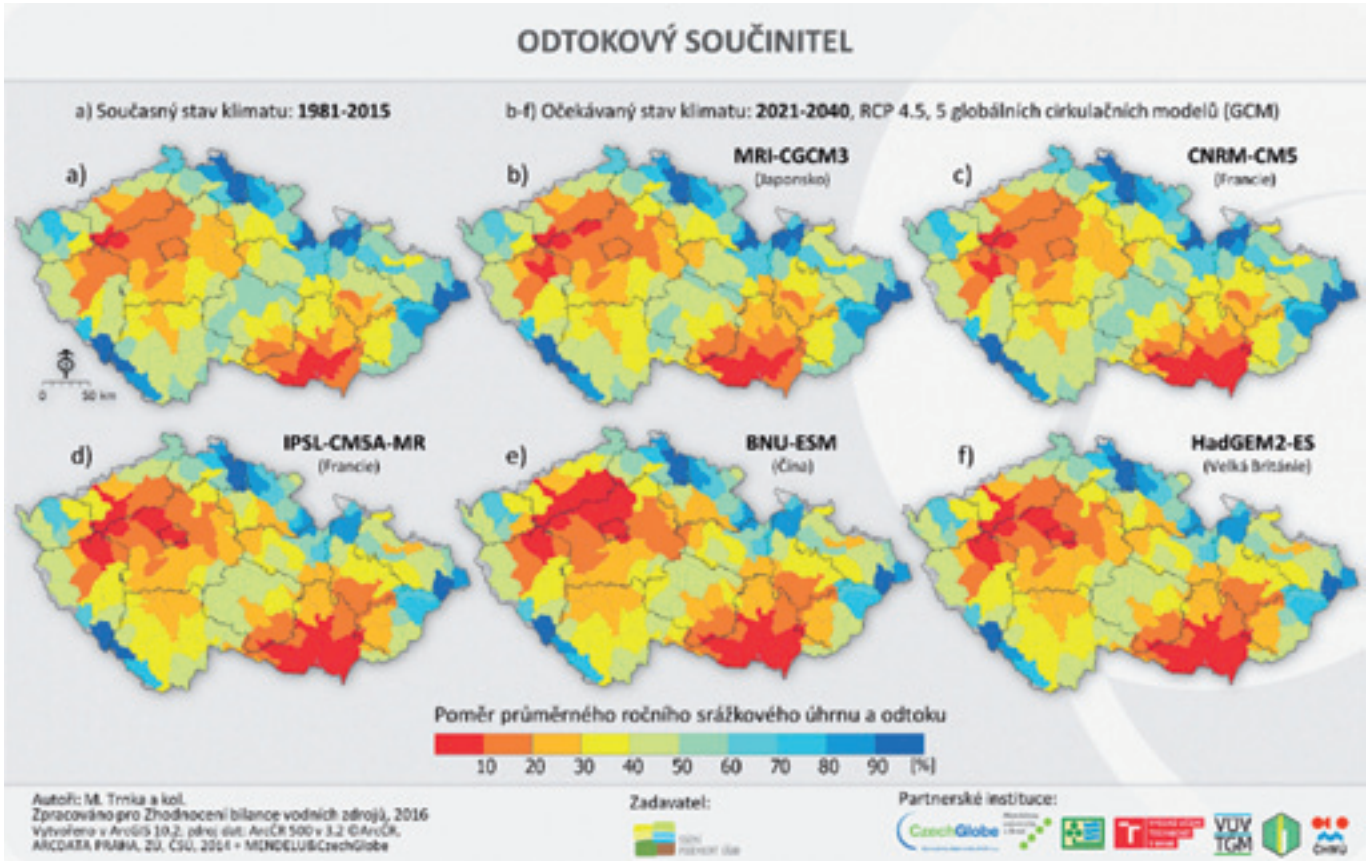
Pro každé mezipovodí (viz. Mapa 2) byla nejprve využita data z výpočtů dostupné vody v m/s u VUV ve variantě počítající s tím že s vodou je hospodařeno v celé soustavě (tedy máme k dispozici vodu z nádrží i z povodí výše po proudu). Z tohoto disponibilního množství bylo odečteno 20 % na pokrytí ztrát při dopravě vody na zavlažované pozemky. Postupným iterativním výpočtem byla v každém mezipovodí dostupná voda rozdělena pro jednotlivé gridy a to tak, že nejprve byla voda distribuována na zavlažovatelné gridy, a to podle bonity půdy. Pokud voda v daném mezipovodí postačovala na pokrytí požadavků všech zavlažovatelných gridů, byla následně vláha distribuována na další gridy opět podle bonity. Výsledkem výpočtu pak byla potenciálně zavlažovatelná plocha a to jak v běžném roce, tak v případě 5 a 10 letého sucha. Samotný výpočet potřeby vody je dynamický a vychází z analýzy potřeby vláhy dané komodity v kořenové vrstvě. Závlaha je indikována v případě, že půdní vlhkost v kořenové vrstvě klesne pod 0,3. V případě kdy efektivita závlahy pro danou komoditu je v daném týdnu větší než Českou státní normou definovaná hodnota, tak je úroveň půdní vlhkosti držena na úrovni rovné nebo vetší než 0,5 a potřeba závlahy tak roste. Pro každou komoditu a každé mezipovodí byla pro období 1981–2015 odhadnuta potenciálně zavlažovatelná plocha a to podle dostupných zdrojů v běžném roce a v případě 5 a 10. letého sucha. Pro období 2021–2040 pak byla odhadnuta změna v potenciálně zavlažovatelné ploše. Je evidentní, že potenciálně zavlažovatelná plocha v očekávaných klimatických podmínkách ve většině mezipovodí klesá a to poměrně výrazně. V některých případech dochází k tomu, že v případě 10 letého sucha zdánlivě dostupnost vody neklesá, nicméně je třeba si uvědomit, že rozloha zavlažovatelné plochy se v řadě povodí blíží nule a pokud by došlo k rozhodnutí zvýšit spotřebu vody pro zemědělské účely, okamžitě by se na to projevilo.

Alternativní výpočet pak jako vstup pro objem dostupné vody využil variantu výsledků modelu BILAN kdy bylo pracováno pouze s vodními zdroji, které jsou k dispozici v jednotlivých mezipovodích.

Výsledky

Je evidentní výrazný nedostatek vláhy ve větším počtu mezipovodí, zvláště pak těch které leží na dolních částech toků, neboť se jedná o oblasti nízk**ým odtokovým součinitelem (Mapa** 3).

Z analýzy dostupných vodních zdrojů a potřeby vody vyplývá, že není možné závlahovou potřebu v mezipovodích **v oblasti jižní Moravy a severozápadu Čech i v** Polabí zcela uspokojit ani v běžném roce ze zdrojů z těchto mezipovodích samotných. Disponibilních zdrojů, které by mohly být využity pro závlahy je méně než 25 mm ročně. Dostupnost zdrojů dále zásadně klesá v případě 5 a 10. letého sucha. Změna klimatu se projevuje u většiny scénářů poměrně výrazným poklesem ročních odtoků zvláště pak v oblasti jižní Moravy a oblastí mezi Krušnými horami a Vltavou. Současně dochází ke snižování dostupné vody i v povodích ve vyšších polohách což odpovídá celkovému poklesu disponibilních vodních zdrojů. Jako velmi názorné se jeví znázornění výsledků na mapě 3, která zachycuje podíl povrchového odtoku na celkovém úhrnu srážek v jednotlivých mezipovodích. S měnícím se klimatem lze

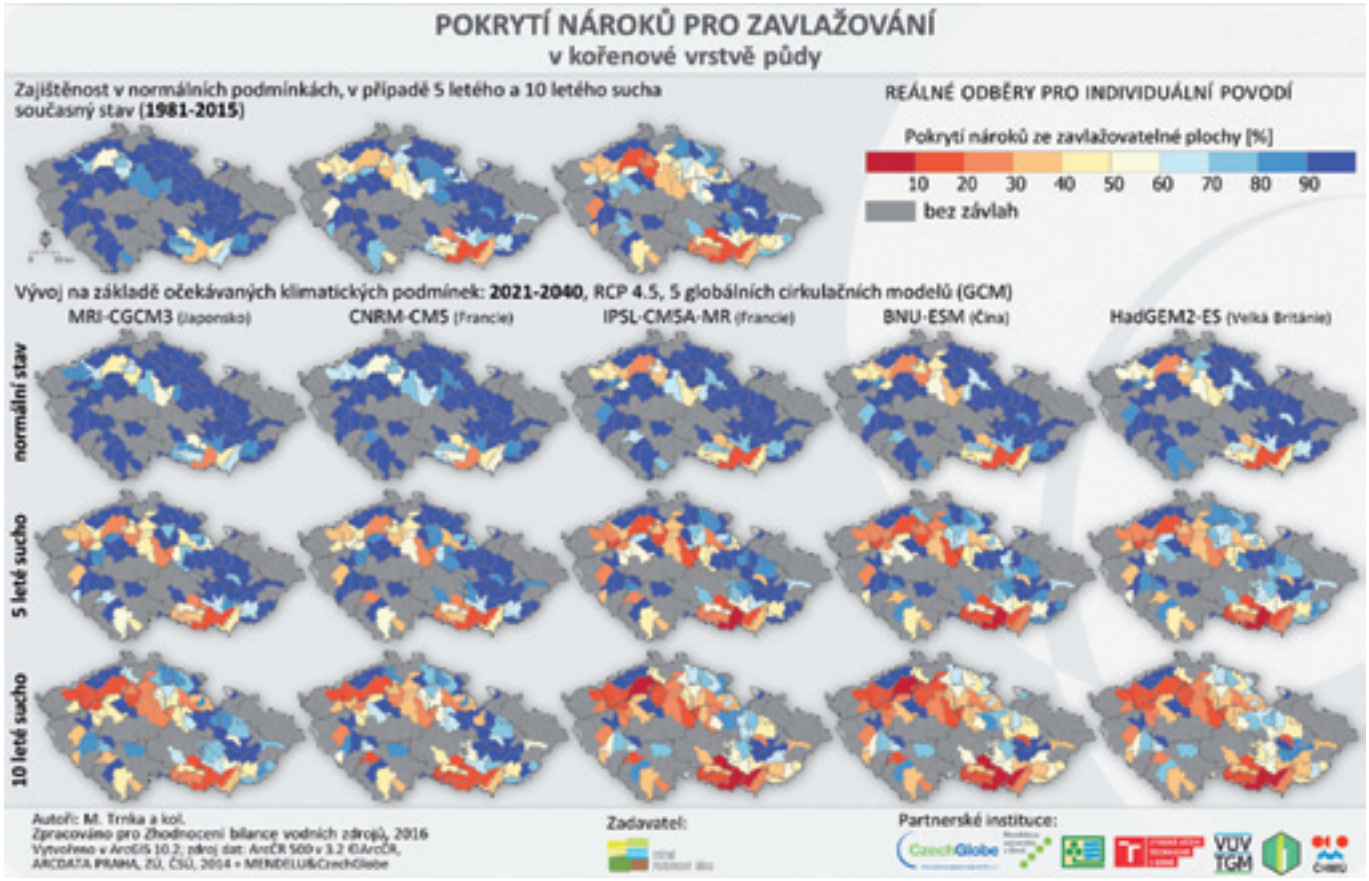


Mapa 3. Odtokový součinitel tj. poměr povrchového odtoku a úhrnu srážek z mezipovodí za období leden–prosinec pro běžný rok (a) pro současné klimatické podmínky (1981–2015) a očekávané v období 2021–2040 pro 5 GCM modelů (b-f)

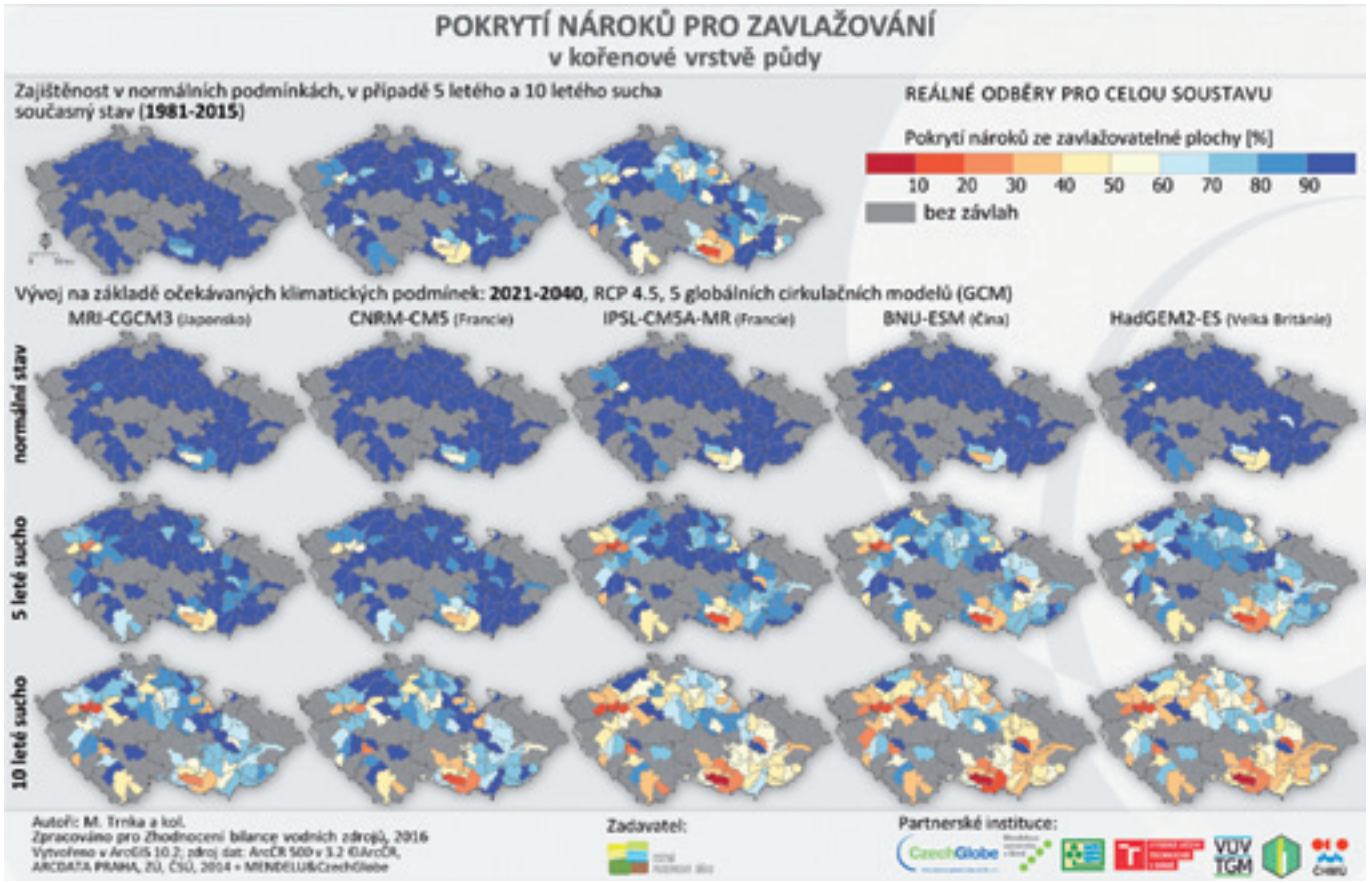
očekávat výrazné snížení poměru povrchového odtoku a srážek a to v průměru o 10 %. Počet mezipovodí **v kategorii s extrémně nízkým povrchovým odtokem (do 10** %) se prakticky zdvojnásobuje a dochází k výraznému snižování odtokového součinitele i ve středních polohách (např. Českomoravská vrchovina). Uvážíme-li, s jakými problémy, pokud jde o dostupnost vodních zdrojů, se potýká v současné době oblast Rakovnicka, je zřejmé, že velmi pravděpodobné rozšíření oblastí s nízkých podílem povrchového odtoku, bude znamenat dosti významný zásah do hydrologických poměrů na vodních tocích. A to nejen na tocích tzv. vodohospodářsky významných, ale také na drobnějších tocích.

Po zjištění potřeby závlahové vody pro jednotlivá mezipovodí a kritickém zhodnocení informací o dostupných vodních zdrojích, jsme se pokusili odhadnout stupeň pokrytí závlahových potřeb vodními zdroji. Protože je relativně obtížné z aktuálně dostupných dat specifikovat zastoupení plodin, které by byly zavlažovány a jejich zastoupení na uvažované zavlažované ploše, byla závlahová potřeba vypočtena jako průměr ze závlahové potřeby celého portfolia 22 plodin/kultur a to se stejnou váhou přisouzenou každé z plodin. Tento postup je pro odhad dostatečně přesný, neboť ačkoliv existují rozdíly mezi potřebami jednotlivých plodin, nejde o rozdíly řádové a tato průměrná hodnota velmi dobře reprezentuje složení plodin, které připadá pro zavlažované plochy v úvahu. Při stanovení závlahové potřeby bylo v souladu s ČSN zvýšeno požadované množství o 20 % pro pokrytí ztrát vody a byla kalkulována závlaha postřikem. Ačkoliv pro řadu komodit je tato technologie překonaná a dá se očekávat její nahrazení, není použitelná u všech komodit a zaručuje zvýšení efektivity v řádu maximálně desítek procent nikoliv změny řádové, které by zásadně změnily výsledky výpočtů. Pro odhad potřeby závlahy byla kalkulována dostupnost vláhy v celém aktuálním kořenovém profilu, který se měnil dynamicky v závislosti na době vegetace. Alternativně jsou k dispozici odhady pro vláhové potřeby při zavlažování na základě vlhkosti ve fixně stanovené povrchové vrstvě půdy (0–40 cm), nicméně tyto výstupy pro zachování přehlednosti neprezentujeme. Vláhová potřeba byla stanovena pro každý z měsíců časových řad 1981–2015 a 2021–2040 (tedy pro 420 resp. 240 měsíců) na základě denních simulací každé z plodin a to v každém z uvažovaných mezipovodí při uvážení půdních, terénních a samozřejmě meteorologických podmínek a s dynamicky se vyvíjecími parametry vegetačního krytu a kořenové soustavy. Tyto denní odhady byly agregovány do měsíčních hodnot vláhové potřeby tak aby mohly být následně porovnány s dostupnými vodními zdroji.

Základním cílem této úlohy bylo odhadnout, nakolik je možné zajistit vodou gridy s již vybudovanými (provozovanými i neprovozovanými) závlahovými systémy. Nejprve byly závlahovou vodou uspokojeny všechny gridy v nejníže ležícím mezipovodí a následně bylo stejně postupováno u dalšího mezipovodí dokud byly zdroje vody dostupné. Alternativně byla uvažována situace, kdy byly uspokojovány potřeby pouze z vodních zdrojů v rámci každého mezipovodí. Tak bylo možné stanovit jak potenciální výměru, kterou je možné zavlažovat jak z vlastních zdrojů každého mezipovodí, tak ze zdrojů celé integrované soustavy. Následně bylo možné určit chybějící vodní zdroje v mil. kubických metrů na rok pro jednotlivá povodí a celou soustavu a v konečném kroku pak procento, z kterého je možné pokrýt závlahovou potřebu dostupnými vodními zdroji (Mapy 4–5). Naše odhady zachycují jak současný stav pro běžný rok a také 5 a 10 leté sucho tak odhad pro období 2021–2040 podle 5 GCM modelů. Výsledky pro individuální povodí jednoznačně ukazují na absenci vodních zdrojů v těchto oblastech a nemožnost zajistit vláhovou potřebu v současných podmínkách v běžném roce z vlastních zdrojů zvláště na dolním toku Dyje. V tomto ohledu je evidentní pozitivní role hospodaření ve vodohospodářské soustavě, kdy je běžném roce v zásadě možné pokrýt potřeby všech gridů s existující závlahovou infrastrukturou z 90 % s existujícími deficity v běžném roce na Znojemsku (cca



Mapa 4. Procento pokrytí nároků existujících závlahových soustav (v %) při využívání vodních zdrojů na úrovni mezipovodí pro období 1981–2015 a 2021–2040 (5 GCM modelů) a to pro běžný rok, 5 a 10 leté sucho



Mapa 5. Procento pokrytí nároků existujících závlahových soustav (v %) při využívání vodních zdrojů v celé vodohospodářské soustavě pro období 1981–2015 a 2021–2040 (5 GCM modelů) a to pro běžný rok, 5 a 10 leté sucho

2 mil. kub. metrů) a na Rakovnicku. Nicméně výskyt 5 letého sucha vede ke vzniku deficitu přibližně ve 20 mezipovodích a v případě 10 letého sucha je deficitem zasažena většina mezipovodí v nichž je závlahová infrastruktura. Klimatická změna pokrytí závlahových potřeb výrazně zhoršuje (Mapy 4–5) a dochází k dramatickému nárůstu, které není schopná současná vodohospodářská infrastruktura schopná krýt. Jako rizikové regiony kde již nyní existuje nedostatek zdrojů v případě, že by byly závlahy obnoveny v plném rozsahu, se jeví oblast jižní Moravy a oblasti Rakovnicka a Lounska. Ve výhledu na období 2021–2040 se však dostupnost vodních zdrojů pro závlahy zvláště v případě 5 a 10 letého sucha jeví jako více než problematická pro většinu mezipovodí, kde jsou nebo byly v minulosti závlahy intenzivně využívány a nyní se uvažuje o jejich obnově.

Závěrem

Hlavní závěry lze formulovat takto:

- V současných klimatických podmínkách a v běžném roce lze z existujících vodních zdrojů (a za současné úrovně ostatních odběrů) zajistit alespoň z 90 % odběry vody pro již vybudované závlahové soustavy (v původním rozsahu 159 000 ha) s výjimkou některých mezipovodí v povodí Dyje (Mapa 5).
- V případě výskytu sucha s pravděpodobností 5 let není možné uspokojit nároky na vodní zdroje v povodí Dyje (jižní Morava) a v oblasti Rakovnicka a Lounska (střední Čechy). V případě výskytu sucha s pravděpodobností 10 let se projeví výrazné problémy i v řadě mezipovodí v oblasti Horního Labe a Horní Vltavy (Mapa 5).
- Změna klimatických podmínek představuje zásadní problém a v zásadě přiblíží podmínky běžného roku v období 2021–2040 podmínkám 5 letého sucha v referenčním období 1981–2015 (Mapa 5).
- Potřeby vody nezbytné k pokrytí závlahových potřeb v očekávaných klimatických podmínkách mírně až významně rostou podle všech pěti klimatických modelů.
- Disponibilní zdroje vody sice teoreticky mnohonásobně převyšují aktuální závlahové potřeby, avšak podle většiny scénářů tento „přebytek“ bude výrazně redukován. Například v současné době teoreticky dostupné (avšak technicky nevyužitelné) množství vody v případě tzv. 10 letého sucha v povodí Dyje přesahuje 10 x potenciální potřebu vybudovaných závlahových soustav. Tento „převis“ se ale v období 2021–2040 sníží podle 3 z 5 modelů na polovinu tj. 5 násobek a podle dalších dvou („vlhkých“ modelů MRI a CNMR bude redukován 8–9 násobek tj. o 10 až 20 %. Tento „přebytek“ je ale pouze teoretický a je současnou vodohospodářskou soustavou nevyužitelný. Proto je nutné zvážit, kde a o kolik má být alokace vodních zdrojů pro zemědělství zvýšena a zvážit adaptaci vodohospodářské infrastruktury.

Poděkování

Tento příspěvek vychází ze studie „Bilanční hodnocení zdrojů a potřeb vody s ohledem na závlahové systémy” podpořené Státním pozemkovým úřadem. Modifikace modelu SoilClim byla vytvořena v rámci projektu NAZV “Systém pro monitoring a předpověď dopadů zemědělského sucha” (č. QJ1610072) a projektu Interreg „DriDanube – Riziko sucha v povodí Dunaje“ (č. DTP-1-182-2.4). Příspěvek čerpal ze zkušeností laskavě poskytnutých Ing. Pavlem Spitzem, CSc. a Doc. Ing. Svatoplukem Korsuněm, CSc. a z podpory pověřených pracovníků podniků povodí, podílejících se na výše uvedené studii, kterým tímto děkujeme.

VLÁHOVÁ BILANCE JAKO UKAZATEL DOSTUPNÉ VODY V KRAJINĚ

Jaroslav Rožnovský[1,2], **Filip Chuchma**[1], **Rostislav Fiala**[1], **Mojmír Kohut**[1]

[1]*Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno*
[2]*Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Zemědělská 1, 613 00 Brno*

Abstrakt

Proměnlivost našeho počasí roste, a tím se také zvyšuje frekvence výskytu povodní i sucha. Zvláště zvýšení četnosti sucha je varující s ohledem na nedostatek vody ve všech směrech. Pro charakteristiku výskytu sucha, tedy nedostatku vody v krajině, jsme zvolili vypočtenou hodnotu zásoby využitelné vody v půdě, tedy metrové vrstvy půdy s travním porostem (dále jen ZVVP_TP). Průběh hodnot ZVVP_TP v roce 2017 postupně klesal od takřka nasycení profilu na celém území ČR na hodnotu pod 10 % již v průběhu července na jižní Moravě.

Klíčová slova: *vláhová bilance; zásoby využitelné vody v půdě; sucho.*

Abstract

The variability of weather increases and this also results in higher frequency of droughts and floods. In particular the increased occurrence of drought is alarming due to the general insufficiency of water. The characteristic of drought occurrence, i.e. the insufficiency of water in landscape, used in this paper was the calculated value of available water in soil – one meter thick soil layer with grass cover (hereafter ZVVP_TP). The progress of ZVVP_TP value in 2017 shows a gradual decrease from almost saturated profile in the entire Czech Republic region, down to values below 10% already in July in South Moravian region.

Keywords: *water balance; available water in soil; drought.*

Úvod

Sucho se na našem území vyskytuje nepravidelně v období podnormálních až výrazně podnormálních srážek s trváním od několika týdnů až po extrémně několik měsíců. Srážkový deficit ve vegetačním období bývá velmi často doprovázen nadnormálními až výrazně nadnormálními teplotami vzduchu, nižší relativní vlhkostí vzduchu, zmenšenou oblačností a vyšším počtem hodin slunečního svitu [2]. Je známo, že úhrny srážek jsou jediným zdrojem vody pro naši krajinu. Ovšem přesto, že se používá k vyjádření sucha pouze úhrn srážek, není to zcela vhodná charakteristika. Skutečné množství podzemní, povrchové, podpovrchové a půdní vody je však dáno hodnotami jednotlivých složek oběhu vody v přírodním prostředí [1]. Pro určení výskytu či intenzity sucha se využívá zjednodušená vodní bilance založená na vzájemném rozdílu úhrnů srážek a potenciální evapotranspirace. Tento označujeme jako základní (potenciální) vláhovou bilanci, která svými hodnotami umožňuje hodnotit také výskyty sucha v krajině [3].

Změně klimatu je přičítáno, že se zvyšují četnosti výskytů extrémních stavů počasí. Jde o mimořádně vysoké úhrny srážek a následně výskyt plošných povodní v letech 1997, 2002 a díky rychlému tání vysoké sněhové pokrývky i v roce 2006. Rok 2010 byl srážkově nadnormální s výskytem vyššího počtu lokálních povodní z přívalových dešťů. Opakem jsou mimořádně nízké úhrny srážek, a tím výskyty mimořádného sucha, a to v letech 2000, 2003, 2007 (jižní Morava), 2012, 2015 a 2017.

Je nutné připomenout, že výskyty sucha jsou u nás nahodilé, a proto je velmi obtížné jejich výskyt předpovídat. Tímto se stávají o to škodlivější, protože přichází neočekávaně v různých ročních obdobích.

Množství vody v naší krajině je v prvním kroku dáno průběhem počasí, ale o jejím dalším výskytu významně rozhodují vlastnosti našich půd, zvláště jejich infiltrační kapacita [5]. Údaje o zásobě využitelné vody v půdě považujeme za vhodný ukazatel predikce možného nedostatku vody v krajině.

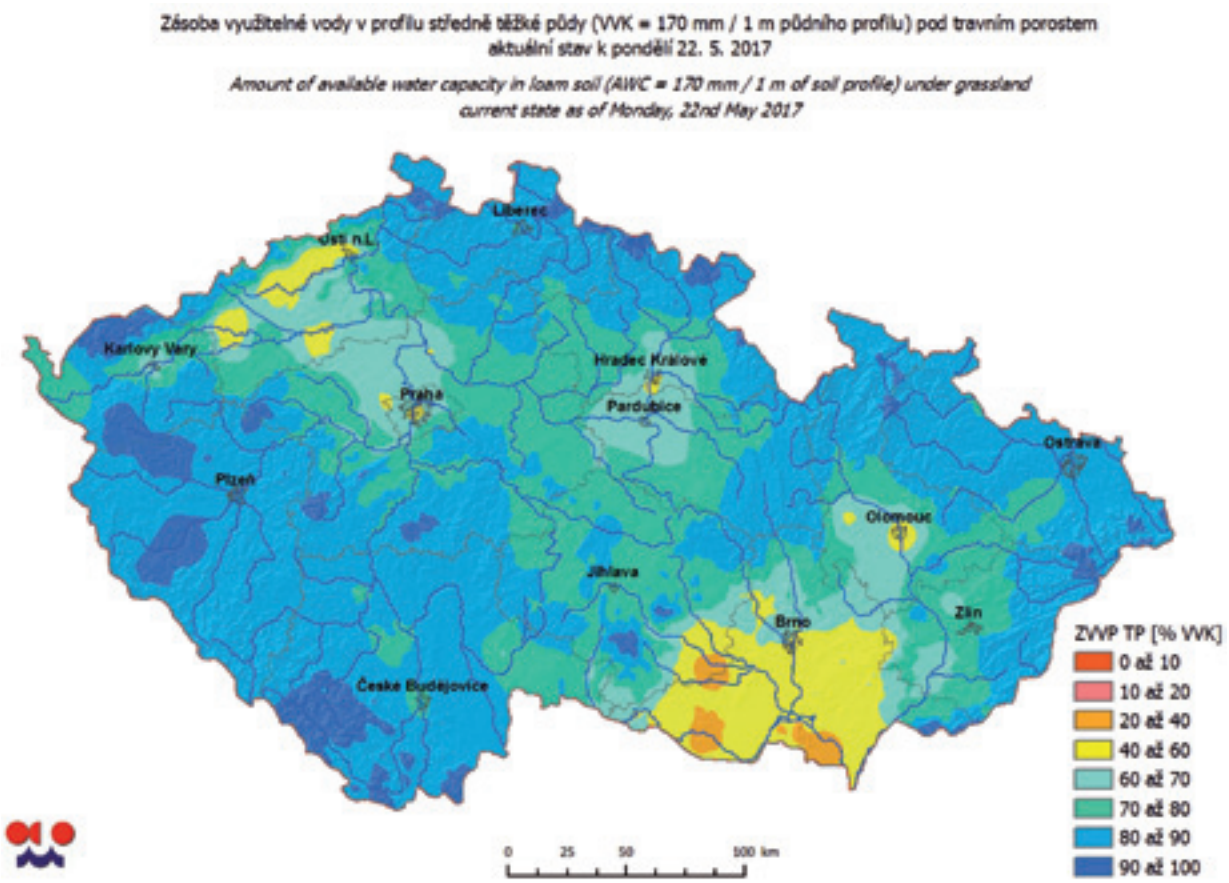
Materiál a metody

Výpočty jsou prováděny pomocí agrometeorologického modelu AVISO („Agrometeorologická Výpočetní a Informační Soustava“) na Českém hydrometeorologickém ústavu, dále jen ČHMÚ, pobočce Brno. Evapotranspirace je modelově počítána v denním kroku modifikovaným postupem podle algoritmů Penman-Montheith [6]. Pro výpočty je využíváno meteorologických prvků (teplota a vlhkost vzduchu, doba slunečního svitu a rychlost větru, z takřka dvou set klimatologických stanic v denním kroku [4], [7].

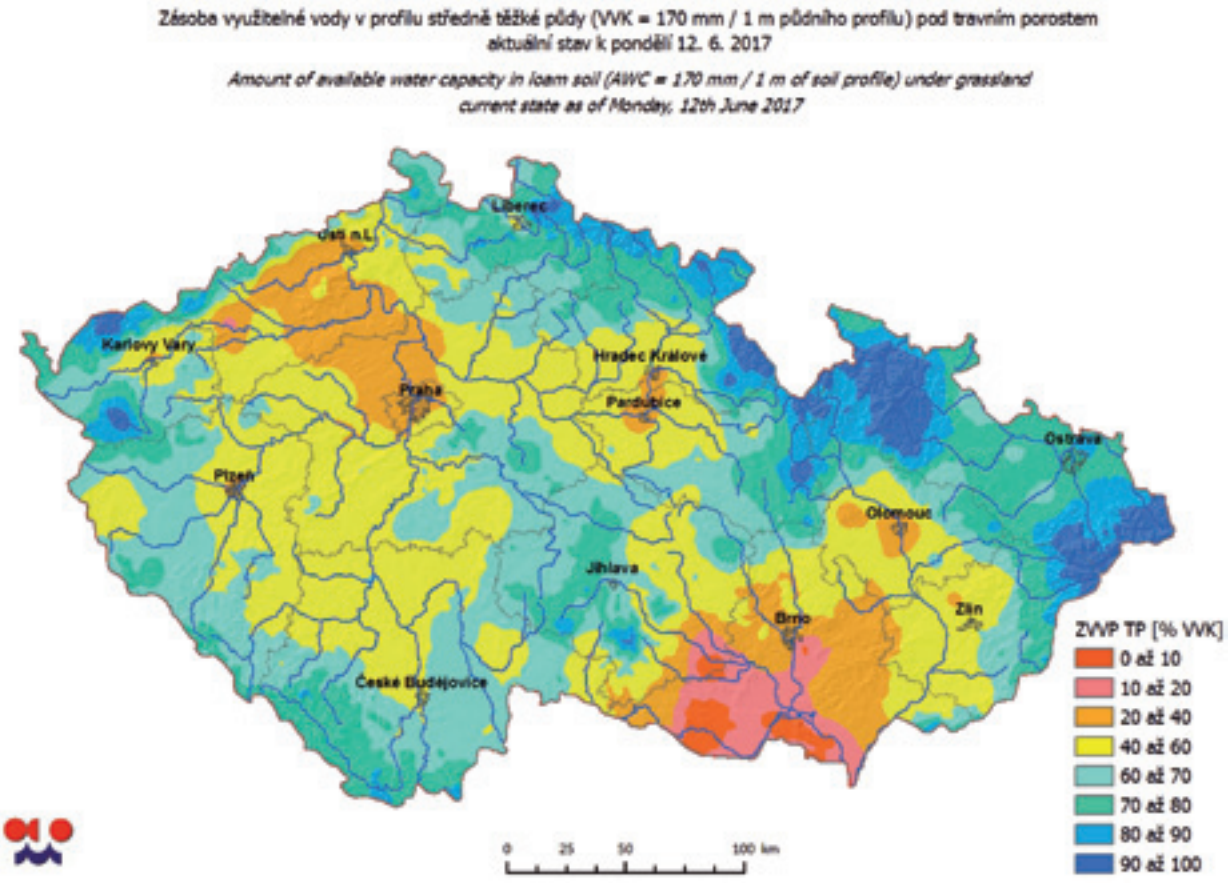
Základním výstupem aplikovaného modelu AVISO jsou denní údaje aktuálního vláhového deficitu v mm. Jedná se o nedostatkové množství využitelné vody v půdě v mm, chybějící do plné vodní kapacity půdy. Jednoduchým přepočtem se za předpokladu VVK = 170mm/1m půdního profilu dostáváme k jednotce % VVK, pomocí níž jsou provedena další hodnocení. Takto je vypočítávána **zásoba využitelné vody v půdě,** tedy metrové vrstvy půdy, s travním porostem (dále jen ZVVP_TP). Tato speciální hydropedologická charakteristika určuje množství půdní vody, které je k dispozici mezi základními hydrolimity (bod vadnutí a polní vodní kapacita půdy, dále jen PVK) a označuje se jako využitelná vodní kapacita půdy (dále jen VVK). Jde o velmi složité podmínky v půdě, proto musí být provedeno jisté zjednodušení. Předkládané hodnocení je založeno na hydrolimitu VVK = 170 mm/1m půdního horizontu. Z hlediska půdních druhů se jedná o půdy středně těžké, které na území ČR převládají.

Výsledky

Hodnoty ZVVP_TP se budou během roku postupně měnit, tedy v průběhu vegetačního období klesat, což je dáno rostoucí evapotranspirací díky růstu rostlin, ale také vzestupem teploty vzduchu. Je



Obrázek 1. Zásoba využitelné vody na středně těžkých půdách (VVK = 170mm / 1m půdního profilu) pod travním porostem na území ČR, aktuální stav k 22. 5. 2017



Obrázek 2. Zásoba využitelné vody na středně těžkých půdách (VVK = 170mm / 1m půdního profilu) pod travním porostem na území ČR, aktuální stav ke 12. 6. 2017

logické, že čím jsou nižší hodnoty ZVVP_TP, resp. nižší procentuální podíly ZVVP_TP, tím je vyšší pravděpodobnost výskytu nepříznivých půdně-vlhkostních podmínek a tedy vyšší pravděpodobnost výskytu možného půdního sucha. Za výskyty sucha bereme pokles pod hodnotu 25 %.

Jako příklad průběhu ZVVP_TP jsme vzali rok 2017, který se opět projevil na mnoha místech našeho území jako mimořádně suchý. V závěru zimy byl metrový profil půdy nasycen, tedy bylo dosaženo 100 % využitelné vody v půdě. Ale již v první dekádě března dochází na nejjižnější části Znojemska, ve středních Čechách a západně od Pardubic k poklesu na 70 až 80 %. Průběh počasí v březnu způsobil, že obsah vody v půdě ve středních Čechách se poklesl na 80 až 90 %, ale hodnoty ZVVP_TP mezi 70 až 80 % se projevují takřka na celé jižní Moravě, lokálně kolem Olomouce a Zlína. Jestliže bereme duben jako první měsíc vegetačního období, potvrzuje se, že na jižní Moravě je duben často suchý. Plošná rozdílnost projevů počasí se v dubnu potvrdila. Převážná část našeho území má půdu takřka plně zásobenu vodou. Ovšem na jižní Moravě se prohlubuje deficit srážek, takže jsou zde místa zcela na jihu, kde je pouze 40 až 60 % ZVVP_TP. Pokles hodnot ZVVP_TP se objevuje v Podkrušnohoří, a to na 70 až 80 %.

Díky nepravidelnému rozložení srážek a místy velmi nízkému či žádnému úhrnu, dochází v průběhu května k velkým rozdílům. Přitom dostatek vody má pro většinu zemědělských plodin rozhodující význam.

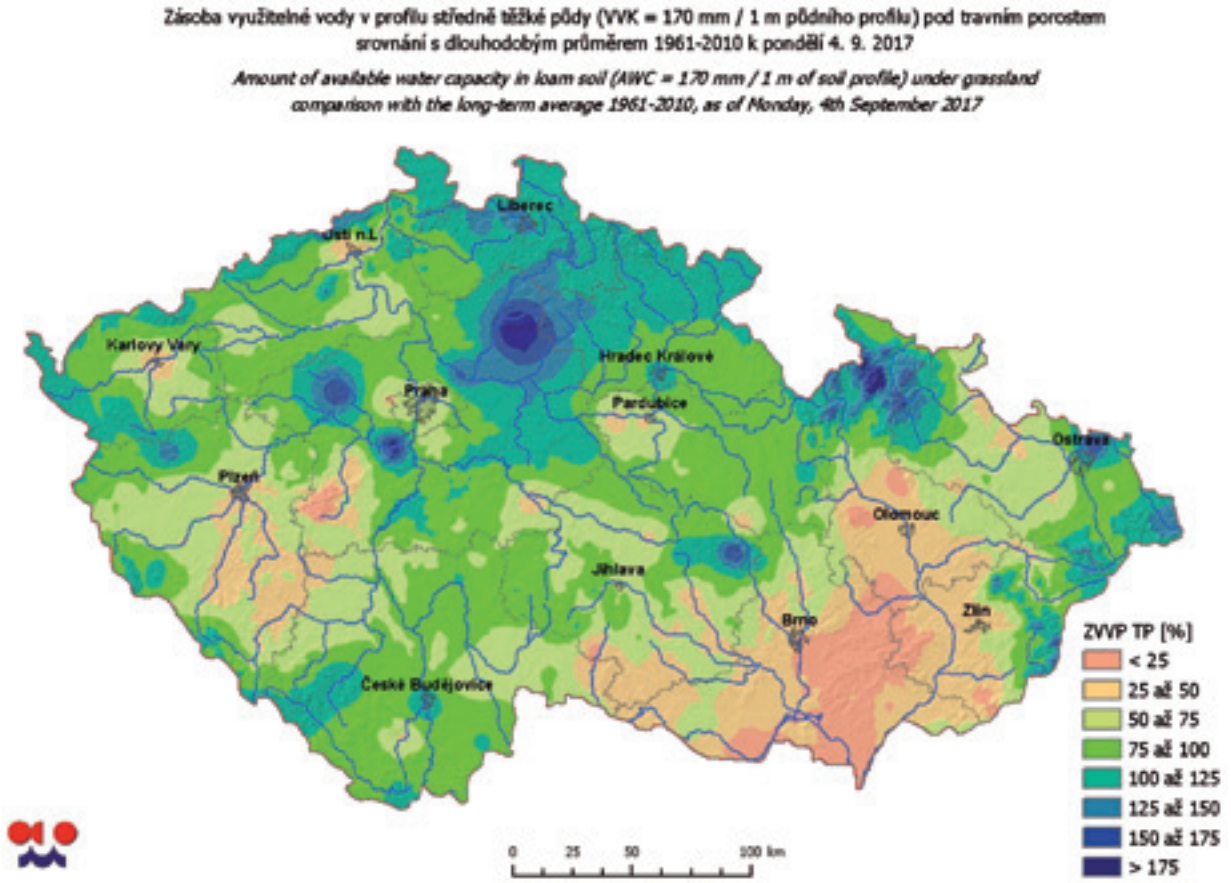
Jak vidíme na Obr. 1, dochází k propojování oblasti Podkrušnohoří se středními Čechami a s výběžkem až ke Karlovým Varům, kde ZVVP_TP klesá na 60 až 70 %, místy však na 40 až 60 %, podobně je to v rozsáhlé oblasti kolem Pardubic až k Hradci Králové. Podobně se zvětšuje oblast kolem Olomouce, která se v jižním směru spojuje s jižní Moravou. Na té se však jižně od Brna v okrese Brno – venkov, ale také na okresech Znojmo, Břeclav a Hodonín projevuje pokles na 20 až 40 %.

Počátkem června se výskyt sucha dále prohlubuje, takže v okresech Znojmo, Břeclav a Hodonín nacházíme lokality s hodnotami mezi 10 až 20 %. Již v následujícím týdnu absence srážek a vysoká teplota vzduchu způsobují, že v nejsušších oblastech klesá hodnota ZVVP_TP pod 10 %, ale dochází také k významnému rozšíření území, kde je ZVVP_TP v rozpětí 40 až 60 %, např. až do jižních Čech. Od středních Čech do Podkrušnohoří klesá vlhkost půdy na hodnoty 20 až 40 %. Podobně je to ve východních Čechách, v okolí Olomouce, ale i Zlína (Obr. 2).

Pokles hodnot ZVVP_TP pokračuje, takže v druhé polovině června je na větší části jižní Moravy pod 10 %, s touto hodnotou jsou i části území mezi středními Čechami a Podkrušnohořím. V podstatě kolem poloviny ploch zemědělských půd má hodnoty ZVVP_TP mezi 20 až 40 % a ostatní až na výjimky mezi 40 až 60 %. Vlivem srážek, hlavně bouřkového charakteru, se v první dekádě července plochy s nízkými hodnotami ZVVP_TP oproti druhé polovině června mírně mění. Hlavně na jižní Moravě se rozšiřuje oblast s hodnotou ZVVP_TP pod 10 % a postupuje směrem na sever, takže s minimálními hodnotami vlhkosti půdy se setkáváme i na střední Moravě.

Oblasti s nejnižšími hodnotami ZVVP_TP ani v počátku srpna významně neklesají. Obsah vody v půdě se zvyšuje na severu Čech i Moravy resp. Slezska, ale také na Vysočině, kde dosahují až přes 80 %. Výskyt srážek v první dekádě září sice snižuje plochu území s hodnotami ZVVP_TP mezi 40 až 60 %, ale jižní Morava má stále převážou část území pod 10 %. Tento stav zůstává až takřka do poloviny září, kdy díky srážkám se postupně zvyšuje obsah vody v půdě. Ovšem z hlediska zásobení krajiny vodou je tento stav nepříznivý. Pokud nedojde k dosycení srážkami v průběhu podzimu, jak tomu bylo v roce 2015, projevuje se sucho i v počátku následujícího roku.

Musíme však vycházet z toho, že průměrně činí podzimní srážky do 20 % ročního úhrnu, je malá pravděpodobnost, že podzimní srážky pokryjí vysoký deficit vzniklý v průběhu léta. Taktéž srážky



Obrázek 3. Zásoba využitelné vody na středně těžkých půdách (VVK = 170mm / 1m půdního profilu) pod travním porostem na území ČR, srovnání s dlouhodobým průměrem 1961-2010 k 3. 9. 2017

v průběhu zimy většinou vysoké deficity nepokryjí. Jednak jejich zastoupení v ročním úhrnu je mezi 15 až 17 %, takže musí jít o srážky vysoce nadnormální, ale další v podstatě negativním projevem jsou vyšší teploty v zimě. Díky nim se vyskytují v zimním období více srážky dešťově než sněhové, takže dochází k většímu povrchovému odtoku, a tím nižší nižšímu vsakování do půdy.

S ohledem na vyšší četnost výskytů sucha, tedy nízkých hodnot zvláště v posledních dvaceti letech, dostaneme odlišné rozložení ploch, když aktuální stav srovnáme s průměrnými hodnotami za období 1961 až 2010. Na těchto se projevují výskyty sucha, hlavně v posledních letech, takže na podstatné části našeho území jsou v průměru deficity zásoby využitelné vody v půdě. V pásu od jihu až po střední Moravu východně od Brna (Obr. 3) jsou plochy pod 25 % dlouhodobé hodnoty ZVVP_TP, je to nejsušší část našeho území. Na druhou stranu jsou lokálně výskyty ZVVP_TP i bohatě nad 100 % dlouhodobého průměru, zvláště v Podkrkonoší.

Závěr

Jeden ze základních výstupů výpočetního modelu AVISO je zásoba využitelné vody v metrové vrstvě půdy s travním porostem. Tento ukazatel bereme jako vhodný pro určení výskytu sucha, tedy nedostatku vody v krajině. Hodnoceno bylo období od ledna do září roku 2017. Potvrdilo se, že území ČR je z hlediska vláhové bilance velmi rozdílné. Vliv na toto rozložení má proměnlivý výskyt srážek, ale také hodnoty teploty vzduchu, které byly zvláště v letním období roku 2017 mimořádně vysoké. Sucho má určitý kumulativní charakter, v příhodných podmínkách se jeho intenzita a dopady s každým dnem zvyšují. Následky potom mohou trvat dlouhou dobu po jeho ukončení.

V hodnoceném období roku 2017 bylo možno sledovat velmi intenzivní projevy sucha na celém území ČR. Od zimního období, kdy byly zemědělské půdy nasyceny vodou, dochází postupně během vegetačního období k poklesu až pod 10 % ZVVP_TP. Na jižní Moravě se již v březnu projevuje pokles půdní vlhkosti. Tento pokračuje během dubna a poté hlavně v průběhu května a června dochází k poklesu hodnot vláhové bilance, což souviselo s výraznou převahou výparu (evaporace, evapotranspirace) nad úhrny srážek. Proto se v podstatě rychle snižují zásoby využitelné vody v půdním profilu.

Pro hodnocení množství vody v naší krajině se jeví hodnota zásoby využitelné vody v půdě jako vhodný ukazatel nejen z hlediska dostupnosti vody pro rostliny a možnosti odhadů výše úrody zemědělských plodin, ale také jako ukazatel pro odhad množství vody v nádržích, tocích a výšky hladiny podzemní vody.

S ohledem na výskyt vody v naší krajině bychom měli věnovat vývoji vláhové bilance větší pozornost, zvláště pak s ohledem na výskyt sucha. Dokladem je prokazatelně rostoucí teplota vzduchu, ale hlavně naše hospodaření v krajině, které v mnohém snižuje vsakování vody a naopak urychluje její odtok.

Poděkování

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

Literatura

[1] BRUTSAERT, W., 1982. Evaporation into the Atmosphere. Dordrecht: D. Reidel Publishing Co., pp. 299.

[2] KOHUT, M., ROŽNOVSKÝ, J., CHUCHMA, F. 2008: Vláhová bilance zemědělské krajiny. In: Rožnovský, J. – Litschmann, T. (ed): Sborník příspěvků z mezinárodní konference a CD ROM s články, *„Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině“*, Mikulov 9. 9.–11. 9. 2008, ČBkS, ČHMÚ, s. 35, CD ROM. ISBN 978-80-86690-55-1.

[3] KOHUT, M., 2005. Referenční evapotranspirace. In: Rožnovký, J. – Litschmann, T. (ed) Evaporace a evapotranspirace. Brno: Česká bioklimatologická společnost, s. 25–36, ISBN 80-86690-24-5

[4] MONTEITH., J.L. – UNSWORTH, M.H., 1990. Principles of Environmental Physics, London: Edward Arnold, 2nd ed., pp. 291.

[5] NOVÁK, V., 1995. Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovania. Bratislava: SAV, 260 s.

[6] PENMAN, H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Vol. 193, No. 1032, pp. 120–145.

[7] ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., 2008: Experiences with quality control and homogenization of daily series of various meteorological elements in the Czech Republic, 1961–2007. Genova: In: Proceedings of the Sixth seminar for homogenization and quality control in climatological databases (Budapest, 25.–30. May 2008), WCDMP, WMO, 2008. p

MODROZELENÁ INFRASTRUKTURA: NADĚJE PRO ŘEKY, NADĚJE PRO ČLOVĚKA

Jiří Vítek

JV PROJEKT VH s.r.o., Kosmákova 1050/49, 615 00 Brno, tel. +420 541 637 111, vitek@jvprojektvh.cz

Abstrakt

ČR nevytváří předpoklady pro koncepční přístup k odvodňování měst a obcí podle principů udržitelného rozvoje. MZe ČR, které má v gesci vodu, zcela ignoruje skutečnost, že adaptace urbanizovaných území na změnu klimatu stojí na důsledné aplikaci principů hospodaření s dešťovou vodou, nejlépe prostřednictvím modrozelené infrastruktury. Právní a technické předpisy českého stavebnictví jsou ve vztahu k vodnímu režimu urbanizovaných území nekoncepční, nesystémové a nekoordinované. Veškerá odpovědnost tak v tomto ohledu leží na městech, které si mohou pomoci vytvořením koncepčních dokumentů pro aplikaci systémů HDV.

Klíčová slova: *hospodařeni s dešťovou vodou (HDV); modrozelena infrastruktura; studie odtokovych poměrů; zasady a pravidla pro odvodňovani; Operačni program Životni prostředi.*

Abstract

The process of SWM introduction into society ought to be concluded with the institutionalization of SWM principles. As the Czech Republic is still at the outset of this process, the author, with respect to his experience, seek to inform of the basic impediments which make the implementation of SWM principles difficult. Seemingly there is no reason why not to apply the principles of SWM within the specified range and quality. Unfortunately, it is not the case and therefore it is usually up to cities´ managements to be responsible for SWM implementation.

Keywords: *stormwater management (SWM); blue-green infrastructure; drainage area study; stormwater management guidance manual; Operational Programme Environment.*

Současná situace v aplikaci modrozelené infrastruktury na úrovni státu

Stavební a vodní zákon předepisují dodržování principů hospodaření s dešťovou vodou (HDV) nesystémově a nekoordinovaně, což velmi ztěžuje aplikaci modrozelené infrastruktury (MZI) v našich městech a obcích. Modrozelená infrastruktura jsou přírodě blízká opatření, která se odtokem srážkové vody zabývají tak, aby se změnil vodní režim měst a obcí. Smyslem je srážkovou vodu bezpečně vsakovat do podzemí a zvýšit využitelnost vody pro zeleň a provoz nemovitostí. Zeleň potom daleko lépe města a její obyvatele chrání před účinky dlouhotrvajícího horkého počasí. Modrozelená infrastruktura je zcela zásadním opatřením adaptace na změnu klimatu urbanizovaných území a základním nástrojem prevence proti záplavám a proti suchu.

Problém je v tom, že podmínky pro aplikaci těchto opatření nejsou v ČR doposud dostatečně institucionalizovány. Výklad právních předpisů týkajících se odvodňování měst je vágní a nejednoznačný. Do technických předpisů jednotlivých oborů českého stavebnictví doposud nebyly zapracovány a vzájemně zkoordinována pravidla pro novou roli vody a zeleně v našich městech a obcích. Stát se doposud nevyjádřil k tomu, v jakých všech aspektech lidské činnosti je nutné změnit náš přístup a chování tak, aby se naše společnost byla schopná připravit na nové klimatické podmínky. Chybí koncepční a systémový přístup. To vše vede k velmi špatné vymahatelnosti těch mála předpisů, které se pro aplikaci HDV dají využít. Základním nedostatkem v aplikaci HDV je to, že ČR patří k těm mála státům Evropy, kde se za odvádění srážkové vody ze staveb k bydlení a z komunikací neplatí poplatky. Chybí tak finanční motivace pro majitele těchto nemovitostí.

Z našich zkušeností, které jsme učinili zejména v Hradci Králové a Olomouci, se domníváme, že k tomu, aby si města a obce vytvořila předpoklad pro systémový přístup k decentrálnímu odvodnění, které je podstatou HDV, tak si musí vytvořit tři klíčové koncepční dokumenty – Studii odtokových poměrů, Městské stavební standardy a Metodický předpis pro aplikaci MZI. Prostřednictví těchto dokumentů si města mohou vytvořit zkoordinovaná a integrovaná pravidla pro aplikaci modrozelené infrastruktury na svých katastrech.

Studie odtokových poměrů

Systémová aplikace HDV, která je předmětem studie odtokových poměrů (SOP), má blahodárný vliv na provoz stokových systémů měst a obcí tím, že dokonale zmapuje možnosti aplikace HDV a to, jaký to bude mít vliv na kapacitu stokové sítě, čistotu povrchových toků, které jimi protékají a režim podzemních vod.

Naděje pro řeky zavedením HDV spočívá v tom, že z jednotných stokových systémů, které mají města a obce většinou, se splašky do řek dostávají z odlehčovacích komor za přívalových dešťů. Rozsáhlejším zavedením HDV se zmenší přetěžování kapacity kanalizace a sníží počty přepadů z odlehčovacích komor do povrchových toků.

V rámci SOP se:

1. zmapuje potenciál města či obce do stávající zástavby zavést systémy HDV a za jakých podmínek;
2. pro novostavby se definují podmínky pro modrozelenou infrastrukturu;
3. určují území pro výstavbu z hlediska významu stávajících vodních režimů nevhodná až nezpůsobilá;
4. za jakých podmínek bude možné nechat postupně a nepravidelně zastavovat větší rozvojová území – ke zvážení je vstup města či obce do přípravy takových území pro budoucího developera tím, že zajistí na vlastní náklady potřebnou infrastrukturu;
5. vyhodnotí vliv aplikace principů HDV na generel kanalizace.

Městské stavební standardy

Technické předpisy jednotlivých oborů stavebnictví nejsou zkoordinovány tak, aby v nich odvádění srážkové vody naplňovalo principy HDV. Pokud si chce město zajistit podstatně jednodušší proces schvalování, může si nechat vytvořit standardy pro vznik pozemních a dopravních staveb, které vytváří náhled na podobu a funkci různých typů staveb.

Metodický předpis pro aplikaci MZI

Přesto, že jsou již několik roků v platnosti základní právní předpisy a technické normy, pořad není jasné státní správě, projektantům a stavebníkům, jakým způsobem je aplikovat v praxi. Proto z pohledu úspěšného a bezproblémového zavádění hospodaření se srážkovými vodami do systému odvodnění městům doporučujeme přijmout taková organizačních opatření, která mají z velké části převážně neinvestiční charakter a kterými lze jednoduše docílit potřebného efektu – budování kvalitních a bezpečných staveb.

V metodické příručce by měly být budou upřesněny právní, technické a koordinační požadavky týkající se principů hospodaření se srážkovými vodami. Jednotně stanovené parametry budou nejenom základním podkladem pro město, ale i pro samotné stavebníky a projektanty, aby věděli, co se od nich bude vyžadovat v rámci projektové přípravy odvodnění novostaveb.

Možnosti financování z Operačního programu Životní prostředí

V současné době se Státní fond životního prostředí snaží motivovat majitele stávajících nemovitostí k jinému přístupu ke srážkové vodě prostřednictvím dotací z Operačního programu Životní prostředí (OPŽP). V OPŽP se nachází řada dotačních pobídek, které mohou pomoci městům a obcím zavádět systémy HDV a srážkovou vodu využívat jako vodu užitkovou. Takto podporované projekty se mohou stát ukázkovými stavbami, které pomohou změnit náhled na celou problematiku HDV v celé společnosti.

V rámci aktivity 1.3.2 OPŽP jsou podporovány projekty zaměřené na hospodaření se srážkovými vodami v intravilánu namísto jejich urychleného odvádění kanalizací. Mezi podporované typy projektů patří zejména budování retenčních prostorů, které budou po většinu roku suché a budou se plnit srážkovou vodou pouze při srážkách. Jedná se například o povrchová vsakovací a retenční zařízení doplněná zelení (plošný vsak, průlehy, průlehy s rýhou, vsakovací nádrže), podzemní vsakovací zařízení s retenčním prostorem vyplněným štěrkem nebo prefabrikáty, výměnu nepropustných zpevněných povrchů za propustné zpevněné a propustné povrchy, přestavby konstrukcí střech s okamžitým odtokem srážkové vody na povrchy s akumulační schopností.

Z tohoto dotačního titulu lze podpořit i budování podzemních akumulačních nádrží, nebo nádrže napevno zabudované v suterénech odvodňovaných nemovitostí, kde bude zachytávána srážková voda ze střešních konstrukcí, případně ostatních přilehlých ploch, která bude poté využita výhradně jako užitková voda v budovách či jako voda na zavlažování.

Dotace z Fondu soudržnosti je poskytována do výše 85 % z celkových způsobilých výdajů projektu. O dotaci mohou žádat zejména kraje, města, obce, státní a příspěvkové organizace, veřejné výzkumné instituce, nestátní neziskové organizace, vysoké školy a školská zařízení.

Závěr

Doposud jsme byli zvyklí vnímat problematiku vodního hospodářství měst a obcí pouze v kategorii technických oborů. Vodní hospodářství ale v posledních několika letech prochází tak zásadními změnami, že je nutné je zohlednit i v ostatních aktivitách a činnostech podílejících se na urbanizaci krajiny. Z pohledu úspěšné a bezproblémové aplikace HDV na úrovni města se tak nelze vyhnout přijetí tzv. organizačních opatření, která mají z velké části převážně neinvestiční charakter.

Zatímco investiční opatření často řeší lokální nedostatky (kapacitu, bezpečnost zařízení) na stokové a vodovodní síti a v malých vodotečích, organizační opatření zakládají pravidla a postupy pro nový, kvalitativně hodnotnější přístup k vodě, na jehož principech se bude město rozvíjet. Realizace těchto opatření je vyjádřením politické vůle a ochoty zástupců města investovat do něčeho, co nepředstavuje řešení konkrétní stavby, ale co přináší zkvalitnění příprav staveb a vytvoření předpokladů pro dodržení koncepce odvodnění podle pravidel HDV.

OCHRANNÁ PÁSMA VODNÍCH ZDROJŮ

Jiří Novák[1], **Petra Oppeltová**[2]

[1]*VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a.s.,*
Soběšická 820/156, 638 00 Brno, tel. +420 545 532 373, novak@vasgr.cz
[2]*Mendelova univerzita v Brně, Ústav aplikované a krajinné ekologie,*
Zemědělská 1, 613 00 Brno, tel. +420 545 132 471, oppeltova@mendelu.cz

Abstrakt

Ochranná pásma vodních zdrojů (dále jen OP) jsou prvkem tzv. preventivní ochrany. Znamená to, že každý vodní zdroj, využívaný pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou, je třeba dostatečně preventivně chránit – jeho vydatnost, jakost a zdravotní nezávadnost. Stanovování OP má v ČR poměrně dlouhou tradici. Legislativa se však průběžně vyvíjí a mění jednak na základě získávaných praktických zkušeností, ale také v souvislosti se změnami ve společnosti, potřebami a vazbami na další právní předpisy, národní i evropské legislativy.

O problematice ochranných pásem vodních zdrojů jsme informovali na první konferenci VODNÍ NÁDRŽE v roce 2012. Letošní příspěvek navazuje, stručně opakuje hlavní zásady, současně přináší změny v právních předpisech za uplynulé období a hovoří o zkušenostech z praxe. V závěru pojednává o specifickém případu v ČR – vodárenském odběru z víceúčelové nádrže Vranov, který je perspektivním vodním zdrojem sloužícím v současnosti pro více než 80 tis. obyvatel.

Klíčová slova: *vodní zákon; ochranná pásma vodních zdrojů; opatření obecné povahy; vodoprávní úřady.*

Abstract

Protection zones of water sources form the part of preventive protection. It means, to protect quality, quantity and sanitary of each water source used for drinking water supply. The determination of protection zones has a long tradition in the Czech Republic. However, legislation is constantly progressing and changing on the basis of practical experiences, but also in the context of society changes needs and links to other legislations, including the national and European legislation.

In 2012 at the first conference „Vodní nádrže" we informed about the protection zones of water sources. This year the contribution briefly repeats the main principles, shows the changes in the legislation and practical experiences. In conclusion, it deals with a specific case in the Czech Republic – water supply from the Vranov multipurpose reservoir, which is a prospective water resource currently serving for more than 80 thousand inhabitants.

Keywords: *water law; protection zones of water sources; common measure; water authorities.*

Úvod

Uvedený způsob ochrany vodních zdrojů je nad rámec obecné ochrany vod, která vyplývá z celé řady právních předpisů, a proto jsou ochranná pásma vodních zdrojů rovněž nazývána speciální ochranou, což je nadstavba nad výše zmíněnou obecnou ochranou vod, resp. i nad ochranou zvláštní, kterou jsou např. zranitelné oblasti, CHOPAV apod. Ke stanovení tohoto typu ochrany vodních zdrojů (OP) zmocňuje v českém národním legislativním prostředí vodní zákon (nyní zákon č. 254/2001 Sb., v platném znění) [1], ochranná pásma konkrétního vodního zdroje však stanovují vodoprávní úřady po provedeném správním řízení.

Speciální ochrana vodních zdrojů

Ochrannými pásmy vodních zdrojů se poprvé zabýval zákon o vodách z roku 1973. Ve spolupráci s resortem ochrany veřejného zdraví řešil tuto problematiku plošně, pásmově, kdy celé povodí vodního zdroje jak povrchové, tak podzemní vody, bylo součástí některého stupně OP. Tato koncepce ochrany vodních zdrojů vycházela mj. i z toho, že rozhraní mezi obecnou a speciální ochranou nebylo (a v podstatě není ani dnes) jednoznačně určeno. V období koncepce **celoplošné ochrany** vodních zdrojů nebyla obecná ochrana vod na takové legislativní úrovni, jako je nyní.

Až v souvislosti se změnami po roce 1989 došlo ke změně koncepce ochrany vodních zdrojů z celoplošné (pásmové) na tzv. **bodovou (zonální)**, kterou přinesla novela zákona o vodách – zákon č. 14/1998 Sb. Tato koncepce byla v podstatě převzata současným vodním zákonem v § 30, s drobnějšími změnami, souvisejícími s vývojem vodního práva, evropskou legislativou, ověřováním právních předpisů v praxi apod.

Po celou dobu, kdy speciální zákony zmocňovaly vodohospodářské orgány (resp. vodoprávní úřady) ke stanovení tohoto typu ochrany, se postupovalo podle správního řádu [4], probíhala příslušná vodoprávní řízení s konkrétními účastníky řízení, která byla ukončena – tedy OP byla stanovena – **rozhodnutím**. Jednalo se o dlouhodobě zažitý proces, avšak odborná veřejnost pociťovala nedostatek v tom, že takové rozhodnutí je závazné pouze pro účastníky předmětného řízení, a tedy OP, jejich rozsah a podmínky v nich, nebyla závazná obecně. Změnu přinesla až tzv. Velká novela vodního zákona – zákon č. 150/2010 Sb., účinný od 1. 8. 2010. **Od tohoto data se OP stanovují, mění nebo ruší, opět v režimu správního řádu, opatřením obecné povahy (dále jen OOP) a jsou tak závazná obecně.**

Právní podstata a postup při stanovení OP

OOP vychází ze správního řádu, §§ 171–174 [4]. OOP je na rozhraní mezi rozhodnutím, neboť řeší konkrétní otázky (OP určitého vodního zdroje) a právním předpisem, protože má neurčitý okruh adresátů (obecně určený). K OOP lze dále stručně uvést:

Správní řád [4], § 172, odst. 1, citace: „*Návrh OOP s odůvodněním správní orgán po projednání s dotčenými orgány …. doručí veřejnou vyhláškou….*". Tedy podklady – především návrh dokumentace pro stanovení OP, které jsou vodoprávnímu úřadu předloženy společně se žádostí o stanovení OP, použije vodoprávní úřad pro svůj **návrh OOP**, který musí řádně **zdůvodnit** a **projednat s dotčenými orgány** (vše platí i pro změnu nebo zrušení OP).

Návrh OOP a následně i vlastní OOP se doručuje veřejnou vyhláškou a musí být zveřejněno na úřední desce příslušného (tedy vodoprávního) úřadu a rovněž na úředních deskách obecních úřadů v obcích, jejichž správních obvodů se OP dotýká.

K návrhu OOP může kdokoli, jehož práva, povinnosti nebo zájmy mohou být OOP přímo dotčeny, uplatnit u správního orgánu připomínky. Správní orgán je povinen se připomínkami zabývat jako podkladem pro OOP a **vypořádat se s nimi v jeho odůvodnění**. Vlastníci nemovitostí, jejichž práva, povinnosti nebo zájmy související s výkonem vlastnického práva, mohou být OOP přímo dotčeny, nebo, určí-li tak správní orgán, i jiné osoby, jejichž oprávněné zájmy mohou být OOP přímo dotčeny, mohou podat proti návrhu OOP písemné odůvodněné námitky ke správnímu orgánu ve lhůtě 30 dnů ode dne jeho zveřejnění. Rozhodnutí o námitkách, které musí obsahovat vlastní odůvodnění, se uvede jako součást odůvodnění OOP.

Proti OOP nelze podat běžný opravný prostředek (odvolání). Lze však podat žalobu ve správním soudnictví, nebo soulad s právními předpisy nechat posoudit v přezkumném řízení (posoudí nadřízený vodoprávní úřad prvoinstančního úřadu).

K doplnění právních otázek, vztahujících se k OP, je třeba dále zmínit následující [1]:

Do OP I. st. platí dle Velké novely vodního zákona zákaz vstupu a vjezdu mimo osoby, které mají právo z vodního zdroje vodu odebírat (vlastní povolení k odběru), u vodárenských nádrží jsou to vlastníci tohoto vodního díla. Z tohoto ustanovení však může vodoprávní úřad stanovit další výjimky – původně samostatným rozhodnutím, nyní i OOP (§ 30 odst. 7).

Vodní zákon má řadu prováděcích předpisů, v této souvislosti je třeba zmínit tyto:

Vyhl. č. 137/1999 Sb., kterou se stanoví seznam vodárenských nádrží a zásady pro stanovení a změny OP [2]. Její obsah je dávno překonán a mnohdy i v nesouladu s vodním zákonem (byla vydána k předchozímu zákonu č.138/1973 Sb.), dosud však platí a stále se čeká na její novelu,

Vyhl. č. 432/2001 Sb., o dokladech žádostí …, v platném znění [3]. Tato vyhláška naopak byla několikrát novelizována, mj. i po Velké novele vodního zákona vyhláškou č. 336/2011 Sb., a obsahuje vzor žádosti o stanovení (změnu, zrušení) OP a vyjmenovává soubor dokladů, které musí být přílohou takové žádosti,

K ustanovení vodního zákona **o zranitelných oblastech (§ 33) jsou opakovaně vydávána nařízení vlády**, nyní platí č. 262/2012 Sb., v platném znění (jeho zásadní novelou je nař. vlády č. 235/2016 Sb.). Tím je konkretizována jedna část tzv. zvláštní ochrany – viz výše, což má poměrně zásadní význam při zpracování návrhů dokumentací pro stanovení či změnu OP.

Zásadní legislativní změny v oblasti OP lze tedy časově shrnout takto:

- rok 1998 – změna koncepce OP z celoplošné (pásmové) na bodovou (zonální), kdy současně byla zrušena účast orgánů ochrany veřejného zdraví v procesu stanovení OP a přestal platit prováděcí předpis tohoto resortu, tzv. Směrnice č. 51/1979 (na základě této změny se při vodoprávních řízeních přestal používat termín pásma hygienické ochrany),
- rok 2001 – vznikl nový, současný vodní zákon [1], převzal bodovou koncepci OP s určitými drobnými odchylkami: nepřijal ustanovení o věcných břemenech tzv. ze zákona v katastru nemovitostí na pozemcích v OP, ale obsahuje nové ustanovení v § 20 o vyznačování OP v katastru nemovitostí, přímo v textu zákona jsou uvedena kritéria pro rozsah jednotlivých stupňů OP pro různé typy vodních zdrojů. K vodnímu zákonu byla vydána řada prováděcích předpisů – většina s účinností od roku 2002 (mnohdy již postupně novelizovaných),
- rok 2010 – Velká novela vodního zákona, po které se OP stanovují opatřením obecné povahy a mají obecnou závaznost,
- rok 2012 – nepřímá novela vodního zákona (stavebním zákonem, novela č. 350/2012 Sb.), kdy výjimky ze zákazu vstupu do OP I. st. může vodoprávní úřad udělovat nejen rozhodnutím, ale i OOP.

Dosavadní praktické poznatky a zkušenosti

Z výše uvedeného přehledu je zřejmé, že ke stanovení, změně i ke zrušení OP zmocňuje vodní zákon (jako speciální právní předpis), ale vlastní řízení v této věci vede vodoprávní úřad ve smyslu správního řízení, případně speciálních ustanovení ve vodním zákoně. Proto je jednoznačné, že konkrétní OP jakéhokoliv vodního zdroje nemůže být zrušeno (ani stanoveno či změněno) obecným právním předpisem, ale pouze novým správním řízením. Ve výjimečných případech může skončit platnost OP, pokud byla při stanovení tato platnost rozhodnutí časově omezena. Proto se dosud v praxi setkáváme se třemi skupinami stanovených OP, a to:

- OP (případně PHO) stanovené rozhodnutím vodohospodářského orgánu podle původní celoplošné (pásmové) koncepce (přibližně do 8. 3. 1998),
- OP stanovená rozhodnutím vodoprávního úřadu podle současné bodové (zonální) koncepce (po 8. 3. 1998 do 1. 8. 2010),
- OP stanovená podle současné bodové koncepce opatřením obecné povahy vodoprávního úřadu (po 1. 8. 2010).

Povinnost provést změnu (resp. nové stanovení) OP podle současné koncepce opatřením obecné povahy do určitého termínu není dána žádným právním předpisem. Při této příležitosti je třeba zmínit, že za uplynulé období bylo několik „pokusů" o provedení novely vyhl. č. 137/1999 Sb., poslední v letošním roce. V jednom z referátů zpracovatelů novely zazněla zmínka o tom, že MŽP uvažuje o takovém ustanovení v obecných právních předpisech, aby platnost rozhodnutí o stanovení (změn) OP měla obecně časové omezení a po takto stanoveném termínu by nezměněná rozhodnutí byla ze zákona zrušena. Jde o názor značně diskutabilní.

V praxi se občas setkáváme s názorem, že nové právní předpisy (zpravidla nové prováděcí vyhlášky nebo novely stávajících), jejichž účinnost je po právní moci rozhodnutí o stanovení OP, a jsou-li v některých ustanoveních odlišné od výroku rozhodnutí, by měly mít „vyšší právní sílu" než rozhodnutí vodoprávního úřadu (vodohospodářského orgánu), tedy že by taková rozhodnutí o stanovení OP, případně části jejich výroků, měly být automaticky neplatné. Podle názorů ústředních vodoprávních úřadů (MZe, MŽP) tomu tak být nemůže – viz výše, rozhodnutí jsou pravomocná až do skončení nového vodoprávního řízení.

Co se týká případných odlišností mezi novými prováděcími právními předpisy a výroky původních rozhodnutí o stanovení OP, k tomu uvádíme následující názor. Obecné právní předpisy řeší předmětnou problematiku v obecné poloze a s obecnou závazností. Nemohou řešit konkrétní otázky OP konkrétního vodního zdroje. Naopak vodní zákon v § 30 odst. 8 uvádí, že „*v OP I. a II. st. je zakázáno provádět činnosti poškozující nebo ohrožující vydatnost, jakost*

nebo zdravotní nezávadnost vodního zdroje, jehož rozsah je vymezen v OOP o stanovení nebo změně OP".

V § 30 odst. 10 se dále říká: *v OOP o stanovení nebo změně OP vodního zdroje vodoprávní úřad stanoví, které činnosti poškozující nebo ohrožující vydatnost, jakost nebo zdravotní nezávadnost vodního zdroje nelze v tomto pásmu provádět ……*". Jedná se o jednoznačné zmocnění vodoprávních úřadů vodním zákonem k určitým vyjmenovaným omezením nebo zákazům „nežádoucích činností" v konkrétním OP, na základě znalosti místních podmínek a provedené analýzy rizik. Toto ustanovení je považováno za „institut OP", jinak by v podstatě neměla OP žádné opodstatnění, neměla by důvod, ale ani by nebyla možnost jejich stanovení.

Je důležité připomenou přechodné ustanovení z novely vodního zákona z roku 2010 (zákon č. 150/2010 Sb.) čl. II odst. 2, podle kterého se OP stanovená podle dosavadních právních předpisů považují za OP stanovená podle § 30 odst. 1 vodního zákona ve znění od účinnosti této novely (stručně řečeno: rozhodnutí o stanovení nebo změně OP se považuje za OOP s obecnou závazností, bez účastníků řízení).

Ochrana významného vodního zdroje Vranov v praxi

Víceúčelová vodní nádrž Vranov na řece Dyji, těsně za státní hranicí s Rakouskem, kdy přibližně polovina plochy povodí nad nádrží leží mimo území ČR, pochází ze 30. let minulého století. Vodárenský odběr byl vybudován až následně a je v provozu od roku 1982. Již ve stavebním povolení stavby skupinového vodovodu Vranov – Moravské Budějovice – Doukovany (dnes SV Třebíč) byla stanovena první preventivní ochrana, která byla postupně několikrát změněna. Současná OP platí od prosince 2000 a právě nyní probíhá řízení o jejich novém stanovení. Zdroj slouží k zásobování přibližně 80 tis. obyvatel pitnou vodou a s ohledem na místní podmínky v přilehlých částech krajů Vysočina a Jihomoravský, na možnosti jiných zdrojů a jejich vzájemné zastupitelnosti, na déletrvající sucho a na další specifické podmínky, se předpokládá další nárůst zásobovaných obyvatel i celých lokalit (s dosud nevyhovujícími místními zdroji). Již nyní je tento zdroj v plném rozsahu nenahraditelný.

Protože se jedná o víceúčelovou vodní nádrž, jde při řešení preventivní ochrany o velké množství střetů zájmů a přijetí řady kompromisů. Protože se nejedná o vodárenskou nádrž, nelze při změně OP využít tohoto specifického postavení vodárenských nádrží a také z tohoto důvodu neřeší návrh na změnu preventivní ochrany Povodí Moravy, s.p. Z vodního zákona tato povinnost připadá nositeli povolení k odběru vody, kterým je vlastník vodárenské infrastruktury (Svazek měst a obcí) – v tomto případě, na základě „provozní smlouvy" podle zákona o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu provozovateli, tedy VODÁRENSKÉ AKCIOVÉ SPOLEČNOSTI, a.s. (dále jen VAS). Je rovněž potřeba zmínit, že obdobný vodní zdroj, co do významu, rozsahu, typu aj. specifik, se v ČR nevyskytuje.

Po celou dobu provozu vodárenského odběru nedošlo ke změně jeho provozovatele, a proto má VAS dlouhodobé provozní zkušenosti, dostatečné výsledky monitoringu jakosti povrchové vody a na základě dobré spolupráce se správcem povodí i další informace a možnosti spolupráce. Po dobu platnosti současného rozhodnutí o OP byly průběžně řešeny problémy s rekreací – existuje zde velké množství rekreačních objektů, postavených i na pozemcích určených pro činnosti správce vodní nádrže, byla zde obnovena veřejná vodní doprava a vlastní nádrž je oblíbeným místem pro koupání, vodní sporty a vše s tím související. Toto vše bylo vstupními informacemi pro zpracovávanou analýzu rizik. S ohledem na významnost tohoto vodního zdroje, i celkovou situaci v návaznosti na opatření proti dlouhodobému suchu, bylo nutné respektovat základní ustanovení z vodního zákona i ze zákona o vodovodech a kanalizacích [6], a to:

- vodní zákon § 30 odst. 1: „*stanovení ochranných pásem je vždy veřejným zájmem*",
- zákon o vodovodech a kanalizacích § 1 odst. 2: „*vodovody a kanalizace pro veřejnou potřebu se zřizují a provozují ve veřejném zájmu*".

Z provedené analýzy rizik vyplynulo, že nejrizikovější oblastí pro vodárenský odběr je vlastní zátopa **víceúčelové** vodní nádrže a její bezprostřední okolí a povodí Želetavky, kde dosud chybí ČOV [7]. Část povodí na území ČR se nachází ve zranitelných oblastech, tudíž režim hospodaření je součástí zvláštní ochrany. Stejně tak problematika chybějících ČOV v malých obcích v povodí Želetavky není řešitelná v rámci revize OP, ale patří do ochrany obecné. Na činnosti provozované mimo území ČR nelze stanovovat žádná ochranná opatření, a proto probíhá pouze monitoring povrchové vody za státní hranicí. Hlavními riziky jsou pak produkce odpadních vod z rekreačních objektů a obecně nakládání s ropnými látkami. Protože se u rekreačního účelu vodní nádrže jedná o sezónní činnosti, o to větší problémy mohou přinášet do kvality surové vody (extrémní zatížení v letním rekreačním období přímo v nádrži, nepravidelná produkce odpadních vod v rekreačních objektech apod.). I přes provedená technologická opatření při modernizaci úpravny vody Štítary nelze opomenout, ani podcenit preventivní opatření proti zjištěným rizikům. Tímto směrem tedy probíhá vodoprávní řízení o nových OP tohoto nenahraditelného vodního zdroje.

Závěr

Účelem tohoto příspěvku je informovat o aktuální situaci kolem ochrany vodních zdrojů. Právní prostředí se průběžně mění a je vhodné upozornit na novinky, případně pojednat o zkušenostech z jejich praktického používání.

Mnohdy se objevují názory, že díky technickým a technologickým možnostem a opatřením ztrácí prevence svůj význam a na základě toho mohou být i ochranná pásma vodních zdrojů podceňována. Skutečnost je však zcela opačná – preventivní opatření jsou dlouhodobá a při jejich vhodném zavedení a hlavně dodržování jsou velmi účinná. To se v poslední době mj. prokazuje i v souvislosti s opakujícím se suchem a s přípravou odpovídající legislativy či potřebných opatření.

Literatura

[1] Zákon č. 254/2001 Sb., v platném znění, dále jen vodní zákon

[2] Vyhl. č. 137/1999 Sb., kterou se stanoví seznam vodárenských nádrží a zásady pro stanovení a změny OP

[3] Vyhl. č. 432/2001 Sb., o dokladech žádostí o rozhodnutí nebo vyjádření... vodoprávního úřadu, v platném zn.

[4] Zákon č. 500/2004 Sb., v platném znění, dále jen správní řád

[5] Zákon č. 256/2013 Sb., v platném znění – katastrální zákon a jeho prováděcí předpisy

[6] Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu, v platném znění

[7] Kosour D., Duras J., Hanák R. VN Vranov – situace a možnosti řešení jakosti vody. In: KOSOUR, Dušan et al., ed. Vodní nádrže 2015: 6.–7. října 2015, Brno, Česká republika. Brno: Povodí Moravy, s.p., 2015. ISBN 978-80-260-8726-7. str. 61–68

DYNAMIKA VYPLAVOVÁNÍ PESTICIDNÍCH LÁTEK V POVODÍ ČECHTICKÉHO POTOKA

Jakub Dobiáš[1], **Milan Koželuh**[1], **Antonín Zajíček**[2], **Petr Fučík**[2], **Marek Liška**[1]

[1]*Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5-Smíchov, tel. +420 251 050 707, jakub.dobias@pvl.cz*
[2]*Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5-Zbraslav, fucik.petr@vumop.cz*

Abstrakt

Využití automatických vzorkovačů se stává běžnou součástí detailního – bilančního monitoringu koncentrací a odnosů látek. Průměrné výsledky běžného monitoringu bodových vzorků jsou oproti reálnému stavu často podhodnocené [1,5].

Povodí Čechtického potoka odvodňuje jedno z nejvíce zemědělsky obhospodařovaných území v celém povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce. Od roku 2012 zde státní podnik Povodí Vltavy provozuje vzorkovací stanici. Pesticidní látky a jejich metabolity jsou analyzovány buď ve slévaných 14 denních vzorcích nebo jsou na základě průtoku (v případě srážko-odtokových událostí) odebrány i dvoudenní slévané a bodové vzorky.

Z hlediska výskytu pesticidních látek byl rok 2016 oproti předchozímu roku zajímavější. Výsledky z kontinuálního měření ukázaly nárůsty koncentrací a odnosů mateřských pesticidních látek na jaře a jejich metabolitů v průběhu léta. Celková látková bilance námi sledovaných pesticidů a jejich metabolitů byla 3,88 kg (4–11/2016, $Q_{prům}$ = 63,5 l/s). Z dlouhodobého hlediska se mění i skladba používaných pesticidů, patrné je to na příkladu *terbutyazinu* (pěstování kukuřice). V povodí se nyní více vyskytují jeho metabolity a byl pravděpodobně nahrazen jinými účinnými látkami (*isoxaflutole, cyprosulfamide a thiencarbazon-methyl*). Při snaze detekovat nové účinné látky mají laboratoře oproti zemědělským aplikacím výrazné zpoždění. Proto je třeba neustálý vývoj analýz a sledování nových trendů.

Nejzajímavější výsledky však poskytují zachycené hydrologické události, kdy se koncentrace oproti kontinuálnímu sledování zvýší (nebo naopak sníží) řádově, a to během desítek minut. Dynamika vyplavování živin a speciálních organických látek během srážko-odtokových událostí se ukazuje být natolik významná, že bez detailního vzorkovacího schématu můžeme koncentrace a následné odnosy látek pouze odhadovat.

Klíčová slova: *pesticidní látky; automatické vzorkování; srážko-odtoková událost; látková bilance; VN Švihov*

Abstract

The use of automatic samplers for detailed monitoring of substance concentrations and balance is nowadays an important part of special monitoring of surface waters. The average results of routine monitoring (consisting of point samples) are often underestimated over the real situation. The catchment area of Čechtický brook drains one of the most agriculturally managed areas in the entire Švihov water reservoir catchment (used as an important source of drinking water). On the Čechtický brook, we run an automatic sampling station since 2012 and in last two years, we obtained some interesting results of pesticides and metabolites concentration from continuous sampling and also from hydrological events (during which the flow increases).

Pesticides concentrations were significantly higher in 2016, than the previous year. Continuous mesurement shows increases in concentrations of maternal pesticides in the spring and their metabolites during the summer. The total balance of all measured pesticides from April to November 2016 was 3,88 kg ($Q_{aver.}$ = 63,5 l/s). In the long run, the trends in the pesticides usage are well visible on the example of *terbutylazine* (maize growing). Unlike the past, more metabolites are found in the samples. Usage was probably replaced by other active substances. In an effort to detect these new substances, we get into a situation comparable to doping in sport, we have to track new trends, despite we won´t be ahead.

We got the most interesting results during the hydrological events, where the concentrations of pesticides increases (or decreases) faster. The dynamics of nutrients and special organic pollution during events is really important. Without that, we can only estimate the real concentrations.

Keywords: *pesticides; automatic sampling; hydrological event; substance balance; Švihov water reservoir.*

Úvod

Časté extrémní změny v koncentracích pesticidních látek a jejich metabolitů ve vzorcích povrchových vod v rámci provozního monitoringu vedou k otázce, jaké množství je těchto cizorodých látek ve vodním prostředí doopravdy přítomno [3,6]. Intenzivněji se tím začaly zabývat i vodohospodářské laboratoře státního podniku Povodí Vltavy. Pro účely přesnějšího odhadu odnosů živin a speciálních organických látek byla v r. 2012 zprovozněna automatická vzorkovací stanice na Čechtickém potoce. Ten odvodňuje zemědělsky intenzivně obdělávané povodí a po soutoku se Sedlickým potokem a průchodu zdrží VN Němčice ústí do VN Švihov poblíž její hráze. Od roku 2015 analyzujeme vedle směsných kontinuálně odebíraných vzorků i bodové vzorky v průběhu hydrologických událostí a náhlého zvýšení průtoků. Ukázalo se, že dynamiku pesticidních látek běžným vzorkováním nelze spolehlivě podchytit [1], i když se v tocích za našimi zády běžně odehrává.

Zachycení hydrologických událostí ve vzorcích je velice důležité pro kvantitativní, ale i kvalitativní analýzu [1,5]. Některé látky se mohou ve vodě vyskytnout pouze při srážko-odtokové události [9] a to ještě za podmínky, že jejich aplikace proběhla těsně před tím. Znalost přeměny rodičovských látek na další rozpadové produkty je pro vyhodnocení vlivu používání pesticidů zásadní. Důležitá je také znalost povodí, zdrojů znečištění [9] a přehled o aplikacích látek na pěstované plodiny v povodí [6]. Výše

zmíněné podmínky jsou důvodem častého podhodnocení bilancí živin i speciálních organických látek, které nevychází z kontinuálního měření [1,4,5].

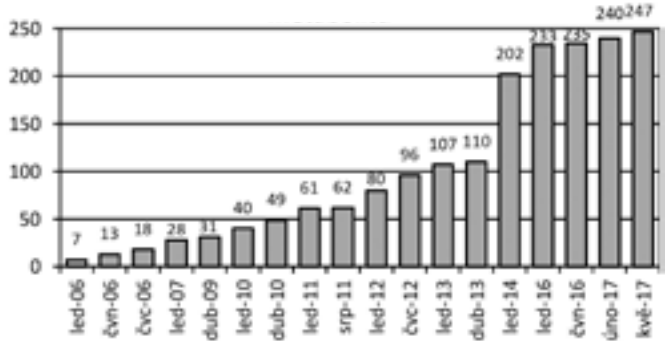
Metodika

Automatická vzorkovací stanice se skládá ze vzorkovače ISCO Avalanche (pro 14 diskrétních vzorků), který je autonomně napájen elektrickou energií ze dvou solárních panelů umístěných na střeše stanice. Součástí stanice je srážkoměr, sondy pro měření zákalu, vodivosti a modul pro kontinuální měření výšky hladiny (tzv. Bubbler). Pro daný profil byla změřena průtoková křivka, podle které je automaticky (dle výšky hladiny) odvozován okamžitý průtok. Veškeré signály jsou ze vzorkovače svedeny do přenosové GSM stanice Fiedler.

Odběrové schéma vzorkovače je nastaveno na dva provozní režimy, které se spouští dle dané situace. Kontinuální vzorkování probíhá nepřetržitě v periodě po 4 hodinách. Vznikne tak jeden integrální slévaný vzorek, který reprezentuje celou 14denní periodu. V případě potřeby je možné analyzovat i dvoudenní slévaný vzorek. Pro vzorkování hydrologické události je vyhrazena polovina vzorkovnic (7 ks). Při zvýšení hladiny se automaticky spustí vzorkování prostých vzorků a to v intervalu 7 hodin. Toto schéma bylo na Čechtickém potoce uplatněno v následujících obdobích: 10. 3.–30. 11. 2015 a 1. 4.–28. 11. 2016. V zimním období není stanice provozována, protože nelze zajistit její bezproblémový provoz v období mrazů.

Pesticidy a metabolity jsou v laboratoři ze vzorků následně stanoveny přímým nástřikem vzorku vody do kapalinového chromatografu (LC). Detekce je provedena pomocí hmotnostního detektoru na principu trojitého kvadrupólu (MS/MS) v režimu pozitivní nebo negativní ionizace. Analýza vzorků probíhá po skupinách (tzv. módech), které se liší způsobem předúpravy vzorku, různými chromatografickými podmínkami a režimem ionizace. Analyzovány byly tři skupiny pesticidních látek a jejich metabolických produktů: triazinové herbicidy (např. terbutylazin), chloracetanilidy (např. alachlor, metazachlor, metolachlor) a pesticidy patřící do skupiny derivátů kyseliny močové – tzv. urony (např. linuron, chlortoluron).

Pesticidy a jejich metabolity jsou v posledních letech hlavními prioritami sledování kvality vod [3,4,7]. To je patrné i na vývoji množství měřených pesticidů a jejich metabolitů (obr. 1) v laboratořích Povodí Vltavy. Nové analyty se zavádí s ohledem na legislativu (WFD), požadavky Mezinárodní komise pro ochranu Labe a především databázi pesticidů ČHMÚ [2], založenou na základě spotřeby pesticidů v ČR. Důležitými podněty jsou nové trendy v zemědělství a publikované výsledky.



Obrázek 1. Vývoj počtu analyzovaných pesticidů a jejich metabolitů ve VHL Povodí Vltavy v letech 2006–2017

Výsledky

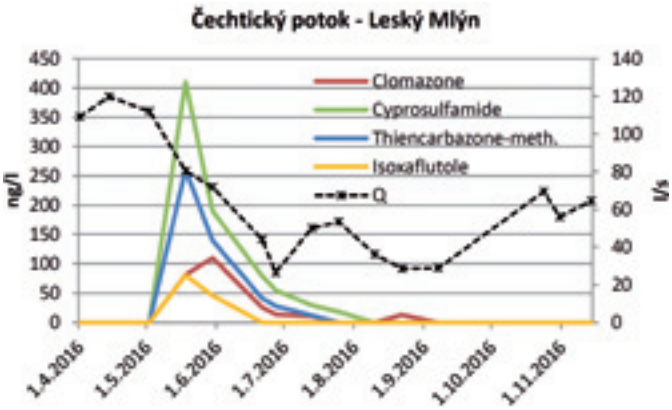
Rok 2016 byl srážkově průměrný až podprůměrný ($Q_{prům(4\text{-}11/2016}$ = 63,46 l/s). I přes tuto skutečnost přinesl ve srovnání s extrémně suchým rokem 2015 ($Q_{prům(6\text{-}12/2015)}$ = 54,66 l/s) zajímavější výsledky (tab. 1).

Nejvyšší koncentrace ve slévaných vzorcích byly naměřeny u metazachoru ESA (2840 ng/l), linuronu (1270 ng/l) a bentazonu (860 ng/l). Maximální koncentrace byly během hydrologických událostí naměřeny u linuronu (9540 ng/l), bentazonu (4500 ng/l), cyprosulfamidu (5900 ng/l), isoxaflutolu (3500 ng/l), thiencarbazone-methylu (2800 ng/l) a dalších látek. Podobně jako u předchozích výsledků i zde se v nejvyšších koncentracích vyskytují všechny tři složky již zmíněného komerčního přípravku *Adengo*.

Některé látky se v povodí vyskytovaly pouze během srážkoodtokových událostí (ve slévaných vzorcích se nevyskytovaly vůbec nebo byly pod mezí stanovitelnosti). Jedná se např. o fungicidy azoxystrobin a propiconazol, insekticidy clothianidin a thiacloprid, chloracetanilidové pesticidy metazachlor a metolachlor a další. Koncentrace těchto látek během epizod jsou měřitelné, přesto velmi nízké (viz tab. 1).

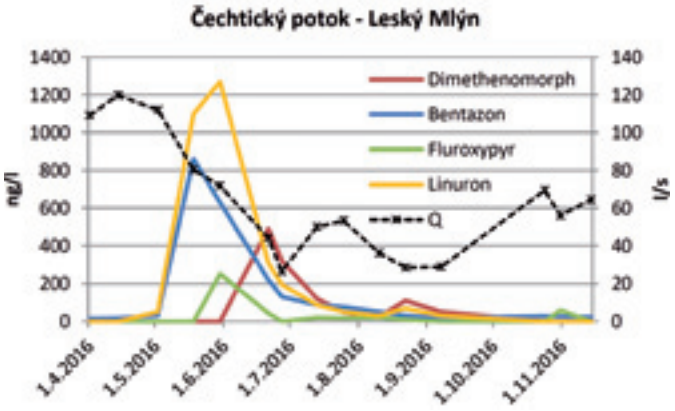
Výsledky kontinuálního vzorkování pesticidních látek

Na výsledcích ze směsných vzorků jsou dobře patrné změny v koncentraci způsobené vyšším průtokem a jarní (případně podzimní) aplikací pesticidů na zemědělskou půdu (obr. 2,3). Vysoké koncentrace vybraných herbicidů a fungicidů byly měřeny ve vzorcích koncem jara a začátkem léta, zatímco po zbytek vzorkovacího období nebyly detekovány vůbec nebo v řádově nižších koncentracích. Jarní maxima nalezených látek se mohou částečně překrývat nebo naopak – jako v případě bentazonu (kukuřice, brambory, obilí) a dimethenomorphu (mj. plísňová onemocnění brambor), viz obr. 3. Látky byly pravděpodobně aplikovány v jiném období, např. sušší a teplejší část roku u účinné látky dimethenomorph. Dalším příkladem vysokých koncentrací pesticidů v jarním období je linuron (v zájmovém povodí pravděpodobně aplikovaný na brambory, kukuřici a obiloviny). V Čechtickém potoce je koncentrační maximum patrné v květnu a červnu (obr. 3). Linuron účinkuje na povrch rostlin i kořenové systémy, aktivně tedy působí i v půdním profilu, odkud je vyplavován do povrchových vod.

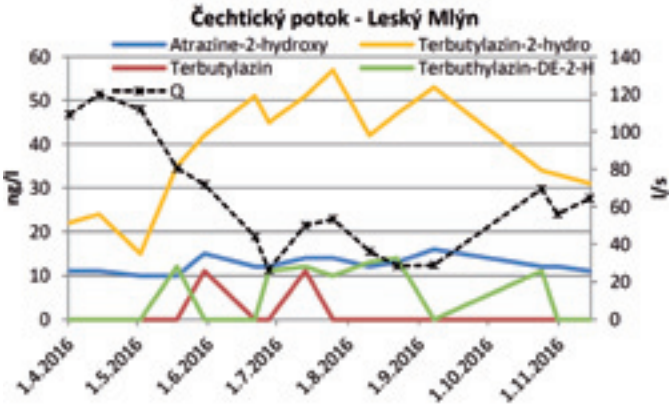


Obrázek 2. Koncentrace herbicidních látek v povrchové vodě, kontinuální vzorkování

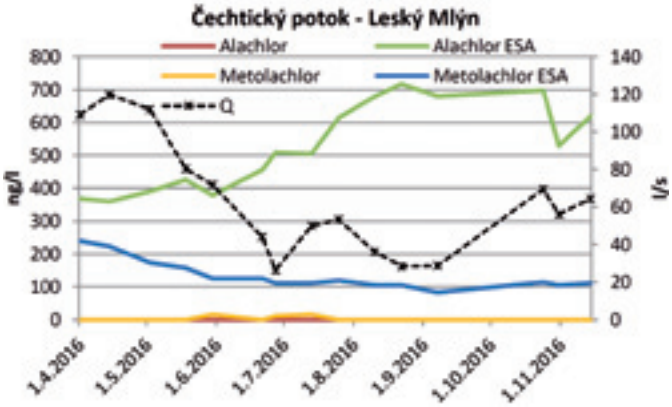
Zachycené vysoké koncentrace účinných látek (obr. 2,3,4) korespondují s pěstovanými plodinami v povodí. Kukuřice je po pšenici druhou nejpěstovanější plodinou (v roce 2015 19,3 % z celkové plochy povodí Čechtického potoka, v roce 2016 pak 19,1 %). Pěstování pšenice pokrývalo 29,4 % v roce 2015, respektive 23,3 % (2016). Další hojně pěstované plodiny v povodí byly řepka 11,4 % (2015) a 9,9 % (2016) a brambory (5,2 % v roce 2015 a 9,8 % v roce 2016) [8,9].



Obrázek 3. Vysoké koncentrace fungicidní látky (dimethenomorph) a tří herbicidních látek (bentazon, fluoxypyr a linuron) v jarním období



Obrázek 4. Koncentrace terbutylazinu a jeho metabolitů. Průměrný průtok během odběru směsných vzorků



Obrázek 5. Sezónní průběh koncentrace alachloru, metolachloru a jejich metabolitů

V rámci sledování byly detekovány látky, či metabolity látek, jejichž koncentrace jsou v průběhu roku vysoké a prakticky konstantní (obr. 4,5). To mohlo být způsobeno častějšími aplikacemi účinné látky na zemědělskou půdu v průběhu roku nebo vysokou persistencí metabolitů v půdě a vodě. Příkladem jsou metabolity herbicidu chloridazonu. Stabilita mateřské látky je dle publikovaných informací velice proměnlivá a nebyla detekována nad mezí stanovitelnosti (10 ng/l) ani jednou. Oproti tomu metabolity chloridazon desphenyl a chloridazon methyl-desphenyl jsou poměrně stabilní a ve směsných vzorcích byly v průběhu vzorkovacího období naměřeny pozitivní koncentrace metabolitů chloridazonu v rozmezí (57–110 ng/l, resp. 12–22 ng/l) ve všech vzorcích (tab. 1). V průběhu hydrologických událostí pak docházelo k jejich naředění. Podobný výskyt byl zaznamenán i u chloracetanilidových pesticidů metolachloru a metazachloru a jejich metabolitů (obr. 5)

Stabilní výskyt metabolitů je patrný i u dalších látek. V povodí Sedlického a Čechtického potoka se v souvislosti s pěstováním kukuřice velice často používala pesticidní látka terbutylazin (obr. 4). Ta nahradila v roce 2005 zakázaný atrazin a byla v povodí stabilně měřena ve vysokých koncentracích [6]. V posledních několika letech došlo na některých profilech v povodí k řádovému snížení koncentrací a můžeme tak předpokládat, že byla v přípravcích postupně nahrazena za novější a účinnější látky. Jedná se například o pesticidní přípravek, který se prodává pod komerčním názvem *Adengo* a obsahuje tři účinné látky (isoxaflutole, cyprosulfamide a thiencarbazone-methyl) (obr. 2).

Zajímavý vývoj koncentrací alachloru a jeho metabolitu alachloru ESA byl pozorován v celém vzorkovacím období (obr. 5). Zatím co užívání alachloru bylo zakázáno v roce 2008 a jeho koncentrace jsou pod mezí stanovitelnosti, koncentrace jeho stabilnějšího metabolitu (formy ESA) jsou stále vysoké. Zpravidla je pozorován dlouhodobý pokles této látky [6], na profilu Leský Mlýn v roce 2016 tomu tak ovšem nebylo a koncentrace v průběhu roku spíše rostla. Příčinou mohla být hydrologická situace a dlouhodobá perzistence metabolitu v půdách nebo s nepovolená recentní aplikace.

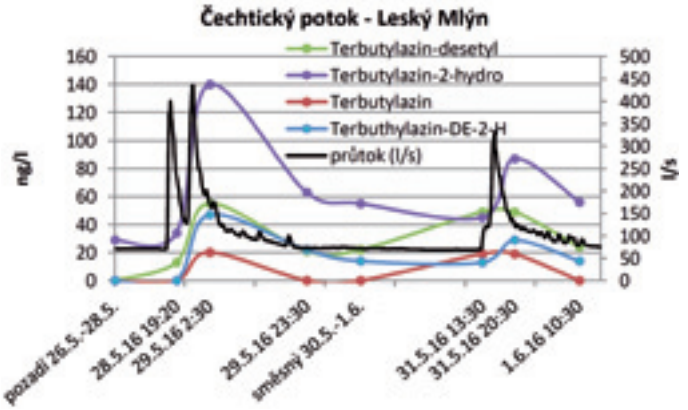
Dynamika vyplavování pesticidních látek během hydrologických událostí

Zatímco koncentrace pesticidů během kontinuálního sledování nabývají hodnot desítek až stovek ng/l, v průběhu srážkových událostí se koncentrace často zvýší řádově, až na tisíce ng/l (tab. 1). Ze 4 zachycených událostí v roce 2016 uvádíme převážně výsledky z jarní epizody (složené ze dvou menších), viz obr. 6–10. Převážná většina pesticidů vč. jejich metabolitů reagovala na rychlé zvýšení průtoku zvýšením koncentrací (obr. 6–8). Srážky, které způsobily zvýšení průtoku v potoce (cca 8x) byly poměrně vydatné s rychlým nástupem. Dá se tedy předpokládat, že většina srážkové vody byla do potoka odvedena po povrchu, resp. promývala vrchní vrstvy půdy. Zvýšení koncentrací látek tak nastalo se zpožděním o cca 9 hodin. Jinak by tomu bylo při mírných a vytrvalých srážkách, kdy by podpovrchový odtok vytlačil podzemní a podpovrchové vody s cizorodými látkami „před sebou“ [9].

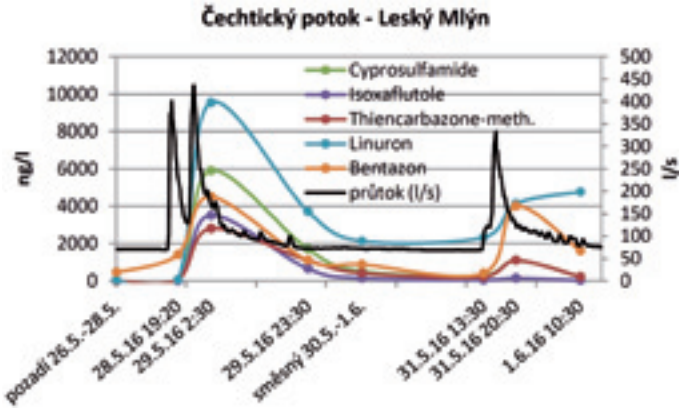
Koncentrační křivky terbutylazinu a jeho metabolitů měly během epizody prakticky stejný průběh (obr. 6) a lišily se mezi sebou pouze v látkovém množství až o jeden řád. Podobný průběh koncentrací s přímou závislostí na průtoku měly i ostatní látky, které byly na jaře často detekovány i během kontinuálního vzorkování – např. linuron, bentazon a cyprosulfamide (obr. 7). Látky isoxaflutole, cyprosulfamide a thiencarbazone-methyl (přípravek *Adengo)* se při hydrologické epizodě vyskytovaly ve vysokých koncentracích (obr. 6), což svědčí jejich používání na polích v povodí.

Zajímavou skutečností byla rozdílná dynamika vyplavování některých látek. Zatímco koncentrace některých pesticidů byly ve vodě tím vyšší, čím vyšší byl průtok, koncentrace jiných látek (např. fluroxypyr, metribuzin a mesotrione) se zvýšily až při druhé, výrazně menší, srážko-odtokové události (viz obr. 8). Některé látky však mohly být v povodí aplikovány až po první srážce.

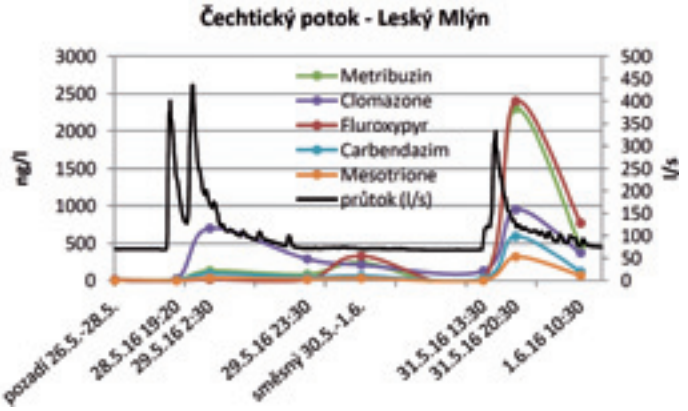
Zcela odlišný vývoj koncentrací během srážkové epizody byl naměřen u většiny metabolitů chloracetanilidových pesticidů (obr. 9,10). V období zvýšeného průtoku v Čechtickém potoce došlo ke snížení koncentrací a k naředění všech detekovaných metabolitů metazachloru, alachloru, acetochloru a metolachloru. Tyto metabolity jsou velice persistentní a ve slévaných vzorcích byly na lokalitě detekovány po celý rok, proto jsou pravděpodobně za vyšších průtoků v povrchové vodě úměrně srážkám „nařeďovány“.



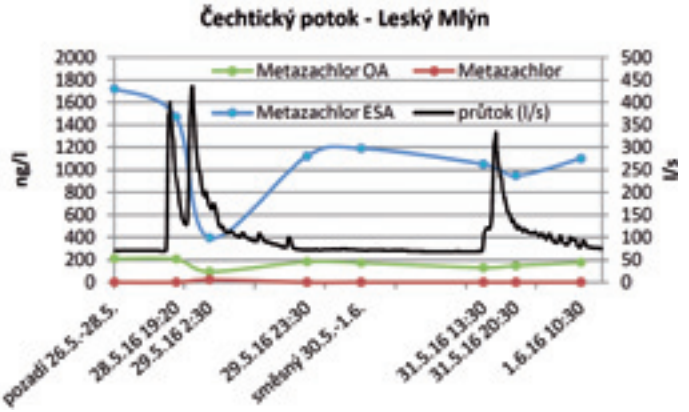
Obrázek 6. Vývoj koncentrací terbutylazinu a jeho metabolitů během srážkové epizodní události (28. 5.–1. 6. 2016). Bodové a směsné dvoudenní vzorky.



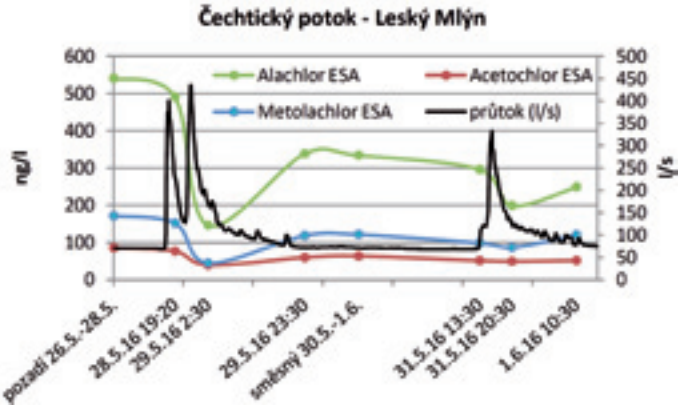
Obrázek 7. Vývoj koncentrací vybraných pesticidů a metabolitů během srážkové epizodní události (28. 5.–1. 6. 2016). Bodové a směsné dvoudenní vzorky.



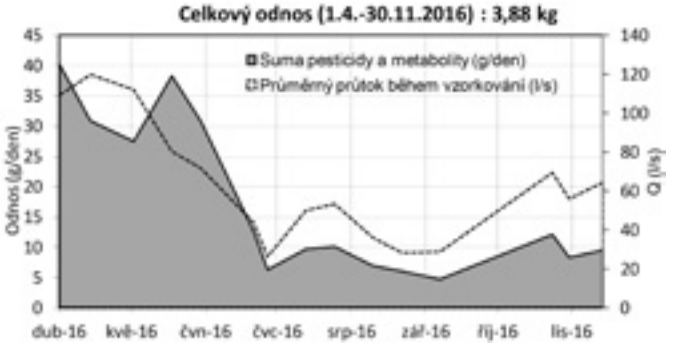
Obrázek 8. Vývoj koncentrací vybraných pesticidů a metabolitů během srážkové epizodní události (28. 5.–1. 6. 2016). Bodové a směsné dvoudenní vzorky.



Obrázek 9. Vývoj koncentrací metazachloru a jeho metabolitů během srážkové epizodní události (28. 5.–1. 6. 2016). Bodové a směsné dvoudenní vzorky.



Obrázek 10. Vývoj koncentrací metabolitů chloracetanilidových pesticidů během srážkové epizodní události (28. 5.–1. 6. 2016). Bodové a směsné dvoudenní vzorky.



Obrázek 11. Látková bilance všech měřených pesticidních látek v Čechtickém potoce na profilu Leský Mlýn v období od 1. 4. do 30. 11. 2016

Látková bilance

Na základě zjištěných údajů byl proveden výpočet látkové bilance celkového odnosu pesticidních látek z povodí Čechtického potoka v průběhu vzorkovacího období (4–11/2016). Do látkové bilance nebyly započteny speciální organické látky (např. DEET, benzotriazol a některé další). Epizody byly v bilanci zahrnuty pouze v rámci slévaných vzorků. Celkový odnos pesticidů činil ve vzorkovacím období 3,88 kg (obr. 11). Vzhledem k hydrologické situaci a průměrnému průtoku 63,5 l/s to není málo i s ohledem na to, že velké množství potenciálních metabolizovaných forem pesticidů není zatím měřeno. Nejvyšší odnosy v roce 2016 byly naměřeny právě při spuštění vzorkovací stanice (1. 4. 2016). Při výpočtech látkových odnosů pesticidních látek je tedy nutné zohledňovat i zimní, popřípadě brzké jarní období.

Tabulka 1. Přehled všech detekovaných pesticidů a jejich metabolitů v závěrovém profilu Čechtického potoka (profil Leský Mlýn) v období od 1. 4. do 30. 1. 2016. D – deriváty (metabolity), H – herbicidy, F – fungicidy, I – insekticidy, R – regulátory růstu, n – nedetekováno.

Čechtický potok		Pravidelné odběry		Epizody	
Látka	Typ	počet detekcí (počet vzorků)	rozsah koncentrace (ng/l)	počet detekcí (počet vzorků)	rozsah koncentrace (ng/l)
2,4-D		0 (15)	n	2 (18)	12-25
Acetochlor ESA	D	15 (15)	58-94	18 (18)	39-89
Acetochlor OA	D	4 (15)	21-30	4 (18)	23-33
Alachlor ESA	D	15 (15)	360-717	18 (18)	146-717
Atrazin-desethyl	D	2 (15)	11-11	2 (18)	11-12
Atrazine-2-hydroxy	D	13 (15)	10-16	17 (18)	10-27
Azoxystrobin	F	0 (15)	n	2 (18)	19-150
Bentazon	H	15 (15)	15-860	17 (18)	10-4500
Benzotriazol		15 (15)	56-260	18 (18)	46-211
Benzotriazol methyl	D	15 (15)	55-134	18 (18)	57-121
Carbendazim	F	2 (15)	22-27	8 (18)	10-590
Clomazone	F	5 (15)	10-110	10 (18)	10-950
Clothianidin	I	0 (15)	n	2 (18)	27-29
Cyprosulfamide	H	6 (15)	18-410	10 (18)	13-5900
DEET	I	15 (15)	13-290	18 (18)	12-334
Difenoconazole	F	2 (15)	12-36	0 (18)	n
Dimetachlor	H	0 (15)	n	1 (18)	14-14
Dimethachlor ESA	D	3 (15)	21-26	1 (18)	21-21
Dimethenomorph	F	7 (15)	23-490	5 (18)	12-110
Diuron		0 (15)	n	1 (18)	11-11
Epoxiconazol	F	0 (15)	n	3 (18)	12-45
Fluopicolide	F	2 (15)	11-17	0 (18)	n
Fluroxypyr	H	6 (15)	10-250	10 (18)	13-2400
Chloridazon desphen.	D	15 (15)	57-110	16 (18)	54-110
Chloridazon met.des.	D	15 (15)	12-22	17 (18)	11-21
Chlorotoluron	H	2 (15)	17-21	5 (18)	13-43
Chlorsulfuron	H	1 (15)	13-13	0 (18)	n
Imidacloprid	H	3 (15)	11-17	7 (18)	11-78
Isoproturon	H	3 (15)	16-17	4 (18)	12-25
Isoxaflutole	H	2 (15)	46-80	6 (18)	29-3500
Linuron	H	10 (15)	29-1270	14 (18)	11-9540
Mandipropamid	F	2 (15)	18-120	2 (18)	12-18
MCPA	H	3 (15)	13-27	3 (18)	12-27
Mesotrione	H	2 (15)	17-46	6 (18)	10-320
Metalaxyl	F	5 (15)	18-170	3 (18)	16-49
Metamitron	H	1 (15)	20-20	0 (18)	n
Metazachlor	H	0 (15)	n	3 (18)	12-23
Metazachlor ESA	D	15 (15)	625-2840	18 (18)	383-1770
Metazachlor OA	D	15 (15)	47-516	18 (18)	37-326
Metolachlor	H	3 (15)	11-16	4 (18)	17-72
Metolachlor ESA	D	15 (15)	83-240	18 (18)	45-218
Metolachlor OA	D	3 (15)	22-27	2 (18)	22-24
Metribuzin	H	4 (15)	14-120	9 (18)	11-2300
Parathion-methyl	I	0 (15)	n	1 (18)	22-22
Pethoxamid	H	0 (15)	n	1 (18)	13-13
Propiconazol	F	0 (15)	n	1 (18)	13-13
Tebuconazol	F	4 (15)	11-15	10 (18)	12-54
Terbuthylazin-DE-2-H	D	6 (15)	10-14	10 (18)	10-47
Terbutylazin	H	2 (15)	11-11	5 (18)	19-28
Terbutylazin-2-hydro	D	15 (15)	15-57	18 (18)	25-140
Terbutylazin-desetyl	D	1 (15)	10-12	9 (18)	13-55
Thiacloprid	I	0 (15)	n	2 (18)	10-40
Thiamethoxam	I	1 (15)	13-13	2 (18)	21-41
Thiencarbazone-meth.	H	5 (15)	12-260	9 (18)	13-2800
Trinexapac-ethyl	R	0 (15)	n	1 (18)	18-18

Závěr

Kontinuální vzorkování přináší přesnější výsledky o výskytu a množství pesticidů a jejich metabolitů v průběhu roku. Odnosy těchto látek korelují pozitivně i negativně s průtokem, záleží přitom na hydrologických podmínkách ve spojení s dobou aplikace látek na zemědělskou půdu [7]. Proto je třeba mít dokonalý přehled o užívání jednotlivých typů látek (ideálně formou spolehlivé elektronické evidence).

Dynamický vývoj v produkci a užívání pesticidů vede k obtížné identifikaci a stanovení nových a zatím neměřených látek [3]. Správci toků musí neustále zavádět nové analyty, dostávají se tak do situace, kdy mají výrazné zpoždění za zemědělskou aplikací.

Koncentrace látek se v povrchové vodě během srážko-odtokových epizod mění v řádu desítek minut, běžný čtyřtýdenní monitoring tak nemůže odhalit dynamiku jejich vyplavování [viz 6]. Velké množství látek, které se na plodiny již dlouhodobě aplikují, se v našich vodách v různých formách stabilně objevují. Záleží pouze na tom, jestli jsme schopni je zachytit a hlavně – situaci řešit [3].

Literatura

[1] FIALA, D. Detailní monitoring odnosu fosforu do VD Vranov. Vodní nádrže 2015: 6.–7. října 2015, Brno, Česká republika. Brno: Povodí Moravy, s.p., 2015.

[2] http://hydro.chmi.cz/pasporty/

[3] KNAUER, K. Pesticides in surface waters: a comparison with regulatory acceptable concentrations (RACs) determined in the authorization process and consideration for regulation. Environ Sci Eur, 2016, 28 (13), 1–7.

[4] KODEŠ, V. & GRABIC, R. Screening emergentních polutantů v povrchových vodách pomocí pasivních vzorkovačů. Vodní nádrže 2015: 6.–7. Října 2015, Brno, Česká republika. Brno: Povodí Moravy, s.p., 2015.

[5] KOSOUR, D. Kontinuální monitoring na LG Ptáčov. Za čistou řeku Jihlavu: 3. 12. 2015, Jihlava, 2015.

[6] LIŠKA, M. a kol. Problematika výskytu pesticidních látek v povrchových vodách v povodí vybraných vodárenských zdrojů. Vodní hospodářství, 2015, 1, 14–19.

[7] TANG a kol. A review of rapid transport of pesticides from sloping farmland to surface waters: Processes and mitigation strategies. Journal of Environmental Sciences, 2012, vol. 24(3) 351–361.

[8] Údaje z terénního průzkumu VÚMOP, v.v.i. v rámci řešení projektu TAČR (č. projektu: TA04021527).

[9] ZAJÍČEK, A. a kol. Vyplavování pesticidních látek zemědělskou drenáží. Rostlinolékař, 2017, č. 4, s. 24–28.

DYNAMIKA FYTOPLANKTONU VODÁRENSKÉ NÁDRŽE HAMRY V PRŮBĚHU BIOMANIPULAČNÍCH OPATŘENÍ

Radovan Kopp[1], **Tomáš Zapletal**[2], **Pavel Jurajda**[3], **Zdeněk Adámek**[3], **Lukáš Jurek**[1], **Lenka Hadašová**[1]

[1]*Mendelova univerzita v Brně, Ústav zoologie, rybářství, hydrobiologie a včelařství, Zemědělská 1, 613 00 Brno, tel. +420 545 133 268, fcela@seznam.cz*
[2]*Povodí Labe, státní podnik, Víta Nejedlého 951, 500 03 Hradec Králové*
[3]*Ústav biologie obratlovců AV ČR, v.v.i., Květná 8, 603 65 Brno*

Abstrakt

Cílem příspěvku je zhodnotit rozvoj fytoplanktonu vodárenské nádrže Hamry v průběhu let 2007 až 2016 a poukázat na faktory prostředí, které ovlivňují jeho abundanci a biomasu. V nádrži jsou od roku 2009 prováděna biomanipulační opatření, která vedla ke snížení biomasy kaprovitých ryb a zvýšení biomasy větších druhů zooplanktonu. Abundance fytoplanktonu se přesto zvýšila hlavně v důsledku nadměrného rozvoje koloniálních planktonních sinic, které nejsou pro zooplankton vhodným potravním zdrojem. Ke zvýšení rozvoje fytoplanktonu přispívá i dostatek živin, především fosforu v nádrži a anoxické podmínky u dna nádrže v průběhu letního období. Meziroční rozdíly ve složení a abundanci sinic a řas jsou ovlivněny hlavně různou dobou zdržení vody a klimatickými podmínkami daného roku.

***Klíčová slova**: VN Hamry; fytoplankton; sinice; biomanipulace.*

Abstract

The aim of study is the evaluation of phytoplankton development in the Hamry reservoir in the period of 2007 to 2016, and pointing out the environmental factors, which affect its abundance and biomass. Since 2009, the biomanipulation measures, which led to decreasing biomass of cyprinids and increasing biomass of large filtering zooplankton species, were conducted. Nevertheless, phytoplankton abundance increased, mainly as a result of excessive development of colonial planktonic cyanobacteria, which are not a suitable food source for zooplankton. Sufficient nutrient, especially phosphorous, concentrations in the reservoir and anoxic conditions at its bottom during summer period, resulted in increased development of phytoplankton. Inter-annual differences in the composition and abundance of cyanobacteria and algae have been influenced mainly by hydraulic retention times and climatic conditions of particular years.

***Keywords**: Hamry reservoir; phytoplankton; cyanobacteria; biomanipulation.*

Úvod

Přehradní vodárenská nádrž Hamry byla vybudována na řece Chrudimce v letech 1907–1912 především pro stabilizaci průtoků (letního sucha a pravidelných povodní). Nachází se mezi obcemi Hamry a Studnice, v blízkosti města Hlinska v Pardubickém kraji, v nadmořské výšce 602 m n. m., s osou nádrže jih – sever. Plocha povodí nádrže dosahuje 56,8 km², její zásobní prostor činí 1,206 mil. m³ (plocha 42,3 ha) při průměrné hloubce nádrže 2 metry a maximální hloubce u hráze 7,5 metru. Doba zdržení vody v nádrži je kolem 70 dnů, průměrný roční průtok činí 0,74 $m^3.s^{-1}$ a v oblasti je průměrný roční úhrn srážek 816 mm.

Od roku 2008 je nádrž využívána jako modelový objekt pro biomanipulační zásahy v rámci zlepšení kvality vody v nádrži. Od roku 2009 je v nádrži průběžně redukována biomasa tzv. planktonožravých kaprovitých ryb (konkrétně cejn velký a plotice obecná) intenzivním odlovem ve všech stádiích vývoje s cílem dosáhnout takové úrovně, která by se projevila pozitivně v početnosti velkých druhů filtrujícího zooplanktonu a následné redukci fytoplanktonu, tj. v kvalitě vody.

Systém „účelových rybích obsádek" uplatňovaný na našich vodárenských nádržích funguje na principu potravní pyramidy, kdy podporou výskytu dravých druhů ryb a omezením zooplanktonofágních druhů ryb dochází ke zvýšení rozvoje zooplanktonu, který pak svým zvýšeným predačním tlakem omezuje rozvoj fytoplanktonu. Tento systém je podporován vhodnými biomanipulačními zásahy, např. regulačními odlovy kaprovitých ryb zátahovými nebo tenatovými sítěmi, manipulací s vodní hladinou, sběrem nakladených jiker nežádoucích druhů ryb a vysazováním dravých druhů ryb do nádrže.

Vzhledem k jedinečnosti každého vodního útvaru a celé řadě dalších faktorů, které působí na jednotlivé články potravního řetězce, nelze redukci biomasy fytoplanktonu i s využitím biomanipulací jednoznačně predikovat. Významný vliv na rozvoj fytoplanktonu mají rovněž klimatické podmínky, dostupnost živin, morfologie nádrže, doba zdržení vody v nádrži aj., což jsou faktory, které v některých případech mohou zapříčinit nadměrný rozvoj sinic a řas i v podmínkách prováděných biomanipulačních opatření.

Na základě výsledků rozborů fytoplanktonu z let 2007 až 2016 prováděném státním podnikem Povodí Labe a podrobnějšího sledování rozvoje fytoplanktonu v roce 2015 provedeném pracovníky Mendelovy univerzity se ukázalo, že pouhá biomanipulace k dosažení předpokládaných efektů nestačí. I když prokazatelně došlo k redukci planktonožravých ryb a zvýšení abundance velkých filtrujících perlooček, očekávané snížení biomasy fytoplanktonu nebylo zjištěno. Biomasa fytoplanktonu zůstala v pozdním létě a podzimních měsících na vysoké úrovni s převahou planktonních sinic. Toto složení společenstva indikuje zřejmý vliv dalších faktorů (bilance a úroveň dostupných živin, klimatické podmínky, doba zdržení vody aj.), které i přes zjištěné zvýšení biomasy větších druhů filtrujícího zooplanktonu umožňují vysoký rozvoj biomasy fytoplanktonu.

Materiál a metodika

V rámci standardního monitoringu prováděném pracovníky Povodí Labe byly sledovány pomocí multiparametrické sondy

základní fyzikálně-chemické parametry, odebírány vzorky pro vybrané chemické analýzy a také vzorky pro stanovení fytoplanktonu a zooplanktonu. Odběry vzorků byly prováděny pomocí hloubkového odběrového zařízení typu Friedinger. Celkový fosfor byl stanoven metodou dle normy ČSN EN ISO 6878 [1] ve vzorku před a po filtraci. Vyznačení odběrových míst je uvedeno na obrázku č. 1. Průhlednost vody byla stanovována na všech odběrových místech pomocí Secchiho desky. Sledování a měření v tomto rozsahu proběhla každoročně v měsících březen (duben), květen (červen), červenec, září a listopad.

Vzorky fytoplanktonu byly konzervovány kyselým Lugolovým roztokem. Determinace v laboratoři probíhala v sedimentační komůrce (10 ml) v invertovaném mikroskopu dle Komárkové [2]. Přítomné sinice a řasy byly spočítány a výsledky vyjádřeny jako počet buněk v jednom ml. Vzorky zooplanktonu byly odebírány pomocí planktonní síťky o průměru 20 cm a velikosti ok 100 µm na profilu č. 1 horizontálním tahem v délce 6 m, vzorky z profilů č. 4 a 8 byly odebírány vertikálními tahy dno–hladina dle Přikryla [3]. Vzorky byly konzervovány přídavkem formaldehydu do výsledné koncentrace cca 4 %. Přítomné organizmy byly v laboratoři spočítány a determinovány v komůrce (typ Sedgwick-Rafter) a výsledky vyjádřeny jako počet jedinců v jednom m^3 ve velikostní kategorii <0,7 a ≥0,7 mm.

Klimatická data z dané oblasti (průměrná teplota vzduchu, denní doba slunečního svitu, úhrn srážek) byla převzata z meteorologické stanice s profesionální obsluhou a automatizovaným měřícím systémem v Přibyslavi (49.5827778N, 15.7625000E) vzdálené přibližně 20 km od nádrže Hamry. Přítok do nádrže byl vypočítán na základě bilančních údajů vodohospodářského dispečinku Povodí Labe o odtoku a rozdílu hladin v nádrži.

V roce 2015 byly odběry vzorků vody a biologického materiálu prováděny za účelem zachycení epizodních změn ve složení fytoplanktonu, zooplanktonu a chemických parametrů v kratším intervalu (13 odběrů v průběhu vegetační sezóny březen–listopad). Po obeznámení s geomorfologií nádrže jsme zvolili pro odběr vzorků 8 odběrových míst (viz mapa odběrových míst, obrázek 1). Odběr vzorků vody pro chemické analýzy a kvantifikaci fytoplanktonu byl prováděn trubkovým vzorkovačem o průměru 4,5 cm z hloubkového profilu hladina – 30 cm. Bezprostředně na místě byla zjišťována koncentrace rozpuštěného kyslíku, procentuální nasycení vody kyslíkem, teplota a průhlednost vody.

Determinace a stanovení počtu buněk fytoplanktonu bylo prováděna ve vzorku konzervovaném Lugolovým roztokem po zahuštění na ultrafiltračním zařízení dle Marvana [4] za využití optického mikroskopu a vyjádřeny v počtu buněk v 1 ml. Pro kvantitativní stanovení zooplanktonu byl prováděn horizontálním tah planktonní síťkou o průměru 30 cm v délce tahu 4–6 m, a po zkoncentrování zooplanktonu byl vzorek převeden do lahvičky s konzervačním roztokem 4% formaldehydu [3]. Analýza zooplanktonu byla prováděna v Sedgwick–Rafterově komůrce. Po taxonomické identifikaci dominantních druhů byli spočítáni zástupci z jednotlivých funkčních skupin (perloočky, klanonožci a vířníci). Pro zhodnocení filtrační efektivity byla použita velikostní kategorizace jedinců nad a pod 0,7 mm.

Koncentrace kyslíku, procentické nasycení vody kyslíkem a teplota vody byly stanovovány pomocí přístroje HACH Hq 40D (Hach–Lange, Colorado, USA). Průhlednost vody byla zjišťována pomocí Secchiho desky. Sledované hodnoty chemických parametrů byly stanoveny za využití standardních metod pro analýzy povrchových vod [5]. Stanovení koncentrace chlorofylu a bylo prováděno fotokolorimetricky po extrakci do ethanolu dle ČSN ISO 10260 [6]. Veškerá fotokolorimetrická stanovení byla prováděna spektrálním fotometrem PhotoLab Spektral firmy WTW.

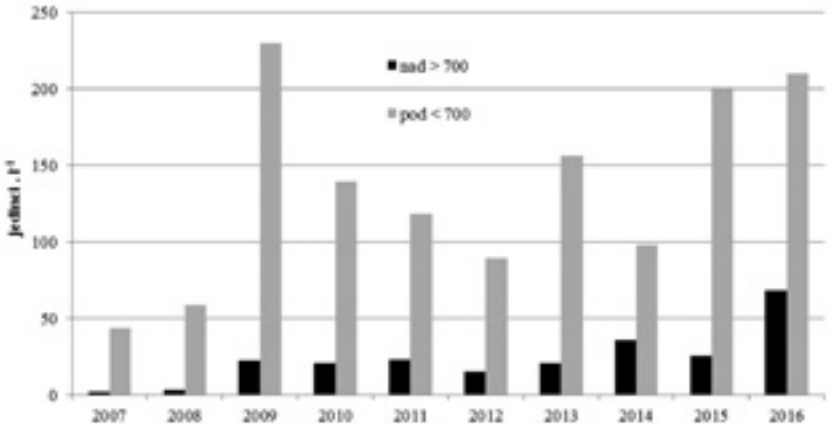
V červenci 2015 byl na nádrži realizován odběr sedimentu Ekmanovým drapákem (povrchová vrstva cca 0–10 cm) na vybraných 16 místech po celé nádrži. Cílem odběru bylo získat informaci o podílu celkového a dostupného (využitelného) fosforu v sedimentu nádrže. Obsah celkového fosforu byl stanoven ve vodném výluhu dle ČSN EN 12457-4 [7], ve výluhu dle Mehlich III a extrakcí lučavkou královskou dle standardních metodik.

Výsledky a diskuze

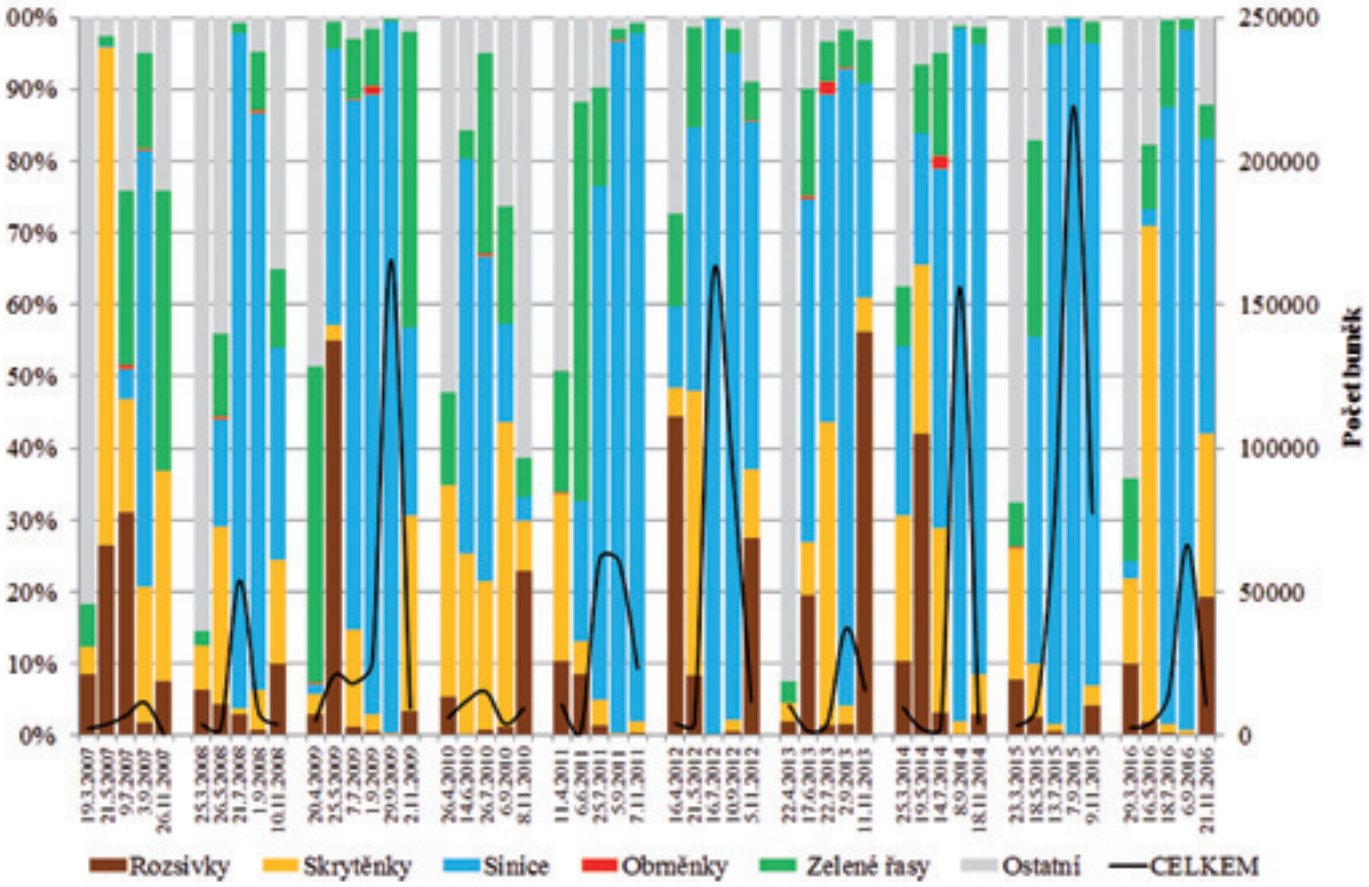
Výsledky sledování jsou uvedeny v grafech 1 až 8. Jak je patrné z grafu. č. 1, ihned po začátku biomanipulací se společenstvem kaprovitých ryb (rok 2009) dochází ke zvýšení abundance i velikostní struktury zooplanktonu. V letech předcházejících biomanipulačním zásahům (2004–2008) se velikostní skupina zooplanktonu nad 700 µm objevovala v nádrži jen sporadicky [8]. Vyšší predační tlak zooplanktonu se ale neprojevil ve snížené biomase fytoplanktonu.

Jak je patrné z grafu 2, přes značné rozdíly v abundanci fytoplanktonu v jednotlivých letech nedochází ke snížení celkové biomasy sinic a řas, která především v měsících září a říjen dosahuje vysokých hodnot. Tento stav je indikován i snižováním průměrné

Obrázek 1. Mapa nádrže Hamry s vyznačením vzorkovacích profilů vzorkovaných v roce 2015 (vzorkovací profily 1,4 a 8 jsou sledované Povodím Labe 5x ročně)



Graf 1. Počet jedinců zooplanktonu (nad a pod 700 µm) na nádrži Hamry v letech 2007 až 2016 *(průměrné roční hodnoty ze všech sledovaných lokalit)*



Graf 2. Hlavní taxonomické skupiny fytoplanktonu a počet buněk na nádrži Hamry v letech 2007 až 2016

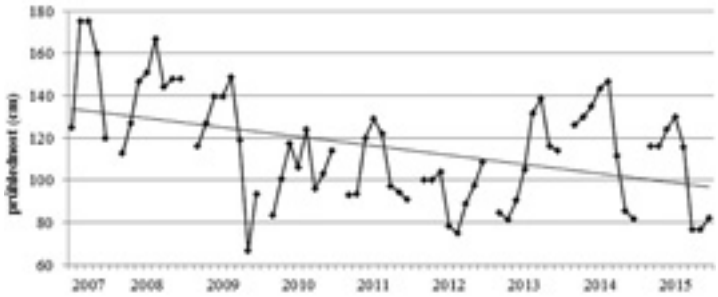
průhlednosti vody (graf 3) v nádrži. Epizodně je sice průhlednost ovlivňována minerálním zákalem za vyšších průtoků, ale tyto situace lze odfiltrovat s využitím průběžně prezentovaného koeficientu obměny. Omezení společenstva kaprovitých ryb v nádrži a zvýšení biomasy zooplanktonu tak nevedlo k předpokládanému cíli – snížení biomasy fytoplanktonu a zlepšení kvality vody v nádrži.

Příčin, proč dochází k opačnému trendu v rozvoji společenstva fytoplanktonu, může být více. Jedním z hlavních faktorů ovlivňující rozvoj fytoplanktonu je množství dostupných živin. Klíčovou živinou je fosfor, který bývá nejčastějším limitujícím faktorem rozvoje fytoplanktonu. Stěžejním faktorem je množství fosforu v přítokové vodě do nádrže. Graf 4 ukazuje hodnoty celkového fosforu v přítoku do nádrže, které mají za sledované období nežádoucí, mírně rostoucí, trend. Vzhledem k existenci ČOV a produkčně využívaných rybníků v povodí nad nádrží, mohou krátkodobé epizodní situace (výlov rybníků, odlehčení ČOV aj.), často nezachycené standardním monitoringem, podíl fosforu v nádrži významně zvýšit.

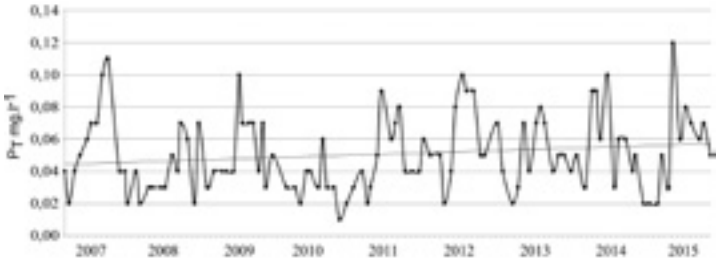
Benndorf et al. [9] uvádějí horní limit celkového fosforu na přítoku do nádrže pro efektivní účinnost biomanipulací 0,6–0,8 g P_T. m^{-2}. rok^{-1}, podobně Jeppesen et al. [10] udávají koncentraci 0,1 $mg.l^{-1}$ fosforu v povrchové vrstvě vody jezer jako horní limit pro dlouhodobý pozitivní efekt biomanipulací. Na základě průměrných přítoků v jednotlivých letech do nádrže Hamry a průměrné hodnotě celkového fosforu v přítokové vodě (0,05 $mg.l^{-1}$) přiteklo v letech 2008–2015 do nádrže 700 až 1350 kg fosforu ročně, což jsou po přepočtu na plochu nádrže vyšší hodnoty než je horní limit udávaný Benndorf et al. [9]. Hladinový fosfor v nádrži Hamry je ve většině případů pod maximálním doporučovaným limitem udávaným Jeppesen et al. [10], ale např. v roce 2015 byla v září při vysoké biomase sinic naměřena hladinová hodnota celkového fosforu 0,21 $mg.l^{-1}$. K překročení doporučovaného limitu 0,1 $mg.l^{-1}$ tak občas může docházet.

Průzkum složení sedimentů nádrže Hamry, provedený v roce 2015 ukázal vysokou různorodost jejich složení. Sušina sedimentu z 16 odebraných vzorků kolísala v rozmezí od 16,8 do 78,0 %. Hodnoty fosforu ve vodném výluhu kolísaly v rozmezí 1,1 až 2,9 $mg.l^{-1}$ (průměr 1,67), ve výluhu dle Mehlich III 17,5 až 83,0 $mg.l^{-1}$ (průměr 45,6) a celkový fosfor (extrakce lučavkou královskou) se pohyboval v rozpětí od 169 do 1730 $mg.l^{-1}$ (průměr 723). Při porovnání s jinými lokalitami jsou zjištěné hodnoty dostupného fosforu (Mehlich III) nádrže Hamry vysoké a dosahují hodnot srovnatelných s eutrofními rybníky [11]. V hlubších částech nádrže Hamry dochází ve vegetačním období ke kyslíkové stratifikaci s výskytem kyslíkové anoxie u dna nádrže; v roce 2015 při podrobnějším monitoringu byl tento stav zjištěn již na začátku června. Vysoký podíl dostupného fosforu v sedimentu a jeho uvolňování pak může za těchto podmínek výrazně ovlivňovat rozvoj planktonního společenstva nádrže. V eufotické vrstvě se pak může jeho koncentrace nárazově zvýšit, především v případech, kdy dojde k promíchání vody v nádrži např. za zvýšených přítoků nebo za větrného počasí. Hypolimnetická anoxie může rovněž omezovat top-down efekt v eutrofních vodách díky narušení diurnálních migrací některých druhů zooplanktonu [12].

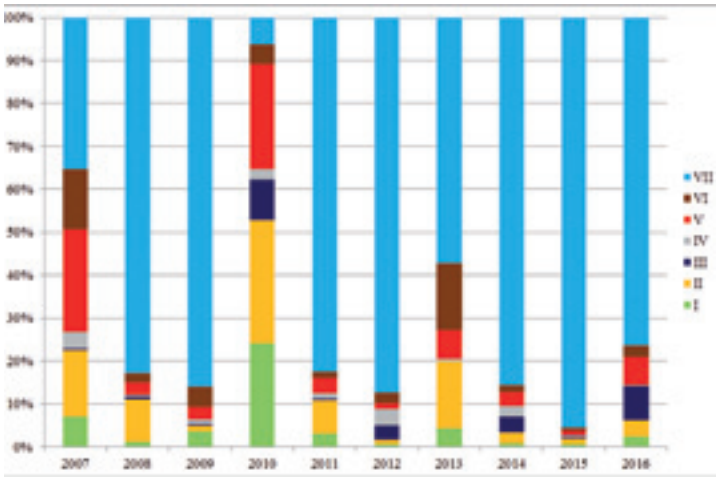
Společenstvo fytoplanktonu nádrže Hamry je v jarním období tvořeno převážně rozsivkami, skrytěnkami, zlativkami a v průběhu nejteplejších měsíců roku pak bývá doplněno či nahrazeno planktonními sinicemi. Poměrně nízkých abundancí dosahují ve společenstvu zelené řasy. Od počátku provádění biomanipulací v nádrži Hamry (2009) dochází ke zvyšování abundance kokálních planktonních sinic (především rod *Woronichinia*) hlavně v závěru vegetačního období (srpen–říjen). V případě teplotně nadprůměrných let s nízkými průtoky vody pak abundance sinic běžně přesahuje 100 tisíc buněk v 1 ml hladinové vrstvy vody.



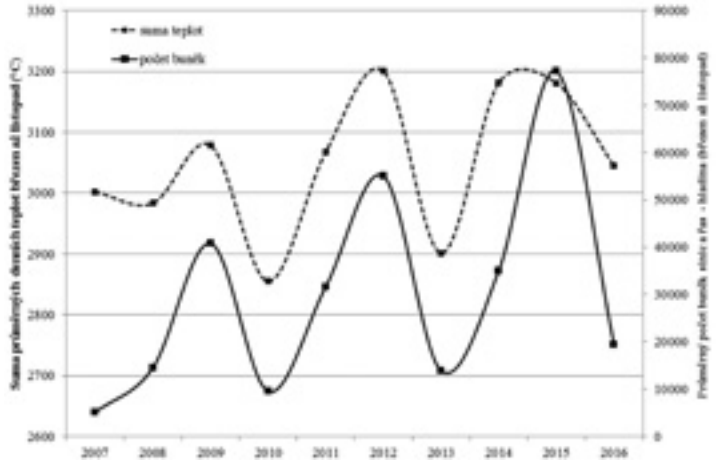
Graf 3. Průměrná měsíční průhlednost vody (březen–říjen) nádrže Hamry v letech 2007 až 2015



Graf 4. Celkový fosfor na přítoku do nádrže Hamry v letech 2007 až 2015



Graf 5. Rozdělení fytoplanktonu nádrže Hamry v letech 2007 až 2016 do funkčních skupin na základě morfologie (v procentech průměrného počtu buněk dané skupiny za rok)



Graf 6. Závislost abundance fytoplanktonu nádrže Hamry na průměrné teplotě v oblasti

Pokud rozdělíme společenstvo fytoplanktonu nádrže Hamry do morfologicky funkčních skupin (dle Kruk et al [13]; obrázek 2) zjistíme ve většině sledovaných let dominanci skupiny VII, tedy sinic a řas tvořících velké slizové kolonie (graf 5). Společně se skupinou III je skupina VII velmi odolná vůči predačnímu tlaku zooplanktonu a od začátku prováděných biomanipulací má abundance těchto skupin rostoucí trend. Ostatní funkční skupiny, především díky jejich lepší přijatelnosti jako potravy pro zooplankton, se vyskytují v průběhu biomanipulací s klesajícím trendem.

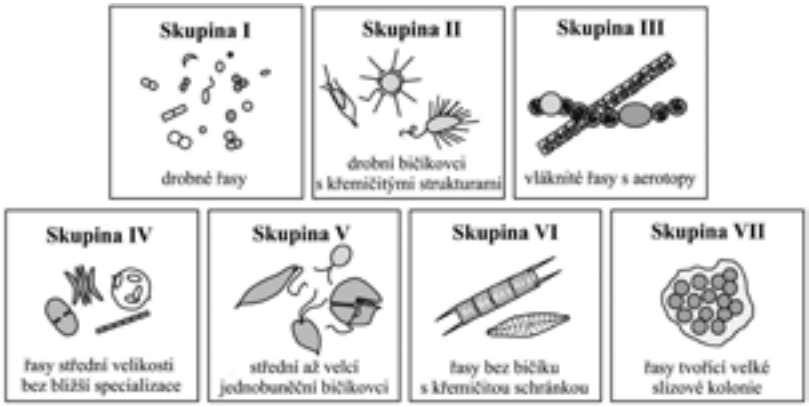
Nejnižší abundance sinic a řas s vyšším podílem potravně přijatelnějších funkčních skupin pro zooplankton jsme na nádrži Hamry v průběhu prováděných biomanipulací zaznamenali v letech 2010 a 2013. Důvody pro nižší biomasu fytoplanktonu můžeme hledat především v rozdílných klimatických podmínkách jednotlivých let. V roce 2010 a 2013 byly sumy teplot vzduchu a vody za vegetační období (březen–listopad) sledovaných let nejnižší, naopak v letech 2012, 2014 a 2015, kdy byla biomasa fytoplanktonu vysoká, byly naměřeny i nejvyšší sumy teplot vzduchu (graf 6). Dalším faktorem, který výrazně ovlivňuje abundanci fytoplanktonu nádrže je intenzita přítoku, především vyšší průtoky, které způsobí promíchání vody v nádrži rozrušením stratifikace. Rozvoji sinic a řas funkční skupiny VII míchání vodních vrstev neprospívá a dochází ke snížení jejich abundance.

Dalším faktorem snižujícím abundanci sinic a řas jsou zvýšené průtoky vody nádrží. V letech 2010 a 2013 s nejnižší zjištěnou abundancí fytoplanktonu byly zaznamenány i nejvyšší roční průtoky vody. Ze sledovaných let 2008–2015 pouze v letech 2010 a 2013 byly zaznamenány vyšší průtoky i v průběhu letního období (měsíc červen, max. průměrný denní přítok 9,5 $m^3.s^{-1}$), čímž byla narušena stratifikace vody a omezen rozvoj planktonních sinic. Klimatické podmínky v oblasti tak mají významný vliv na rozvoj fytoplanktonu v daném roce a jsou jedním z hlavních faktorů způsobujících meziroční rozdíly v kvantitě i kvalitě společenstva sinic a řas.

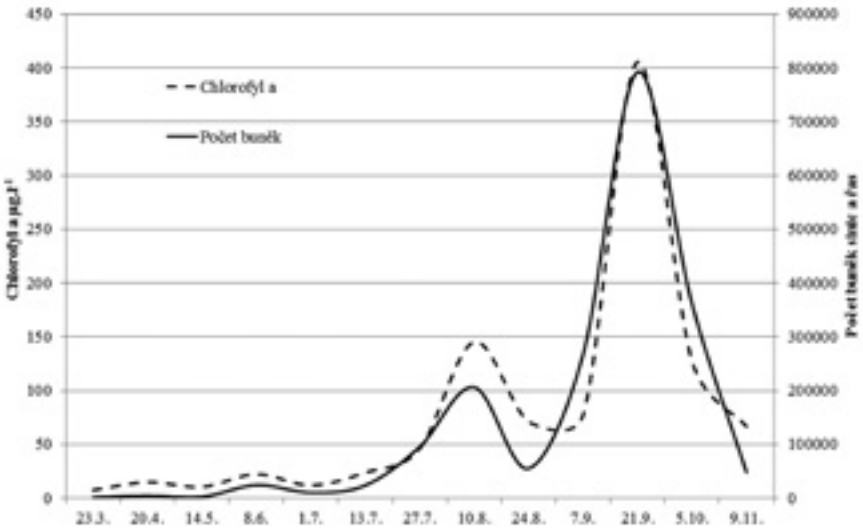
Výsledky podrobnějšího sledování v roce 2015, kdy došlo k zatím největšímu rozvoji planktonních sinic na nádrži Hamry, velmi názorně ukazují rozdíly v abundanci fytoplanktonu v podélném profilu nádrže. Největší rozdíly v abundanci fytoplanktonu byly zaznamenány mezi lokalitami 1 (přítok) a 8 (hráz) a to výraznější při zvýšených průtocích a/nebo působením větru. Vítr v závislosti na jeho směru zvyšuje abundanci sinic a řas na návětrné straně nádrže. V případě déletrvajících stabilních klimatických podmínek byly rozdíly v abundanci mezi jednotlivými lokalitami zanedbatelné.

Monitoring v časově kratším intervalu ve srovnání se standardním monitoringem Povodí Labe umožnil zaznamenat i dvě epizodní situace v průběhu vegetační sezóny (graf 7 a 8). Snížení abundance fytoplanktonu v odběrovém termínu 24. 8., který byl způsoben změnou klimatických podmínek několik dnů před odběrem. Došlo k významnému poklesu teploty vody i vzduchu, krátkodobým intenzivním srážkám spojených s nízkou intenzitou slunečního svitu a zvýšením přítoku vody do nádrže. Spolupůsobení těchto faktorů způsobilo pokles abundance sinic a řas v odebraných vzorcích z hladinové vrstvy.

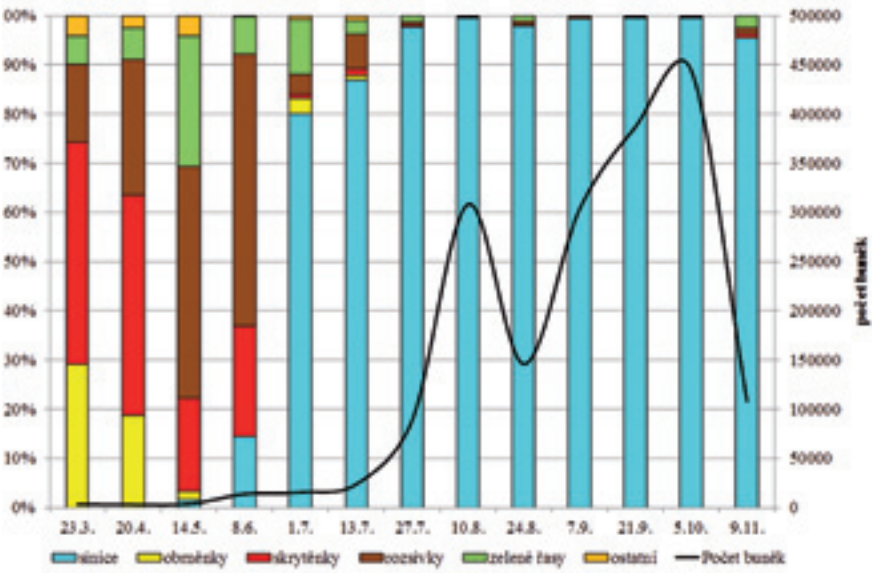
Naopak v odběrových termínech 21. 9. a 5. 10. došlo za poměrně stabilních klimatických podmínek k nárůstu abundance sinic na všech sledovaných lokalitách. Maximální počet buněk 792 tisíc sinic a řas byl zaznamenán na lokalitě 8, 21. 9. Tato vysoká abundance fytoplanktonu se projevila i pro vodárenskou nádrž extrémně vysokou hodnotou hladinového chlorofylu a (405,5 $\mu g.l^{-1}$).



Obrázek 2. Rozdělení fytoplanktonu do funkčních skupin na základě morfologie. Vnímavost k predačnímu tlaku zooplanktonu vysoká – skupiny I a IV, střední – skupiny II, V, VI a nízká – skupiny III a VII (upraveno dle Kruk a Segura [14]; Kruk et al. [13], [15]; Colina et al. [16]).



Graf 7. Počet buněk fytoplanktonu a hodnota chlorofylu a na nádrži Hamry u hráze (lokalita 8) v průběhu vegetační sezóny 2015



Graf 8. Hlavní skupiny fytoplanktonu a počet buněk na nádrži Hamry v průběhu roku 2015 (průměrná hodnota ze všech sledovaných lokalit)

Závěr

Víceletý monitoring rozvoje fytoplanktonu vodárenské nádrže Hamry v průběhu prováděných biomanipulačních opatření poukázal na složitost a provázanost faktorů ovlivňujících abundanci a biomasu sinic a řas. Efektivní snížení biomasy kaprovitých ryb umožnilo vzestup abundance větších druhů filtrujícího zooplanktonu, což se však neprojevilo ve snížení abundance a biomasy fytoplanktonu. Zvýšený predační tlak zooplanktonu snížil abundanci sinic a řas drobné a střední velikosti, naopak abundance vláknitých a koloniálních planktonních sinic se zvýšila. Jedním z hlavních faktorů umožňujících zvýšený rozvoj planktonních sinic je dostatek živin, především dostupných forem fosforu. Sinice mají rovněž snadnější přístup k živinám díky omezení konkurujících skupin řas spásaných většími druhy zooplanktonu K omezení rozvoje fytoplanktonu nepřispívají ani sedimenty bohaté na dostupný fosfor a jeho uvolňování do vody za anoxických podmínek u dna nádrže v průběhu letního období. Meziroční rozdíly v abundanci a druhovém složení sinic a řas výrazně ovlivňují klimatické podmínky v oblasti a s tím spojená intenzita průtoku vody nádrží (resp. doba zdržení). Klíčovým faktorem pro snížení abundance fytoplanktonu na nádrži Hamry proto zůstává omezení dostupnosti živin, především fosforu.

Poděkování

Studie vznikla ve spolupráci a za finanční podpory podniku Povodí Labe, s.p., a projektu NAZV QJ1620240.

Literatura

[1] ČSN EN ISO 6878 (757465) – Jakost vod – Stanovení fosforu Spektrofotometrická metoda s molybdenanem amonným. 2005. 24 s.

[2] KOMÁRKOVÁ J. Metodika odběrů a zpracování vzorku fytoplanktonu stojatých vod. VÚV TGM, 2006. 11 s.

[3] PŘIKRYL, I. Metodika odběru a zpracování vzorků zooplanktonu stojatých vod. Metodika VÚV TGM Praha, 2006. 14 s.

[4] MARVAN, P. K metodice kvantitativního stanovení nanoplanktonu pomocí membránových filtrů. Preslia 29, 1957, s.76–83.

[5] HORÁKOVÁ, M. (ed.) Analytika vody. VŠCHT Praha, 335 s. 2007. ISBN 978-80-7080-520-6.

[6] ČSN ISO 10260 Jakost vod. Měření biochemických ukazatelů. Spektrofotometrické stanovení koncentrace chlorofylu–a. 1996. 12 s.

[7] 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.

[8] JURAJDA, P., ADÁMEK, Z., JANÁČ, M., VALOVÁ, Z., REDERER, L., ZAPLETAL, T., KOZA, V. a ŠPAČEK J. Zhodnocení čtyřletého úsilí o uplatnění biomanipulačních opatření na vodárenské nádrži Hamry. In: Kosour, D. (ed.): Vodní nádrže 2013, 25.–26. 9. 2013, Brno.

[9] BENNDORF, J., BOING W., KOOP J. a NEUBAUER I. Top-down control of phytoplankton: the role of time scale, lake depth and trophic state. Freshwater Biology, 47, 2002, s. 2282–2295.

[10] JEPPESEN, E., JENSEN, J.P., KRISTENSEN, P., SØNDERGAARD, M., MORTENSEN, E., SORTKJAER, O. a OLRIK, K. Fish manipulation as a lake restoration tool in shallow, eutrophic, temperate lakes 2: threshold levels, long-term stability and conclusions. Hydrobiologia 200/201, 1990, s. 219–227.

[11] POTUŽÁK, J. a DURAS, J. Retence živin v rybnících – význam, hodnocení a možnosti jejího využití. Vodní hospodářství 7, 2015, s. 7–15.

[12] DAWIDOWICZ, P., PREJS, A., ENGELMAYER, A., MARTYNIAK, A., KOZŁOWSKI, J., KUFEL, L. a PARADOWSKA, M. Hypolimnetic anoxia hampers top-down food-web manipulation in a eutrophic lake. Freshwater Biology 47, 2002, s. 2401–2409.

[13] KRUK, C., HUSZAR, V., PEETERS, E., BONILLA, S., LURLING, M., REYNOLDS, C. a SCHEFFER, M. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. Freshwater Biology 55, 2010, s. 614–627.

[14] KRUK, C. a SEGURA, A. The habitat template of phytoplankton morphology-based functional groups. Hydrobiologia 698, 2012, s. 191–202.

[15] KRUK, C., SEGURA, A., COSTA, L., LACEROT, G., KOSTEN, S., PEETERS, E., HUSZAR, V., MAZZEO, N. a SCHEFFER, M. Functional redundancy increases towards the tropics in lake phytoplankton. Journal of Plankton Research 39(3), 2017, s. 518–530.

[16] COLINA, M., CALLIARI, D., CARBALLO, C. A KRUK, C. A trait-based approach to summarize zooplankton–phytoplankton interactions in freshwaters. Hydrobiologia 767, 2016, s. 221–233.

VODNÍ NÁDRŽE A VNITROZEMSKÁ PLAVBA

Klára Němcová

Státní plavební správa, Jankovcova 4, 170 04 Praha 7,
tel. +420 234 637 100, nemcova.klara@plavebniurad.cz

Abstrakt

Státní investice do budování infrastruktury vodních cest, příznivá ekonomická situace, změna legislativy a bezpečnostní situace ve světě přináší nebývalý rozvoj rekreační vnitrozemské plavby v České republice. To dokládají i evidence vedené Státní plavební správou, meziročně roste počet nově evidovaných plavidel i počet osob oprávněných k jejich vedení. Právní rámec vnitrozemské plavby a změny legislativy přijaté v roce 2015. Jaká je interakce rekreační plavby s ostatními účely, které byly stanoveny při budování vodních nádrží. Vliv tohoto trendu na bezpečnost plavebního provozu, aktuální vývoj nehodovosti. Opatření Státní plavební správy přijatá k zajištění bezpečnosti plavebního provozu. Jak na tento trend reaguje samospráva v různých částech České republiky.

Klíčová slova: *plavba; evidence; bezpečnost; nehodovost; opatření.*

Abstract

State investment in the construction of waterway infrastructure, favorable economic situation, changes of legislation and the security situation in the world brings unprecedented development of recreational water navigation in the Czech Republic. All of this is proved in database of Czech Navigation Authority. Every year the number of new registered vessels and the number of authorized persons increase. Legal framework of inland navigation and changes to legislation adopted in 2015. What is the interaction of recreational voyages with other purposes, which have been set during the construction of water reservoirs. Influence of this trend on water traffic safety and the development of actual accidents. Measures that the Czech Navigation Authority have adopted to ensure safer navigation and how on this trend react self-governed authority in different parts of Czech Republic.

Keywords: *navigation; database; safety; accident; measures.*

Úvod

V posledních letech jsme svědky zvyšujícího se zájmu občanů České republiky o rekreační plavbu. Je tedy jistě žádoucí se tímto trendem zabývat, hledat jeho příčiny.

Příčiny narůstajícího zájmu o rekreační plavbu

Stát prostřednictvím své investorské organizace poměrně dlouhou dobu investuje nemalé prostředky do splavnění nových úseků vodních cest a do budování navazující infrastruktury již splavných vodních cest. Na prvním místě je třeba zmínit úspěšný projekt splavnění původně průmyslového Baťova kanálu. Jistě při prvních myšlenkách na tento projekt ani největší optimisté nepočítali s tím, že se tato vodní cesta stane jednou z nejoblíbenějších v České republice. Zřejmě by bylo velmi troufalé představovat si, že nově splavněná vodní cesta ročně uvítá 95 000 návštěvníků a že zde bude proplaveno cca 3500 lodí za sezónu. Existence této vodní cesty přinesla obrovský rozvoj navazující podnikatelské aktivity a celkově přispěla k velkému oživení regionu ať z pohledu podnikatelské základny nebo pracovních příležitostí. Dlouhotrvající snaha o splavnění Vltavy z Českých Budějovic do Prahy pro rekreační plavbu vyvrcholila v letošním roce otevřením plavební komory. Kromě těchto významných projektů je třeba zmínit i budování veřejných přístavů, vývazišť a přístavišť na labsko-vltavské vodní cestě, ale i na Baťově kanálu a navazujících úsecích Moravy. Všechny tyto investice přináší komfort pro rekreační plavbu a umožňují tak možnost strávit krásnou a nevšední rodinnou dovolenou.

V kombinaci se zhoršující se bezpečnostní situací v některých destinacích obvyklých pro dovolenou se tak z rekreační plavby stala vítaná tuzemská alternativa k zahraniční dovolené mnoha českých rodin. Dalším faktorem, který v posledních letech ovlivnil zájem o rekreační plavbu, je příhodná ekonomická situace a zvyšující se dostupnost plavidel na českém trhu.

Významnou překážku v České republice představoval poměrně restriktivní přístup legislativy k možnosti provozovat plavbu plavidly se spalovacími motory. Tento byl zmírněn významnou novelizací právních předpisů upravujících vnitrozemskou plavbu.

Statistiky dokládající zvyšující se zájem o rekreační plavbu

Trend zvyšujícího se zájmu českých občanů o rekreační plavbu je patrný také z evidencí Státní plavební správy. Státní plavební správa jako prvoinstanční správní orgán konající dozor nad vnitrozemskou plavbou vede několik evidencí. Malá a rekreační plavidla jsou evidována v rejstříku malých plavidel, který v současné době obsahuje cca 16500 těchto plavidel. Další evidencí, ze které je tento trend patrný, je evidence držitelů průkazu způsobilosti k vedení malého a rekreačního plavidla. V níže uvedených tabulkách je uveden vývoj posledních let v počtech evidenci podléhajících rekreačních plavidel, také počty držitelů průkazů způsobilosti.

Tabulka 1. Vývoj počtu nově evidovaných malých plavidel v rejstříku malých plavidel

Rok	Počet nově evidovaných malých plavidel
2012	600
2013	576
2014	604
2015	631
2016	793

Tabulka 2. Vývoj počtu nově vydaných průkazů způsobilosti vůdců rekreačních plavidel

Rok	Počet nově vydaných průkazů způsobilosti vůdců malých a rekreačních plavidel
2012	3122
2013	3035
2014	3381
2015	2154
2016	3359

Právní rámec vnitrozemské plavby v České republice

Problematika užívání povrchových vod k plavbě je v českých zemích již tradičně upravena zákonem č. 254/2001 Sb., o vodách, ve znění pozdějších předpisů. Základním právním předpisem upravujícím vnitrozemskou plavbu z hlediska jejího dopravního významu představuje zákon č. 114/1995 Sb., o vnitrozemské plavbě, ve znění pozdějších předpisů. Právě významná novelizace tohoto zákona, ke které došlo přijetím zákona č. 187/2014 Sb., s účinností k 1. 1. 2015, ovlivnila změnu v přístupu k některým druhům plavidel. Novelizace odstranila zejména diskriminační přístup k některým druhům malých plavidel, jako jsou vodní skútry a určité druhy motorových člunů. Na druhou stranu také významným způsobem posílila pravomoci plavebního úřadu přijímat dopravní opatření pro konkrétní úseky vodních cest. Za zmínku samozřejmě stojí skutečnost, že tato novelizace nově formalizovala pravidla plavebního provozu, kdy všechna práva a povinnosti účastníků plavebního provozu byla začleněna do právní normy na zákonné úrovni a pouze konkrétní technická pravidla se stala obsahem vyhlášky ministerstva dopravy.

V návaznosti na přijetí vyhlášky č. 46/2015 Sb., o stanovení vodních nádrží a vodních toků, na kterých je zakázána plavba plavidel se spalovacími motory, a o rozsahu a podmínkách užívání povrchových vod k plavbě, která nahradila vyhlášku č. 241/2002 Sb., se stejným názvem, pak došlo jednak k rozšíření počtu vodních ploch využitelných pro plavbu plavidel se spalovacím motorem a k částečnému uvolnění obecným právním předpisem nařízeného výtlačného režimu plavby na vodních nádržích Slapy a Orlík. Jak již bylo uvedeno výše, toto uvolnění plavby bylo kompenzováno zavedením nových pravomocí Státní plavební správy k přijímání dopravních opatření pro jednotlivé úseky vodních cest. Což je systém běžně fungující v ostatních dopravních odvětvích.

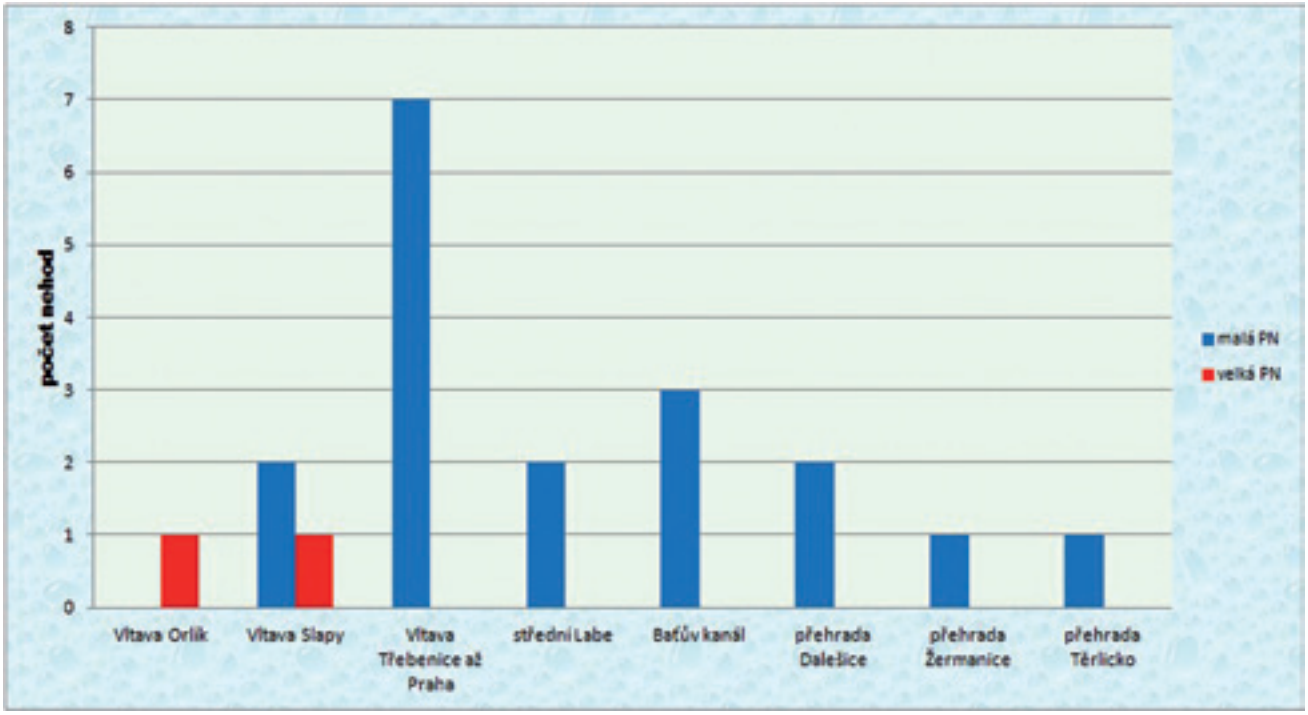
Účely vodních nádrží ve vztahu k vnitrozemské plavbě

Hlavním účelem, pro která vodní díla jako vodní nádrže vznikají, je zlepšování průtoků, odběr vody pro energetické využití, částečná ochrana území pod přehradou před velkými vodami, zajištění průtoků a odběry užitkové vody. Prakticky u všech dnes oblíbených vodních nádrží můžeme najít jako účel, pro který byly budovány, také rekreační plavbu.

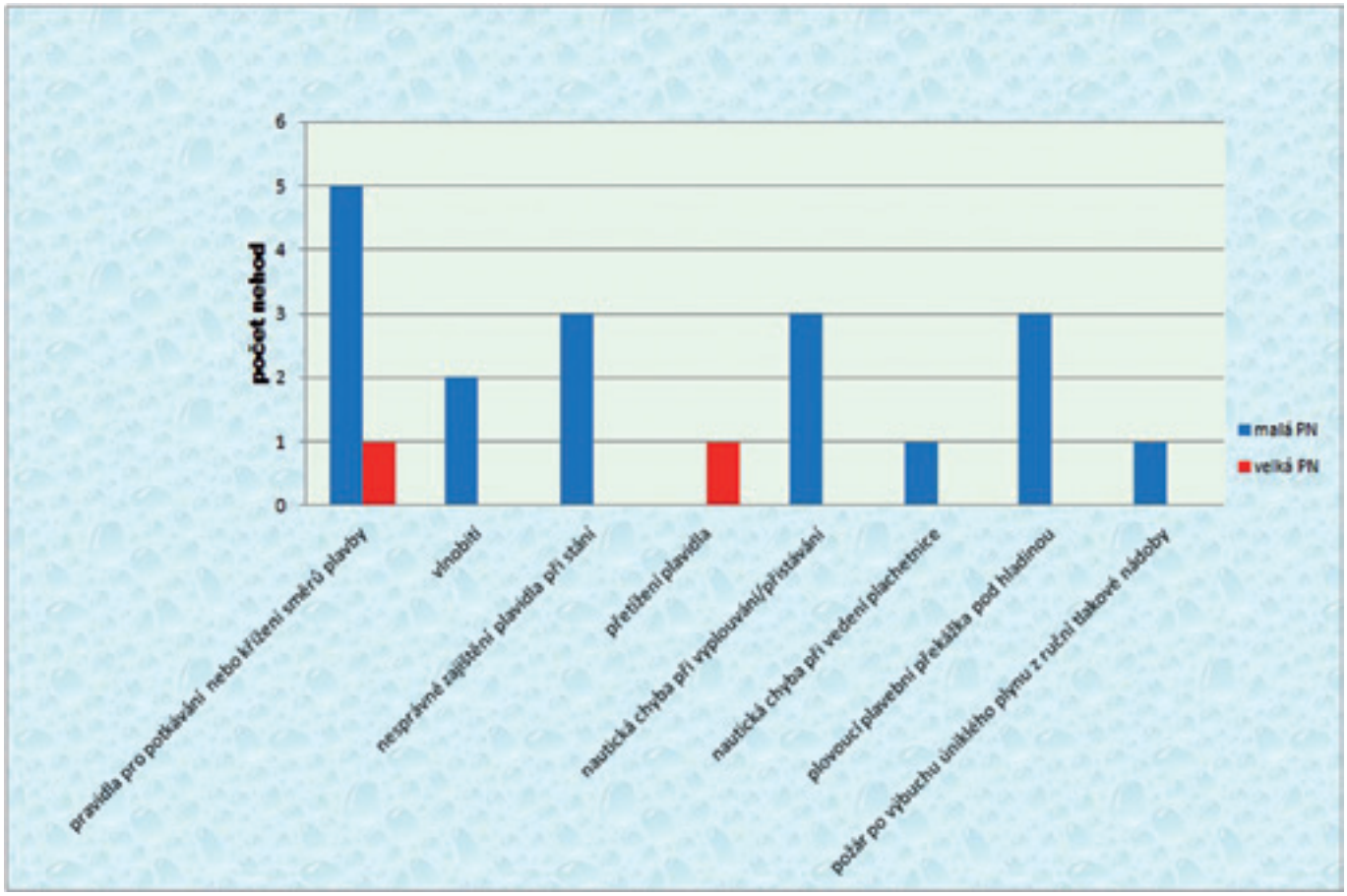
Opatření k zajištění bezpečnosti plavebního provozu a vývoj nehodovosti

Ihned po účinnosti nových právních předpisů se plavební úřad začal zabývat možnými dopravními opatřeními, která by zvýšila bezpečnost plavebního provozu, zejména na intenzivně využívaných vodních cestách. Jako jedno z prvních opatření bylo přijato zavedení výtlačného režimu plavby na dvou úsecích vodní cesty Vltava na území hlavního města Prahy, a to osazením příslušného plavebního značení.

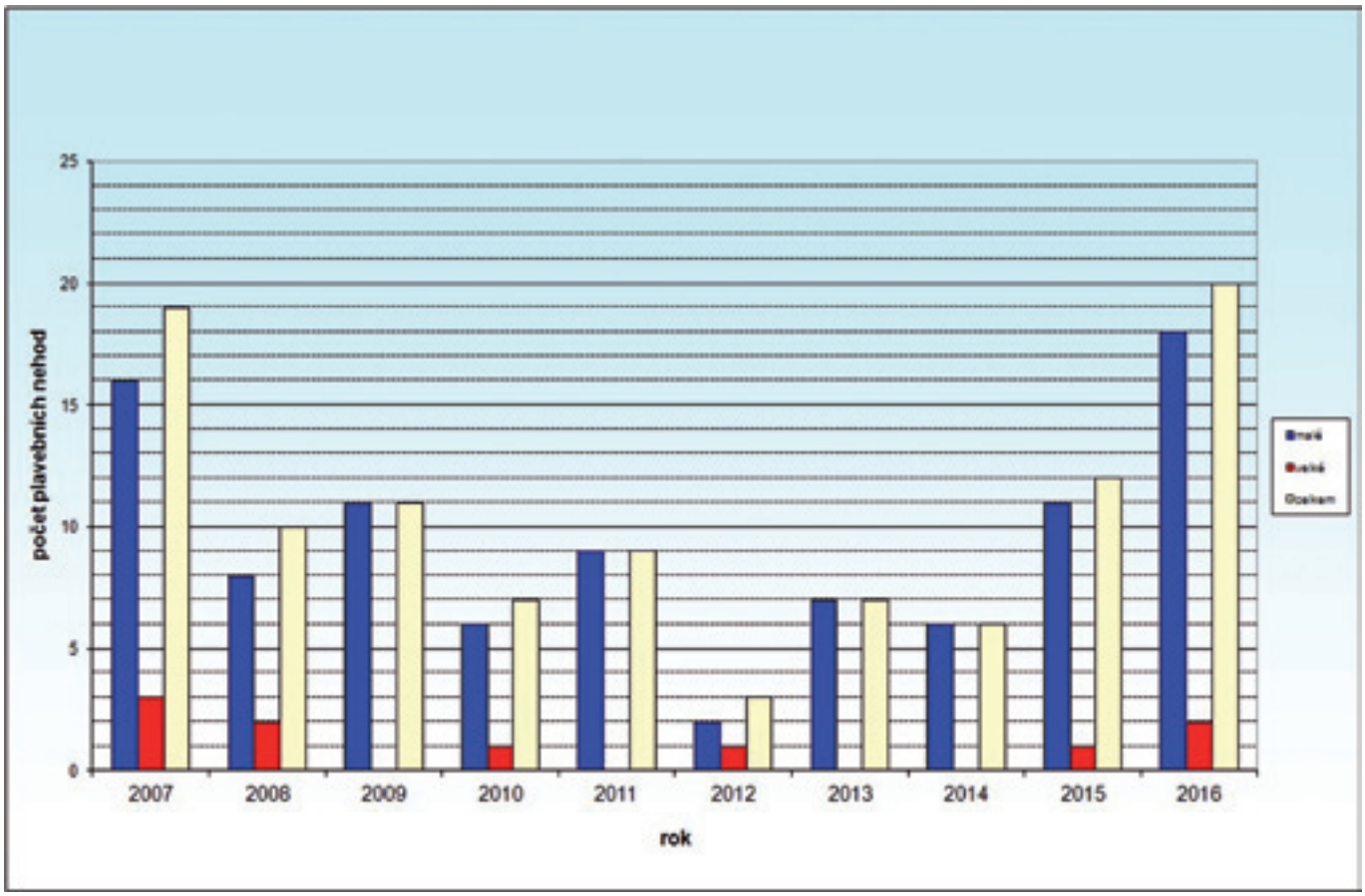
Druhým významným počinem pak byla snaha ochránit plavce a koupající se, jako nejslabší účastníky plavebního provozu. Po letech, kdy plavba byla velmi omezena, tak naprosto neexistovalo povědomí koupajících se osob o tom, že jsou účastníky plavebního provozu a že i jim zákon o vnitrozemské plavbě ukládá povinnosti ve vztahu k ostatním účastníkům plavebního provozu. Jako nejvhodnější řešení se nabízelo uložit správci vodní cesty na místech nejčastěji využívaných veřejných pláží vymezit prostory pro



Graf 1. Vývoj nehodovosti v letech 2007 až 2016 podle druhu plavebních nehod



Graf 2. Příčiny plavebních nehod 2016



Graf 3. Nehodovost 2016 dle vodních cest

koupající se, kam mají plavidla zakázáno vplouvat, v souladu s § 103 odst. 4 vyhlášky č. 67/2015 Sb., o pravidlech plavebního provozu. Díky velmi rychlému a vstřícnému přístupu Povodí Vltavy byly první tyto prostory vymezeny již v létě 2016 na vodní nádrži Slapy a Orlík. Postupně jsou tyto prostory vymezovány také na vodní nádrži Brněnská a Dalešicích a přibudou i na vodní nádrži Těrlicko a Žermanice.

Zatím posledním opatřením, které bylo přijato k úpravě plavebního provozu pro konkrétní úsek vodní cesty, je zavedení výtlačného režimu plavby na dvou úsecích vodní nádrže Slapy. Jedná se o místa s nejintenzivnějším plavebním provozem, množstvím zařízení na břehu a četným výskytem plavců.

Ač skutečně významně narůstá intenzita plavebního provozu na oblíbených vodních cestách, jako jsou vodní nádrže Slapy, Orlík, Dalešice, Baťův kanál a navazující úseky Moravy, zatím nijak významně nestoupá počet plavebních nehod. Na níže uvedených grafech je patrné, že dlouhodobý průměr počtu plavebních nehod se drží na stejné úrovni. Většinou se jedná o tzv. malé plavební nehody, při kterých nedochází k významným škodlivým následkům na životě, zdraví a majetku.

Některé problémy, které změny legislativy a růst intenzity rekreačního plavebního provozu přináší

Zvyšující se intenzita plavebního provozu na některých vodních nádržích či úsecích vodních toků vyvolává reakce místní samosprávy na tento trend.

Velké a letité podpoře se plavba těší u samosprávy Jihočeského kraje. V tomto kraji nebylo zapomenuto na staletý dopravní význam vodní cesty, kterou od nepaměti představovala řeka Vltava, a to až do doby postavení vltavské kaskády. Avšak i vznik této překážky pro volnou plavbu nebyl nikdy brán jako definitivní a vždy bylo počítáno se znovu splavněním této vodní cesty. Místní samospráva si je vědoma obrovských možností, které využití této vodní cesty pro rekreační plavbu představuje, jako příklad lze uvést vyjádření pana senátora a starosty Hluboké nad Vltavou Tomáše Jirsy pro časopis Vodní cesty:*„ Jsem přesvědčen, že do deseti let bude ze splavněné Vltavy stejná atrakce, jakou je dnes například zámek Hluboká*".

S podobně velmi pozitivním a vstřícným přístupem k rozvoji rekreační plavby je možné se setkat u zástupců místní samosprávy v okolí Baťova kanálu a navazujících úseků Moravy. Obnovení původní průmyslové vodní cesty přineslo významné oživení celého regionu. Kombinace plavby a cykloturistiky se stala neobyčejně vyhledávaným způsobem, jak trávit volný čas. V tuto chvíli se jedná o jednu z nejintenzivněji využívaných vodních cest v České republice.

Jak již bylo zmíněno, vyhláška č. 46/2015 Sb., o stanovení vodních nádrží a vodních toků, na kterých je zakázána plavba plavidel se spalovacími motory, a o rozsahu a podmínkách užívání povrchových vod k plavbě, umožnila nově plavbu plavidel se spalovacími motory na celkem 9 vodních nádržích a úsecích vodních toků. Jedná se o vodní nádrže Vranov, Nové Mlýny I, Nové Mlýny II, Máchovo jezero, Brněnská, rybník Svět, Lipno I, Hracholusky, Vltava ř. km 241,40–239,60 a Malše ř. km 1,757–0,00. Povolena byla však pouze plavba plavidel se spalovacím motorem o výkonu do 10kW a v tzv. výtlačném režimu plavby, kdy plavidlo pluje takovou rychlostí, při které vztlak plavidla tvoří zejména hydrostatické síly a vliv dynamických sil vyvolaných rychlostí pohybu plavidla je zanedbatelný.

Ve dvou případech však došlo ke konfliktním situacím, které vnesly nejednoznačnost a nesrozumitelnost do právního řádu České republiky a postavily tak do velmi obtížně uchopitelné situace uživatele dvou vodních cest. K první neblahé situaci došlo, když byla vydána obecně závazná vyhláška statutárního města Brna *č. 11/2016, o regulaci plavby plavidel se spalovacími motory na části Brněnské vodní nádrže, kterou byla zakázána plavba plavidel se spalovacím motorem na části této vodní nádrže.* Ustanovení tohoto aktu samosprávného celku v rámci samostatné působnosti byla v přímém rozporu s vyhláškou ministerstva dopravy č. 46/2015 Sb. V takto rozporuplné situaci, kdy jeden právní předpis plavbu plavidel se spalovacími motory (s výkonem motoru do 10 kW a ve výtlačném režimu plavby) na vodní nádrži Brněnská povolil a jiný ji opětovně zakázal, proběhla celá plavební sezóna. Až na základě Nálezu Ústavního soudu č. Pl. ÚS 3/17 ze dne 11. 4. 2017 byla vyhláška dnem vyhlášení nálezu ve Sbírce zákonů zrušena. Ústavní soud konstatoval, že cíl napadené vyhlášky se shoduje s předmětem a cílem úpravy provedené vodním zákonem a na jeho základě vydanými prováděcími předpisy, z čehož vyplývá, že město Brno postupovalo mimo věcnou působnost vymezenou mu zákonem.

Další konfliktní situace, která přetrvává již třetí plavební sezónu, panuje na vodní nádrži Vranov. Zde je deklarován rozpor mezi rozhodnutím **č. 146 Městského úřadu Znojmo, ze dne 29. 5. 2000 č. j.: Vod 97/2000-Ko, kterým byla vymezena ochranná pásma vodního zdroje I. a II. stupně. Dle výkladu místně příslušného vodoprávního úřadu je v případě rozhodnutí o vymezení ochranných pásem vodního zdroje chráněn jiný právní zájem, než který sleduje vyhláška č. 46/2015 Sb. V důsledku tento postoj pro občany znamená, že ačkoliv byla plavba plavidel** se spalovacími motory (s výkonem motoru do 10kW a ve výtlačném režimu plavby) na vodní nádrži Vranov povolena, neumožňuje ji individuální správní akt paradoxně vydaný na základě stejné normy, kterým je zákon č. 254/2001 Sb., o vodách, ve znění pozdějších předpisů. V tuto chvíli probíhá snaha Krajského úřadu Jihomoravského kraje projednat návrh opatření obecné povahy ve věci změny ochranných pásem vodního zdroje Vranov, kterým se ruší výrok **Rozhodnutí č. 146 Městského úřadu Znojmo.** Předložený návrh však doposud nežádoucí rozpor mezi obecně závazným předpisem tedy vyhláškou č. 46/2015 Sb. a opatřením obecné povahy, které by mělo nově vymezit ochranná pásma vodního zdroje, neodstranil.

Závěr

Vzhledem k tomu, že stát nemalé prostředky do splavnění nových úseků vodních cest a do budování navazující infrastruktury již splavných vodních cest vložil, též legislativně ošetřil uvolnění možností plavby rekreačními plavidly a zájem o rekreační plavbu stále vzrůstá, je možné konstatovat, že rozvoj rekreační plavby zejména na vodních nádržích v České republice má celkově pozitivní trend.

POSTEROVÁ SEKCE

PROTIEROZNÍ OPATŘENÍ NA HRÁZÍCH RYBNÍKŮ

Barbora Badalíková, Jaroslava Novotná, Tomáš Vymyslický

Zemědělský výzkum, spol. s r.o., Zahradní 1, 664 41 Troubsko,
tel. +420 547 138 821, badalikova@vupt.cz

Abstrakt

V letech 2014–2016 byl sledován na třech různých lokalitách smyv půdy na hrázi rybníku. Byly hodnoceny tři varianty s odlišnými travními směsmi: var. 1 – směs pro extenzivní sucho, var. 2 – směs pro extenzivní zátěž, var. 3 – směs pro intenzivní vlhko. Současně byla sledována jedna hráz rybníku bez pokryvu travní směsí. Výsledky ukázaly, že hráze se zasetými směskami nevykazovaly žádný erozní smyv u žádné varianty, zatímco na hrázi rybníku bez porostu byl zaznamenán smyv půdy po přívalovém dešti. Při erozním smyvu byl zaznamenán i odnos živin a úbytek Cox z povrchové vrstvy půdy.

Klíčová slova: *vodní eroze; hráze rybníku; travní směsky; smyv půdy; živiny v půdě.*

Abstract

In the years 2014–2016, was monitored soil loosening on the dikes of pond at three different localities. Three variants with different grass mixtures were evaluated: var. 1 – Extensive dry mix, var. 2 – Extreme load mix, var. 3 – Intense moisture mix. At the same time was observed one pond dike without grass cover. The results showed that the dikes with sown grass mixtures did not show any erosion in any variant. On the pond dike without grass mixtures was registered soil erosion after torrential rain. During erosion, nutrient depletion and Cox depletion from the surface layer of the soil were also recorded.

Keywords: *water erosion; pond dike; grass mixtures; soil loosening; nutrient in soil.*

Úvod

Při sledování procesů probíhajících v zemních hrázích při jejich zatěžování vodou [1] je nutno respektovat komplikovanost uvedeného prostředí. Tělo hráze a podloží se obecně skládají z materiálů se širokým rozsahem velikostí zrn, vlastnosti a vrstevnatost půdy musí být přesně odhadnuta, aby bylo možno předpovídat mechanickou stabilitu a infiltraci vody břehů. Také je potřeba znát pevnost a obsah vody v půdě hráze. Tyto parametry jsou obvykle zjišťovány pomocí penetrometrických měření, vyvrtáním vzorků a jejich následným laboratorním testováním [2]. Také bylo zjištěno, že kořenový systém biomasy v horních vrstvách půdy zvyšuje utužení půdy a ve spodních vrstvách utužení snižuje [3]. Po vytvoření a zprovoznění hráze rybníku zjistili [4], že deště způsobují její erozi, proto stabilizovali písečné svahy hrází osevem trav spolu s leguminózou. Další autoři [5] konstatují, že odolnost hrází vůči hydrodynamickým vlivům během dešťů je založena na funkční interakci pískového jádra, soudržné vrstvy a pokryvem drnu.

Z hlediska pedologie a protierozního efektu jsou významnými aspekty zejména zachování půdní struktury a pevnosti hráze díky zajištění pokryvu půdy trvalými travními směskami. Zapojený porost, hustý vegetační kryt a kořenový systém chránil půdu před erozivními účinky [6]. Proto jedním z důležitých opatření pro ochranu povrchu půdy hrází je co nejdříve zaset příhodnou travní či jetelotravní směsku, vhodnou pro dané půdní a klimatické prostředí. Zapojený porost, hustý vegetační kryt a kořenový systém pak chrání půdu před erozivními účinky. Ve srovnání s půdou bez porostu je odtok na krytých půdách minimální a nedochází ke smyvu půdy [7].

Tato příspěvek uvádí výsledky projektu, kde se řešil význam ozelenění hrází rybníků travní směsí z hlediska složení hráze a stanovištních podmínek.

Metodika

V letech 2014–2016 byla sledována na hrázích rybníků eroze půdy pomocí záchytných kapes umístěných pod hrází. Byly vybrány tři odlišné lokality, kde byly na hrázích zasety travní směsky, a sice: Rohatec – Soboňky u Hodonína, Křižanov – Podhorský rybník a Stálkov u Slavonic – Horní Šatlava. Všechny tři lokality se vyznačují ruderalizovaným porostem na březích rybníků, které nejsou efektivně obhospodařované a využívané.

Dále byl vybrán jeden nově postavený rybník v Jižních Čechách ke sledování účinků eroze na hrázi bez rostlinného pokryvu – kontrola.

Hodnocené varianty s různými vysetými směskami:

Varianta 1 – směs pro extenzivní sucho – 20 % Jílek vytrvalý Ahoj, 40 % Kostřava červená Reverent, 23 % Kostřava ovčí Ridu, 15 % Lipnice luční Balin, 2 % Jetel plazivý Klement

Varianta 2 – směs pro extenzivní zátěž – 38 % Jílek vytrvalý Ahoj, 40 % Kostřava rákosovitá Asterix, 20 % Lipnice luční Balin, 2 % Jetel plazivý Klement

Varianta 3 – směs pro intenzivní vlhko – 32 % Mezirodový hybrid kostřavovitý typ Fojtan, 20 % Jílek vytrvalý Jonas, 25 % Bojínek luční Alma, 10 % Lipnice luční Balin, 10 % Jetel luční Suez, 3 % Jetel plazivý Jura

Sledování *vodní eroze* půdy bylo prováděno speciálními záchytnými kapsami umístěnými v dolní části hráze. Kapsa byla vyrobena z pozinkovaného plechu na zadní straně děrovaná. Uvnitř kapsy byla umístěna propustná netkaná textilie, která propouští vodu, ale ne smytou půdu.

Chemické analýzy byly zjišťovány podle metodiky Melich III (fosfor, draslík a hořčík), obsah celkového dusíku byl zjištěn mineralizací, destilační metodou podle Kjehdahla, celkový obsah uhlíku (C_{ox}) byl stanoven oxidimetrickou titrací podle [8] a výměnná půdní reakce pH byla stanovena z výluhu KCl potenciometricky.

Výsledky

Jednotlivé varianty travních směsí se vyvíjely podle stanovištních a klimatických podmínek. Z pohledu fyzikálních a chemických

vlastností půdy odpovídala zapojenost porostu travních směsí zrnitostním složením hrází. Na stanovišti Soboňky u Hodonína – rybník Rohatce a Stálkov – rybník Horní Šatlava byly zjištěny nejlepší fyzikální vlastnosti u travní směsi Extenzivní směs na hráze na suchá stanoviště, kdežto na stanovišti v Křižanově – rybník Podhorský u travní směsi Extenzivní směs na hráze na sešlapávaná místa a Intenzivní směs na hráze na vlhká stanoviště.

Na hrázích rybníků byla sledována od roku 2014 eroze půdy pomocí záchytných kapes umístěných pod hrází sledovaných rybníků obr. 1. Během sledování půdní eroze na všech lokalitách po zapojení porostu různých travních směsí nebyla zjištěna eroze půdy u žádné varianty. Vyplývá to logicky ze situace, kdy půdní plocha hrází rybníků byla plně chráněna rostlinným pokryvem.

Současně byl sledován erozní účinek na hrázi rybníku bez vegetačního pokryvu, a to na nově postavené hrázi rybníku Matějovec v Jižních Čechách. Délka svahu hrázu byla 5 m, šířka kapsy 1 m. Začátkem srpna 2015 po prudkém dešti byl zaznamenán smyv půdy z povrchové vrstvy hráze do instalované kapsy, a sice 2,4 kg v suché hmotě (obr. 2). V přepočtu by to činilo 4,8 $t.ha^{-1}$, což už je závažný odnos půdy. Smytý vzorek půdy byl analyzován v chemické laboratoři na obsah živin a další chemické vlastnosti půdy (tab. 1). Ze získaných analýz lze konstatovat, že ztráta živin i ztráta oxidovatelného uhlíku Cox (tj. v přepočtu 6,14 % humusu) z půdy je velmi vysoká.

Erozní účinek má pak za následek nejen rozklad samotné hráze, ale i úbytek živin z půdy potřebných pro růst travního porostu při zakládání hrází. K podobným výsledkům dospěli i další autoři [4], kdy po vytvoření a zprovoznění hráze rybníku zjistili, že deště způsobují její erozi, proto stabilizovali písečné svahy hrází osevem trav spolu s leguminózou.

Závěr

Na sledovaných lokalitách s osevem travních směsí, nebyla zjištěna vodní eroze půdy u žádné varianty. Na hrázi rybníku bez pokryvu travní směskou (kontrolní varianta) byla zjištěna eroze po přívalovém dešti. Z výsledků je patrné, že dobře zapojený travní porost na hrázích rybníků zabraňuje erozi – odnosu povrchové půdní vrstvy a tím rozrušování hrází.

Tabulka 1. Obsah živin ve smyté půdě, rybník Matějovec – 2015

datum smyvu	pHKCl	Cox %	Mg mg/kg	P mg/kg	K mg/kg	N %
15. 8.	4,2	3,56	133	122	64	0,27

Z hlediska praktických doporučení pro obnovu travních porostů na hrázích rybníků je vhodné vybírat více druhů trav a jetelovin, jejich úspěšnost se liší mezi jednotlivými lokalitami, mezi jednotlivými roky (klimatické podmínky) i mezi jednotlivými částmi hráze. Velmi důležitý je vliv mikrostanovišť. Z testovaných směsí se zatím nejlépe osvědčily směs na hráze na suchá stanoviště a směs na hráze na vlhká stanoviště. V obou směsích převládají produkční a konkurenčně silné druhy trav a jetelovin, které se dobře uplatňují na hrázích, zejména během počátečních vývojových stadií.

Dedikace

Příspěvek vznikl s podporou MZe ČR projektu č. QJ1220029 „Zakládání a údržba porostů hrází rybníků s ohledem na jejich využití“ v rámci programu Komplexní udržitelné systémy v zemědělství „KUS“.

Literatura

[1] CÍSLEROVÁ, M., VOGEL, T. (2008). Transportní procesy ve vadózní zóně. Skriptum ČVUT Praha, s. 111.

[2] GLIŃSKI, J., LIPIEC, J. 1990. Soil Physical Conditions and Plant Roots. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 250 pp.

[3] TAKASHI T., YAMAMOTO T. 2010. An attempt at soil profiling on a river embankment using geophysical data. Exploration Geophysics, 41 (1): 102–108.

[4] ANDERSON, H. B., WELLS, P. S., COX, L., 2010: Pond 1: closure of the first oil sands tailings pond [C]. doi:http://dx.doi.org/10.14288/1.0042581.

[5] POHL C., VAVRINA L. 2008. Stability evaulation of dikes along the North-sea at wave overtopping. Chinese-German Joint Symposium on Hydraulic and Ocean Engineering, p. 83–87.

[6] NOVOTNÁ, J., BADALÍKOVÁ, B., VYMYSLICKÝ, T., KNOTOVÁ, D., 2016: Využití různých travních směsí pro stabilizaci půdního prostředí na hrázích rybníků. Uplatněná certifikovaná metodika 32/16, 29 s.

[7] BADALÍKOVÁ B., HRUBÝ J., 2007: Meziplodiny proti erozi při pěstování kukuřice. Farmář 1/2007, s. 26–27.

[8] NELSON, D. W., SOMMERS, L. E., 1982: Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A. L., Miller, R. H., Keeney, D. R. (eds.). Methods of soil analysis. Part 2. ASA, SSSA Publ., Madison, Wisconsin. 539–579.

Obrázek 1. Záchytná kapsa pro erozní smyv půdy u varianty s travní směsí (Autor foto: Badalíková)

Obrázek 2. Záchytná kapsa se smytou půdou na hrázi bez pokryvu (Autor foto: Novotná)

MEZINÁRODNÍ PROJEKT „CAMARO-D" – OPTIMALIZACE VYUŽITÍ KRAJINY VE VZTAHU K VODNÍMU REŽIMU V POVODÍ DUNAJE

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

Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel. +420 224 354 751, miroslav.bauer@fsv.cvut.cz

Abstrakt

Nedostatek integrovaného přístupu k řízení povodí ve smyslu vodních zdrojů a rizika povodňoví, je v současné době jedním z klíčových úkolů.

Řešení vyžaduje strategickou politiku pro celé povodí Dunaje týkající se zavádění inovativního nadnárodního „Rozvojového plánu pro využití území" (LUDP). Zajišťuje jak udržitelnou ochranu vodních zdrojů, tak i lepší prevenci před povodněmi, a to podporou rozvinuté mezisektorové a nadnárodní spolupráce klíčových zainteresovaných stran. Tato spolupráce byla zahájena v rámci projektu a bude pokračovat i mimo rozsah projektu samotného.

Prostřednictvím různých pilotních akcí jsou testovány a zdokumentovány nově vyvinuté osvědčené postupy v prakticky orientovaném a trvale udržitelném využívání půdy, které mimo jiné kladou důraz na změnu klimatu. Pilotní území následně budou propojena napříč státy podle podobnosti v různých oblastech.

Pro zúčastněné strany a subjekty s rozhodovacími pravomocemi bude vyvíjen inovativní nadnárodní návod (GUIDR) jako aplikačně orientovaný soubor nástrojů pro jeho uvedení do provozu ve svých pracovních oblastech.

Klíčová slova: *Dunaj; využití území; ztráta půdy.*

Abstract

The lack of integrated river basin management, in terms of water resources and flood-risk, is currently one of the crucial challenges.

The solution requires a strategic policy for the implementation of an innovative transnational catchment-based "Land Use Development Plan" (LUDP) for the Danube River Basin. It shall guarantee both sustainable protection of water resources and improved flood risk prevention by fostering an advanced trans-sector and transnational cooperation of key stakeholders, initiated by the project and maintained beyond.

By means of various Pilot Actions, newly developed best practices in function-oriented sustainable land use management, considering climate change, are tested and documented. The Pilot Actions will be clustered according to their interdependences of land use and vegetation cover respectively, dealing with three different types of water resources (groundwater, torrents, rivers).

For stakeholders and decision-makers an innovative transnational guidance (GUIDR) will be developed as application-oriented tool-kit for its operationalization in their respective working spheres.

Keywords: *Danube; land-use; soil loss.*

Úvod

Úkol zlepšení kvality vody a boj s povodněmi v rozsahu velkých povodí (typu povodí Labe, povodí Dunaje) je velkou a ne zcela jednoduchou výzvou. Zejména je nezbytné klást důraz na mezinárodní spolupráci a zapojení všech států. Při plánování rozsáhlých celků, jakým povodí Dunaje bezesporu je, je nutné uvažovat v měřítku jakýchkoliv podrobných průzkumů, či návrhů opatření lokálně. Právě souvislá, jednotná a smysluplná ochrana malých, funkčně propojených celků může výsledně pozitivně ovlivnit kvalitu velkého povodí.

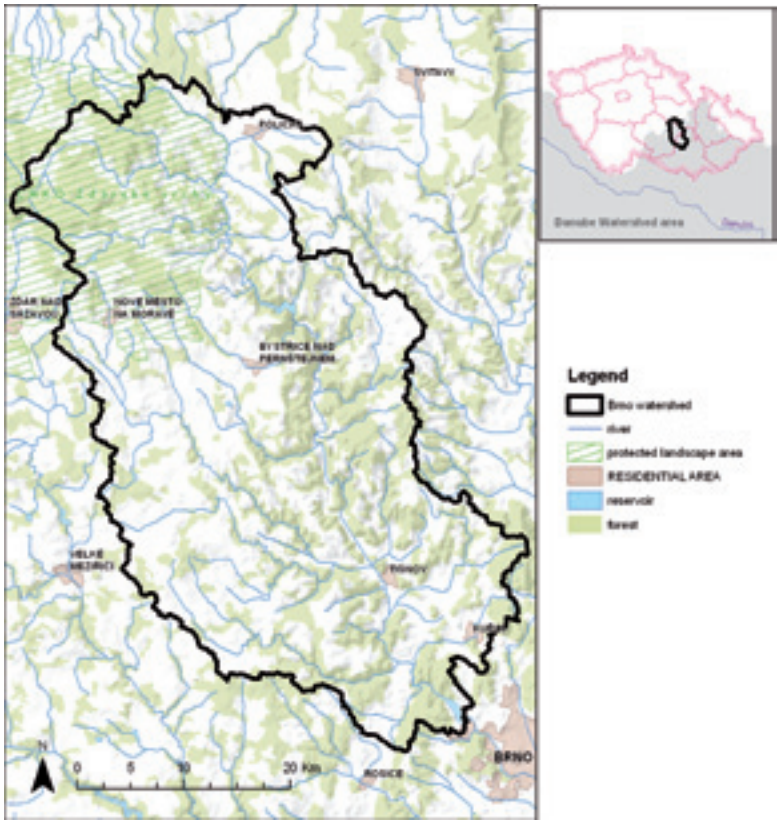
Projekt CAMARO-D (Cooperating towards Advanced Management routines for land use impacts on the water regime in the Danube river basin) byl zahájen v lednu 2017, a je financován z prostředků Evropské unie (ERDF, IPA), v rámci nadnárodního programu pro Dunajský region na období 2014–2020. Během dvou a půl let realizace projektu (2017–2019) budou vytvářena komplexní doporučení pro oblast strategického plánování v celém území povodí Dunaje za účelem zavádění inovativního nadnárodního „Plánu územního rozvoje".

Pro zajištění dostatečně široké základny z geografického a vědeckého hlediska a z hlediska rozhodovacích pravomocí se projektový tým skládá z 14 partnerů a 9 přidružených partnerů z celkem 9 zemí. Součástí projektového týmu jsou státní orgány, dodavatelé vody, výzkumné i vzdělávací instituce, agrometeorologické instituce, agentury pro životní prostředí a ústavy prostorového plánování, působící na místní, regionální i národní úrovni, pocházející téměř ze všech států povodí Dunaje (Rakousko, Slovinsko, Bulharsko, Chorvatsko, Česká republika, Německo, Maďarsko, Rumunsko a Srbsko). Řídícím partnerem projektu je Oddělení lesního hospodářství rakouského Spolkového ministerstva zemědělství, lesnictví, životního prostředí a vodního hospodářství.

Výsledky CAMARO-D poskytnou významné vstupy pro další rozvoj EUSDR (strategie EU pro Dunajský region) a dalších příslušných nástrojů EU, jako je Vodní rámcová směrnice a Povodňová směrnice i pro Plány povodí Dunaje. Pro zdůraznění významu realizace tohoto nadnárodního „plánu rozvoje území" pro povodí Dunaje bude během závěrečné konference ve Vídni (v červnu 2019) sepsáno „Memorandum o porozumění", které bude podepsáno významnými zástupci každé partnerské země.

Pilotní povodí

Zájmové povodí na území ČR se nachází na povodí Moravy (tedy na jednom z přítoku Dunaje). Povodí má rozlohu 1586 km^2. V minulosti byla vodní nádrž Brno (nacházející se na území města Brno) využívána především jako zdroj pitné vody. V současnosti slouží především k energetickým a rekreačním účelům.



Obrázek 1. Zájmové území – povodí VN Brno

Obrázek 2. Letecký snímek VN Brno (foto – povodí Moravy, s.. p).

Povodí vodní nádrže Brno je využíváno z převážné části jako intenzivně zemědělsky obhospodařovaná plocha. 31 % rozlohy tvoří orná půda, 36 % lesní plocha a trvale travnaté plochy tvoří 36 %. V povodí se nachází 374 menších vodních nádrží a rybníků.

Hlavními problémy v zájmovém území (povodí vodní nádrže Brno) jsou:

- organické znečištění ve vodních nádržích (fosfor) jehož zdrojem je především nečištěná (respektive nedostatečně čištěná) odpadní voda z obcí v povodí
- eutrofizace a znečištění pesticidy ve vodní nádrži Vír, která je zdrojem pitné vody pro Brno

Přímé aktivity v rámci řešení představovaného projektu

- Distribuovaný bilanční model vstupu sedimentu a fosforu do toků a nádrží z jednotlivých pozemků
- Analýza stávajícího managementu a strategie v oblasti využití území a územního plánování
- Scénáře pro určení účinnosti ochrany krajiny z hlediska snížení zatížení toků sedimentem a fosforem
- Návrh plánu vhodných postupů řízení („best management practices“) využití území
- Místní případové studie řešící kvalitu podzemní vody
- Vyhodnocení hrozby pluviálních bleskových povodní pro obce a infrastrukturu

Nepřímé aktivity

- Vytvoření geoportálu pro vedení Povodí Moravy zaměřeného na transport sedimentu a fosforu
- On-line mapy s hodnocením efektivnosti scénářů ochrany krajiny – doporučené hospodaření s půdou
- Workshop pro zástupce zúčastněných stran – představení výstupů projektu
- Místní workshopy – přednášky implementačních strategií „best management practices“

Výsledky

Vzhledem k tomu, že projekt je v počáteční fázi řešení, výsledky projektu budou zveřejňovány průběžně na webových stránkách projektu (v angličtině) a na webových stránkách partnera ČVUT v Praze (česky).

Poděkování

Tento příspěvek vznikl s finanční s podporou z prostředků Evropské unie (ERDF, IPA), v rámci nadnárodního programu pro Dunajský region na období 2014–2020.

Oficiální stránky projektu:
http://www.interreg-danube.eu/approved-projects/camaro-d

Webové stránky projektu partnera ČVUT:
storm.fsv.cvut.cz/projekty/camaro-d

Obrázek 3. QR kódy s odkazy na webové stránky projektu

Interreg
Danube Transnational Programme
CAMARO-D

Obrázek 4. Logo programu Interreg Danube

STAŇKOVSKÝ RYBNÍK – JAK RYCHLE DNES PROBÍHÁ EUTROFIZACE VELKÉ MEZOTROFNÍ RYBNIČNÍ NÁDRŽE (I BEZ PŘISPĚNÍ PRODUKČNÍCH RYBÁŘŮ)

Marek Baxa[1,2], **Libor Pechar**[1,2], **Zdeňka Benedová**[1], **Jindřich Duras**[3], **Lenka Kröpfelová**[1], **Martin Musil**[1,2], **Jan Potužák**[4], **Jana Šulcová**[1]

[1]*ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň*
[2]*JU v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta Katedra krajinného managementu, Laboratoř aplikované ekologie, Branišovská 1668, 370 05 České Budějovice*
[3]*Povodí Vltavy, státní podnik, Denisovo nábřeží 14, 304 20 Plzeň*
[4]*Povodí Vltavy, státní podnik, Emila Pittera 1, 370 01 České Budějovice*

Abstrakt

Rybník Staňkovský, který si do konce 20. století zachovával charakter „čisté" mezotrofní rybniční nádrže, v současné době vykazuje zřetelné projevy eutrofizace, včetně výskytu vodních květů sinic. Za posledních 25 let došlo k trojnásobnému zvýšení koncentrací celkového fosforu, koncentrace chlorofylu vzrostly čtyřikrát. Tento trend je způsoben změnami v hydrochemických poměrech v povodí. Na jedné straně se snížily koncentrace dusičnanů, síranů a hydrogenuhličitanů (alkality), ale naopak se zvýšil přísun fosforu z povodí. Právě nízké koncentrace až absence dusičnanů v letním období napomáhají nárůstu dostupného fosforu pro řasy a sinice. Vliv rybářského hospodaření lze v tomto případě považovat za minimální. I když změny v rybí obsádce, pravděpodobná vyšší biomasa drobných planktonofágních ryb, může projevy eutrofizace zvýrazňovat.

Výsledky dlouhodobého monitoringu rybníku Staňkovský ukazují na stálé riziko vysoké míry eutrofizace krajiny a na nedostatečná opatření ke snižování zátěže povrchových vod fosforem. Nepříjemným zjištěním je skutečnost, jak moc je zranitelná naše největší rybniční nádrž (podle objemu zadržené vody) a jak rychle proces eutrofizace může postupovat.

Klíčová slova: *rybník; eutrofizace; vliv povodí; fosfor; sinice.*

Abstract

The Staňkovský pond has been considered as a low productive mesotrophic fishpond over the whole 20th century. But during the last 25 years, this unique fishpond has subjected to enormous eutrophication. The total phosphorus concentrations have increased three times, chlorophyll concentrations increased fourfold. These trends reflect changes in hydrochemical conditions in the catchment area. The effect of fishery management can be considered as minimal in this case. Nevertheless changes in fish stock, the likely higher biomass of small planktivore fish, may also intensify the symptoms of eutrophication. The results of the long-term monitoring of the Staňkovský pond indicate a permanent problem of the eutrophication of the landscape and insufficient measures to reduce the phosphorus loading in to surface waters. An unpleasant finding is how fast the eutrophication process can proceed and high vulnerability of one of the biggest Czech fishpond.

Keywords: *fishpond; eutrophication;, catchment impact; phosphorus; cyanobacterial bloom.*

Úvod

Eutrofizace rybníků je tradičně spojována s intenzifikací rybářského hospodaření. Záměrná eutrofizace rybníků hnojením ve druhé polovině 20. století se významně podílela na navýšení koncentrací dusíku a zejména fosforu v rybničních vodách. Vyšší rybí obsádky a jejich krmení prohloubily projevy eutrofizace, jakými jsou rozvoj fytoplanktonu a vodní květy sinic.

Skutečnost, že rybníky jsou také zatěžovány přísunem živin z povodí, byla samozřejmě známa. Ale ve druhé polovině 20. století, kdy proces eutrofizace rybníků i povrchových vod kulminoval, nebylo dost dobře možné rozlišit bezprostřední vliv rybářského hospodaření a vstupy živin z okolní krajiny a sídel. Extrémním příkladem je Třeboňsko, kde v 70. a 80. letech byla aplikována do rybníků kejda. Hnojení rybníků a likvidace odpadů ze živočišné výroby tak splynuly v jeden proces.

Od 90. let jsou podrobně, se stejnou metodikou, sledovány Třeboňské rybníky. Další data jsou k dispozici i z Blatenska (z let 2004–2005 a z posledních let). V 90. letech a počátkem tohoto století proběhly extenzivní studie rybníků, které jsou v různém režimu ochrany přírody (přírodní rezervace, rybníky v CHKO) v rámci celé České republiky. Vyhodnocení těchto dat ukazuje, že se rozsah a intenzita eutrofizace rybníků od 90. let dále nezvyšuje [1].

Nicméně je opět obtížné rozlišit, zda je to důsledek úpravy intenzity rybářského hospodaření (např. snížení dávek hnojení) nebo pozitivní vliv nižší intenzity zemědělského hospodaření v krajině a lepšího čištění odpadních vod.

V případě rybníků převládá názor, že za jejich stav odpovídá rybářské hospodaření. Je to pochopitelné, protože rybářská aktivita je na první pohled zřetelná a nepochybně ovlivňuje jak vlastní přísun živin, tak projevy eutrofizace, které jsou intenzivnější s vyšší rybí obsádkou.

Vliv přísunu živin z povodí tak patrný zpravidla není, je obtížné jej podchytit a kvantifikovat.

Možnost intenzivní eutrofizace velké rybniční nádrže se v kontextu současného trendu a opatření na zlepšení kvality povrchových vod zdá málo pravděpodobná. Přesto k takovému procesu dochází v současnosti na rybníce Staňkovský, který je rybářsky využíván jen jako sportovní revír.

Materiál a metody

Rybník Staňkovský, leží v katastru obce Staňkov, asi 20 km jižně od Jindřichova Hradce. Východní břeh tvoří hranici s Rakouskem.

Rozlohou vodní plochy 241 ha je 9. největší rybník v ČR. Podle objemu zadržené vody, 6.3 mil. m3 je největší rybniční nádrží. Zároveň je to náš nejhlubší rybník, aktuální hloubka u výpusti je 9,5 m.

Rybník byl postaven v 16. století přehrazením úzkého údolí Koštěnického potoka. Hráz se nachází přímo v obci Staňkov. Rybník lze považovat za mírně průtočný, teoretická doba zdržení je 96 dní. Rybník má dvě části, jihozápadní bazén, částečně přiléhající k obci Staňkov, vodní plocha zde dosahuje šířky až 700 m. Severovýchodním směrem se nachází zatopené úzké údolí Koštěnického potoka, které je asi 5 km dlouhé, ale nejvýše 350 m široké.

Jihozápadní částí leží rybník Staňkovský na okraji Třeboňské pánve, severovýchodní část, zatopené údolí, náleží k Jihočeské vysočině, k části označované jako Dačická vrchovina. Povodí rybníka je asi 120 km2 a je tvořeno především rozsáhlými lesy, které obklopují rybník o okruhu téměř 4 km od břehové čáry. Horní část povodí je převážně extenzivně využívaná zemědělská krajina. Tyto parametry jsou pro rybniční nádrž dosti výjimečné a rybník Staňkovský je pro své hydromorfologické parametry podobný menší údolní nádrži.

Údaje o kvalitě vody jsou k dispozici od 90. let minulého století [2]. Od roku 2007 probíhá pravidelný monitoring rybníka Staňkovského v rámci sledování vodních útvarů podnikem Povodí Vltavy (J. Potužák, nepubl. data). V posledních deseti letech proběhla sledování hydrochemických poměrů i z iniciativy Rybářství a.s. Třeboň. V letech 2010–2016 probíhal monitoring Staňkovského rybníka paralelně jak společností ENKI o.p.s, tak laboratoří podniku Povodí Vltavy. Porovnání výsledků z obou laboratoří ukázalo velmi dobrou shodu, a proto průměrné sezónní hodnoty byly vypočteny ze všech dostupných měření. Laboratoř BÚ AVČR v Třeboni v 90. letech a v letech 2000–2001 používala stejné analytické metody a je tak zajištěna srovnatelnost výsledků v čase. Hydrochemická měření zahrnují standardně fyzikálně chemické parametry (teplotu vody, vodivost, alkalitu, pH, koncentraci rozpuštěného kyslíku, a vertikální stratifikaci těchto parametrů), dále stanovení forem uhlíku, dusíku a fosforu (včetně celkového organického C a celkového N, P). Hodnocen je i stav planktonu a koncentrace chlorofylu jako měřítka biomasy sinic a řas.

Výsledky a diskuse

Hydromorfologická situace rybníka Staňkovský, především větší průměrná hloubka, průtočnost, geologický charakter povodí a zalesněné okolí rybníka, určovaly jeho nízkou úživnost. To pochopitelně snižovalo zájem investovat větší úsilí do takových to „nadměrných" rybníků jezerního typu. Tuto zkušenost popisuje už Šusta [3]. Nízká produkce rybníka Staňkovský byla příčinou, že roku 1916 byla oddělena hrází jeho jižní mělká část, a byl tak vytvořen rybník Špačkov. Po druhé světové válce došlo k vysídlení velké části rakouského obyvatelstva z obcí v povodí a po roce 1948 se velká část povodí i část rybníku ocitla v hraničním pásmu. Tyto skutečnosti způsobily, že jak rybářské hospodaření na Staňkovském rybníce, tak hospodářské aktivity v povodí byly až do 90. let minulého století velmi omezené.

První systematická měření hydrochemických parametrů rybničních vod na Třeboňsku prováděl Dejdar v letech 1949–1963, v rámci působení třeboňské centrální laboratoře podniku Státní rybářství. Rybník Staňkovský nebyl pro nízký produkční potenciál zahrnut do sledování, ale jsou k dispozici výsledky z rybníků v blízkém okolí (Purkrabí, Skalice, Svobodný, Špačkov). Pro tyto lokality na okraji Třeboňské pánve jsou v letech 1954–1961 typické nižší průměrné hodnoty vodivosti (150 µS.cm-1) alkality (okolo 0,5 meq.l-1) a pH mezi 6–7. Nízké byly také koncentrace síranů (18 mg.l-1) a chloridů (4 mg.l-1). Tyto hodnoty jsou vesměs nižší, než byly průměry pro celé Třeboňsko [4]. Zajímavé je, že už v té době byly koncentrace dusičnanů poměrně vysoké a srovnatelné v rámci celé Třeboňské pánve. Pro rybníky v oblasti Staňkovského dosahovaly hodnoty 2,8 mg.l-1. Údaje o koncentraci fosfátů nejsou z té doby spolehlivé, pohybují se v rozmezí 0,1–0,3 mg .l-1 pro hnojené rybníky. V případě Staňkovského nejsou tato data patrně relevantní.

Další měření hydrochemických parametrů byla realizována v rámci výzkumných aktivit BÚ AVČR, Třeboň, ENKI, o.p.s. Třeboň a Povodí Vltavy s. p. [1, 2, 4, 7]. Byly sledovány rybníky Třeboňska v letech 1990–91 a následně po 10 a 20 letech. Vzorky byly odebrány u hráze poblíž výpusti, 3x ročně v období duben–září.

V 90. letech bylo možné klasifikovat rybník Staňkovský z hlediska eutrofizace jako lokalitu slabě mezotrofní. Rybník evidentně nebyl v období intenzifikace rybářského hospodaření zasažen eutrofizací, ale v chemismu hlavních iontů jsou patrné výrazné změny oproti 50. létům.

Zvýšila se celková koncentrace rozpuštěných látek, prakticky se zdvojnásobily koncentrace dusičnanů, síranů a chloridů. Vzrostla i alkalita a pH se pohybovalo v rozsahu 7,2–8.1 (tab. 1).

Po roce 1990 a zrušení hraničního pásma se oblast otevřela a došlo k rozvoji různých aktivit, včetně zemědělského hospodaření a turistiky. Rybník Staňkovský se stal rybářským revírem, který obhospodařuje Rybářství Třeboň a.s. Režim rybářského hospodaření se ustálil na nasazování asi 140 q ročně, především kapra a dosazování dravé ryby (hlavně candát, který se v rybníce úspěšně vytírá). Většina nasazených ryb je v sezóně vychytána.

Výsledky hydrobiologického sledování v letech 2000 a 2001 naznačily, že dochází k určitým změnám. Došlo k výraznému snížení vodivosti, tj. poklesu koncentrace rozpuštěných látek. K nejvýraznějšímu snížení došlo u alkality (tj. v koncentraci hydrogenuhličitanů), a síranů. Koncentrace dusičnanů poklesly také, ale ne v takovém rozsahu. Obdobný trend byl zaznamenán pro celé Třeboňsko [1]. Naproti tomu se navýšily koncentrace celkového fosforu (2x) a chlorofylu (3x). Tato změna však nevyvolala velkou pozornost, rybník Staňkovský pořád vykazoval velmi dobrou průhlednost a kvalita vody byla podstatně lepší, než v okolních lokalitách, které byly podobně rekreačně využívané (tab. 2).

V letech 2010 a 2011 byl stále patrný trend snižování alkality, koncentrací síranů a dusičnanů. Klíčové parametry pro hodnocení eutrofizace, tj. celkový fosfor a chlorofyl zůstaly na stejné úrovně jako v období 2000–2001 (Tab. 3).

V posledních asi 10 letech se však začaly projevovat symptomy pokračující eutrofizace. V nejhlubších částech rybníka, po ustavení teplotní stratifikace, dochází k vyčerpání kyslíku a v redukčním prostředí dochází k produkci malého množství sirovodíku. Jeho přítomnost je detekovatelná charakteristickým zápachem, ale analyticky – kvantitativně byl sirovodík naměřen jen koncem sezón v koncentracích 0,5–1 mg.l-1. V letním období se častěji a ve větším rozsahu objevoval vodní květ sinic a lokalita byla hygienicky hodnocena negativně jako koupací voda [9]. V roce 2016 došlo zejména v horní části výtopy rybníka k extrémnímu rozvoji vodního květu sinic. Rybník Staňkovský se tak přiblížil stavu, který lze označit jako pokročilá eutrofizace (Obr. 1).

Vyhodnocení dat od roku 1990 a výsledků průběžného sledování od roku 2007 zřetelně dokumentuje překvapivě rychlý postup eutrofizace a zhoršení kvality vody v rybníce Staňkovský (graf 1).

Na zvýšení nabídky fosforu reaguje plankton vyšší primární produkcí a nárůstem biomasy fytoplanktonu. Zároveň se ve stechiometrickém poměru zvyšuje spotřeba anorganického dusíku. V tomto kontextu je velmi důležitou skutečností zřetelné snížení koncentrací dusičnanů (Graf. 2). Protože současně je pozorován i pokles množství síranů a snížení alkality, je velmi pravděpodobné, že příčiny je třeba hledat v hydrochemických poměrech v povodí. Pokles síranů a dusičnanů lze dát do souvislosti s omezením kyselých srážek a s menším vyplavováním dusičnanů z lesních půd. Pokles alkality a chloridů by více odpovídal nižší úrovni vápnění a hnojení zemědělských kultur [5]. Nelze předpokládat, že nárůst celkového fosforu má hlavní příčinu jen v mobilizaci fosforu ze

Obrázek 1. Vodní květ sinic na přítoku do rybníka Staňkovský (podzim 2016, foto M. Baxa)

Tabulka 1. Sezónní hodnoty vodivosti, alkality a koncentrace dusičnanů, chloridů, síranů, celkového fosforu a chlorofylu-a v letech 1990–1991

Staňkovský	Vodivost [uS/cm]	Alk [meq/l]	NO_3^- [mg/l]	Cl^- [mg/l]	SO_4^{--} [mg/l]	TP [mg/l]	Chla [ug/l]
1990	194	0,80	7,16	7,16	43	0,04	7
1991	209	0,93	6,15	6,15	42	0,03	8

(data Pechar BÚ AVČR, Třeboň)

Tabulka 2. Sezónní hodnoty vodivosti, alkality a koncentrace dusičnanů, chloridů, síranů, celkového fosforu a chlorofylu-a v letech 2000–2001

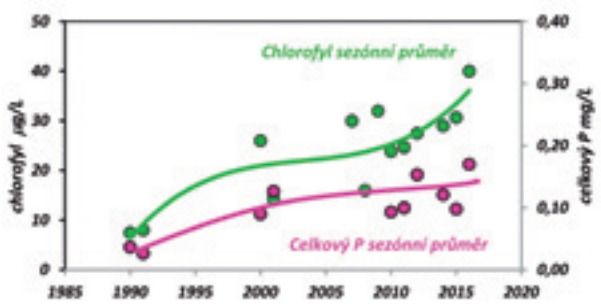
Staňkovský	Vodivost [uS/cm]	Alk [meq/l]	NO_3^- [mg/l]	Cl^- [mg/l]	SO_4^{--} [mg/l]	TP [mg/l]	Chla [ug/l]
2000	159	0,63	4,30	4,30	34	0,09	36
2001	154	0,21	4,66	4,66	35	0,13	14

(data Pechar, BÚ AVČR, Třeboň a ENKI ops. Třeboň)

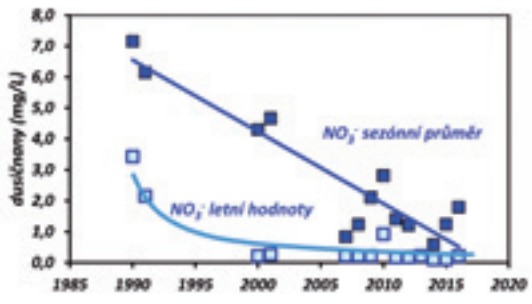
Tabulka 3. Sezónní hodnoty vodivosti, alkality a koncentrace dusičnanů, chloridů, síranů, celkového fosforu a chlorofylu-a v letech 2010–2011

Staňkovský	Vodivost [uS/cm]	Alk [meq/l]	NO_3^- [mg/l]	Cl^- [mg/l]	SO_4^{--} [mg/l]	TP [mg/l]	Chla [ug/l]
2010	114	0,34	2,904	2,81	17	0,09	27
2011	114	0,36	1,364	1,41	16	0,10	25

(data Pechar, ENKI ops Třeboň a Povodí Vltavy, s. p.)



Graf 1. Dlouhodobý trend koncentrací chlorofylu-a a celkového fosforu v rybníce Staňkovský, 1990–2016, data představují sezónní průměry ze 3–6 odběrů během měsíců dubna až října (data Pechar, BÚ AVČR a ENKI ops a Povodí Vltavy).



Graf 2. Dlouhodobý trend koncentrací dusičnanů v rybníce Staňkovský, 1990–2016, (data Pechar, BÚ AVČR a ENKI o.p.s a Povodí Vltavy, s.p., plné čtverce, představují sezónní průměry ze 3–6 odběrů během měsíců dubna až října, světlé čtverce jsou hodnoty z letních odběrů, červenec až září).

sedimentů ve vlastní nádrži. Ani určitý přísun fosforu z vnadících a krmných směsí, které používají sportovní rybáři, nemohl způsobit tak zřetelný nárůst. Jako klíčový zdroj fosforu byl v posledních letech identifikován přítok, tj. Koštěnický potok. Průměrná koncentrace celkového fosforu v přítoku v letech 2007 až 2016 byla 0,13 mg.l-1, nejnižší hodnoty neklesly pod 0,05 mg.l-1 a maximální koncentrace dosahovaly 0,30 mg.l-1. Po celé období od roku 2007 do roku 2016 je tento intenzivní přísun fosforu v podstatě stabilní (monitoring Koštěnického potoka, J. Potužák, nepubl. data, Povodí Vltavy s.p.).**Graf 2.** Dlouhodobý trend koncentrací dusičnanů v rybníce Staňkovský, 1990–2016, (data Pechar, BÚ AVČR a ENKI o.p.s a Povodí Vltavy s.p., plné čtverce, představují sezónní průměry ze 3–6 odběrů během měsíců dubna až října, světlé čtverce jsou hodnoty z letních odběrů, červenec až září).

Během roku 2011 byla uskutečněna látková bilanční studie na rybníce Staňkovský [6]. Roční přísun fosforu Koštěnickým potokem činil 2,4 t, tj. 1g P/m2 vodní plochy. Rybník zachytil téměř 70% vstupujícího fosforu, který je primárně navázán do sedimentů. Vyšší primární produkce stimulovaná přísunem fosforu však zvyšuje i následné rozkladné procesy. Pokud dojde v takto ovlivněné nádrži v létě ke stabilní teplotní stratifikaci, hrozí riziko kyslíkových deficitů u dna. Pokud rozklad organických látek pokračuje i po vyčerpání rozpuštěného kyslíku, dochází k denitrifikaci. Tento proces je z rybníků dobře popsán [7],[8]. Absence nebo vyčerpání dusičnanů způsobuje prohloubení redukčních podmínek a nastupuje redukce síranů na sirovodík. Zároveň se ze sedimentů uvolňuje rozpuštěný fosfát. Tím se spouští pozitivní zpětná vazba, která prohlubuje proces eutrofizace nádrže recyklací a mobilizací fosforu v sedimentech. Rybník Staňkovský však v posledních 25 letech zachycoval podstatnou část vstupujícího fosforu do sedimentu. Z dat bilanční studie z roku 2011 [6] vyplývá, že rybniční sediment zachytí 0,7 mg TP/m2 za rok. Pokud by se toto množství fosforu objevilo ve vodním sloupci, tj. v celém objemu vody rybníka, znamenalo by to zvýšení koncentrace TP o 0,24 mg.l-1. Průměrný roční nárůst koncentrace celkového P činí od roku 1990 0,005 mg.l-1. To znamená, že jen 2% vstupujícího fosforu se v roce 2011 objevilo ve vodním sloupci. Jak zvýšený přísun fosforu z povodí tak následná mobilizace fosforu ze sedimentů mění stechiometrický poměr N/P, který se snižuje. Vyšší potřeba anorganického dusíku pro primární produkci spolu s denitrifikací navozují relativní nedostatek anorganického dusíku. To jsou podmínky pro dominanci sinic ve fytoplanktonu a velmi intenzivní rozvoj vodního květu. Taková situace nastala v září 2016, což ukazuje, že se rybník Staňkovský blíží této další fázi eutrofizace, kdy vnitřní zdroj rybníka bude dalším stimulem eutrofizace (Obr. 1). Také rybí obsádka, zejména velké množství drobné plevelné ryby, se bude podílet na prohloubení projevů eutrofizace, není však jejich příčinou.

Od roku 2017 probíhá podrobný monitoring jak vlastního rybníka, tak povodí Koštěnického potoka. Společnost ENKI o.p.s. Třeboň, Povodí Vltavy, s. p. a Rybářství Třeboň a.s. se domluvily na společném postupu, jehož cílem je upřesnit stav Staňkovského rybníka a identifikovat příčiny takto intenzivní eutrofizace. Zároveň se zvažují možnosti, jak zastavit trend zhoršování kvality vody v této velmi významné lokalitě.

Závěr

Rybník Staňkovský si ještě v 90. letech minulého století zachovával charakter „čisté“ mezotrofní rybniční nádrže. Od roku 2007 přestává být v rámci monotoringu hygienických stanic hodnocen jako vhodný ke koupání. Následující léta se kvalita vody stále zhoršuje. Změny v povodí vyvolávají změny v chemismu rybniční vody, následně změny v sedimentu. Zvyšuje se frkvence výskytu vodních květů sinic, což vede k přesycení kyslíkem na hladině a kyslíkovým propadům v hloubkách. Spolupáce společnosti ENKI o.p.s. Třeboň, Povodí Vltavy, s. p. a Rybářství Třeboň a.s. by měla přinést návrhy a případné realizace opatření ke zlepšení současného stavu.

Poděkování

Výsledky uvedené v tomto příspěvku byly spolufinancovány projektem TAČR (TE02000077): Smart Regions-Buildings and Settlements Information Modelling, Technology and Infrastructure for Sustainable Development.

Dále projektem EK: HORIZON 2020

Sustainable Integrated Management FOR the NEXUS of water-land-food-energy-climate for a resource-efficient Europe, číslo projektu 689150 – SIM4NEXUS – H2020-WATER-2014-2015/ H2020-WATER-2015-two-stage. http://www.sim4nexus.eu/

Literatura

[1] PECHAR, L. *Století eutrofizace rybníků – synergický efekt zvyšování zátěže živinami (fosforem a dusíkem)a nárůstu rybích obsádek*. Vodní hospodářství, 2015, roč. 65, čís. s. 1–6.

[2] PECHAR,L., RADOVÁ,J. *Hydrobiologické zhodnocení vývoje třeboňských rybníků od konce 19. století.* [In:] IUCN: Trvale udržitelné využívání rybníků v Chráněné krajinné oblasti a biosférické rezervaci Třeboňsko. Význam rybníků pro krajinu střední Evropy.); České koordinační středisko IUCN – Světového svazu ochrany přírody Praha a IUCN Gland, Švýcarsko a Cambridge, Velká Británie, 1996, 57–78 pp

[3] ŠUSTA, J. *Fünf Jahrhunderte der Teichwirtschaft zu Wittingau. – Štětín.* 1898. Překlad: Lhotský O. Pět století rybničního hospodářství v Třeboni. Carpio, Třeboň, 1995.212pp.

[4] PECHAR, L., PŘIKRYL,I., FAINA,R. *Hydrobiological evaluation of Třeboň fishponds since the end of 19th century*. In: Květ J., Jeník J. & Soukupová L. (eds.): Freshwater Wetlands and Their Sustainable Future: A Case Study of the Třeboň Basin Biosphere Reserve, Czech Republic. Man and the Biosphere Series 28, UNESCO & The Parthenon Paris, 2002 s. 31–62.

[5] PECHAR, L., BASTL J., EDWARDS K., HAIS M., KUČERA Z., KROPFELOVÁ L., POKORNÝ J., RADOVÁ J. AND ŠULCOVÁ J. *Changes in agricultural discharge runoff during the last ten years after political and socio-economical transformation in the Czech republic – experience from fishpond water chemistry of the Třeboň basin*. In: Vymazal J. (ed.): Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetlands. – Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, 2003, s. 307–320.

[6] POTUŽÁK, JAN, JINDŘICH DURAS, AND BOŘEK DROZD. *„Mass balance of fishponds: are they sources or sinks of phosphorus?“* Aquaculture International 24.6. 2016. S. 1725–1745.

[7] POKORNÝ, J., FLEISCHER, S., PECHAR, L., PANSAR, J. *Nitrogen distribution in hypertrophic fishponds nad composition of gas produced in sediment.* In: J. Vymazal (ed.): Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetlands, Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands,. 1999, s. 111–120.

[8] DURAS J., MARCEL M., ŠEBESTA V., NOVOTNÁ V. *Rekonstrukce ČOV Pelhřimov – řešení situace na přetížených biologických rybnících a vliv na recipient.* Vodní hospodářství, roč. 65 (7), 34–40.

[9] „Koupací vody“. [Online]. Dostupné z: http://www.koupacivody.cz/. [Viděno: 15. srpna 2017].

VYUŽITÍ VÝZKUMNÉHO SONARU PRO STANOVENÍ MOCNOSTI SEDIMENTŮ

Jakub Borovec[1], Javiera Torrijos[1], Jiří Jan[1], Mojmír Dadejík[2], Kamil Borecký[3], Jaroslav Vrzák[3]

[1]Biologické centrum AVČR, v.v.i., Výzkumná Infrastruktura SoWa, Na sádkách 7, 370 05 České Budějovice
[2]AW-DAD, s.r.o., Liberecká 778, 412 01 Litoměřice-Předměstí
[3]HG partner, s.r.o., Smetanova 200, 250 82 Úvaly

Abstrakt

Předložený text shrnuje výsledky výzkumu zaměřeného na identifikaci a kvantifikaci sedimentů ve vodních nádržích. Byl vyvinut algoritmus pro interpretaci sonarových záznamů a výpočet mocnosti a odhadu základních vlastností sedimentů. Dále bylo představeno zařízení pro odběr zatloukaných hlubokých kórů, které slouží pro kalibraci sonarových výstupů.

Klíčová slova: *mapování dna; sonar; 3D-model; objem sedimentů.*

Abstrakt

Here we summarize research results of a study aimed at the identification and quantification of sediments in freshwater reservoirs. We developed an algorithm for the interpretation of sonar data, and the calculation of sediment thickness as well as for the estimation of basic sediment characteristics. We have also introduced a device for the collection of sediment cores, which are used for the calibration of sonar output data.

Klíčová slova: *bottom mapping; sonar; 3D-model; sediment volume.*

Úvod

Stanovením mocnosti sedimentů rozumíme zjištění horní a spodní úrovně sedimentu v různých částech nádrže. V případě horní úrovně sedimentu se jedná o styk sedimentu s vodou, v případě dolní úrovně o stanovení hranice původního terénu. Ani v jednom případě se nejedná o zcela přesně a jednoduše stanovitelnou hodnotu.

V případě zjišťování horní úrovně sedimentu při napuštěné nádrži je hranice v mnoha případech obtížně definovatelná, neboť procento sušiny se v horní vrstvě pohybuje v jednotkách procent. Vlastní hranice se může lišit běžně o 10 cm, v extrémním případě i více. Záleží na zkušenostech řešitele, aby správně nakalibroval měřící zařízení a použil postupy, které eliminují následné nesrovnalosti při dokladování vytěžené kubatury. Vzhledem k uvažovaným velkým plochám může odchylka 10 cm znamenat významný rozdíl v celkové kubatuře sedimentu při deklaraci vytěžených kubatur jak ve prospěch, tak v neprospěch zainteresovaných stran. Při zaměření vypuštěné nádrže lze jednoznačně zaměřit horní úroveň sedimentu, nicméně v závislosti na době vypuštění a následného odvodnění, charakteru, procentu sušiny v sedimentu, apod., se bude tato úroveň v čase měnit.

Při stanovení spodní úrovně sedimentu se v naprosté většině případů ocitáme v situaci, že není k dispozici dostatečně přesné a podrobné zaměření zátopy vodní nádrže před jejím zatopením. Zjištění spodní úrovně se tedy provádí pomocí stanovení mocnosti sedimentu. K dispozici je několik metod. Mezi klasické lze řadit například – penetrační sondy, různé druhy jádrových či jiných vpichovaných nebo šroubovaných odběrů, velkoobjemové odběry, případně další. Z modernějších metod lze uvést geofyzikální metody (především georadar) a speciální sonary. V obou případech je nutná kombinace s jádrovými odběry, potažmo laboratorními rozbory, které slouží ke kalibraci jednotlivých modelů. Metody a způsoby použití se neustále vyvíjejí a upřesňují i v závislosti na technických parametrech jednotlivých používaných přístrojů.

Metodika

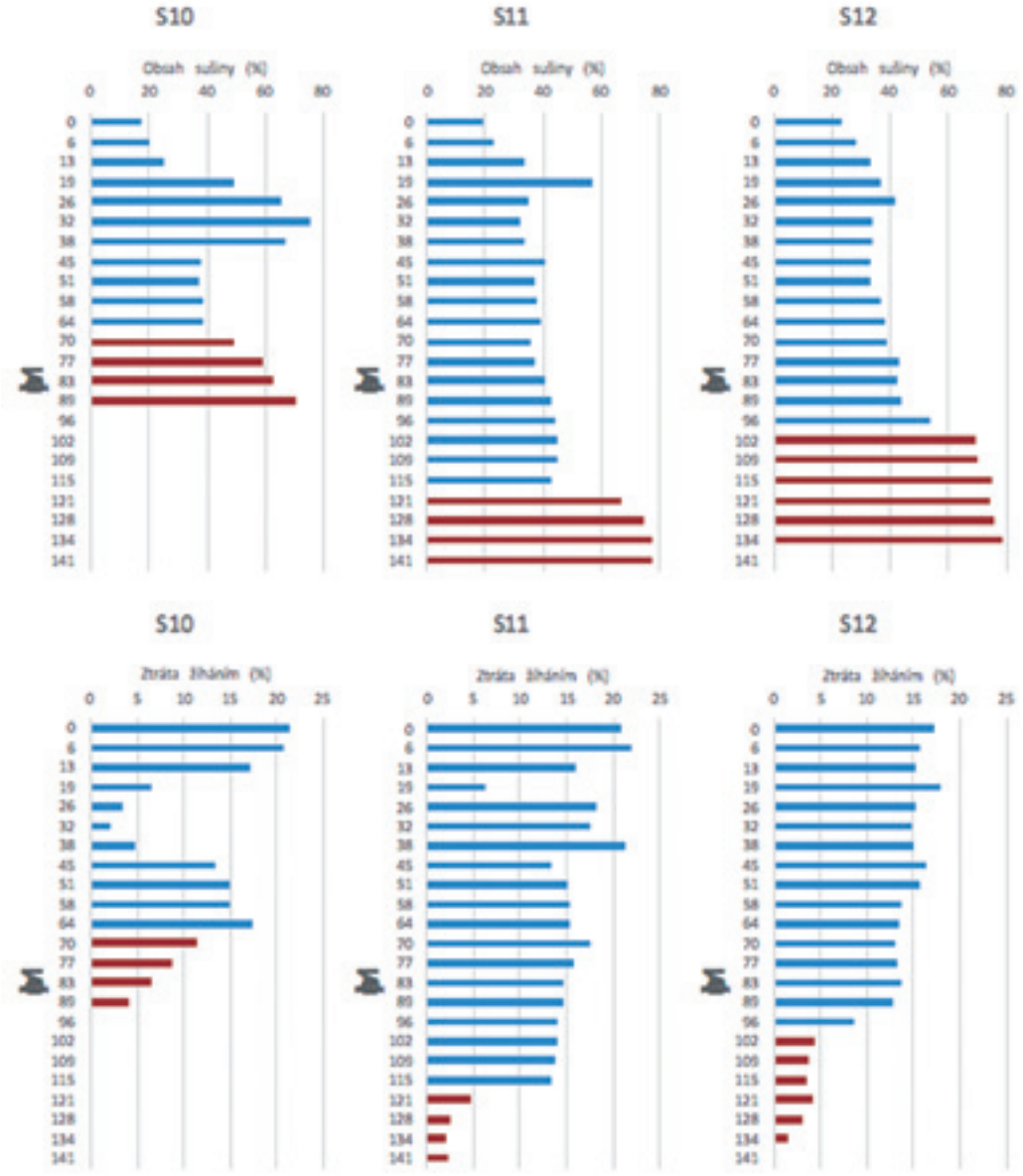
Nejpokročilejším nástrojem pro stanovení povrchu i objemu sedimentů je výzkumný sonar s velkým výkonem, který je možné regulovat podle aktuálních podmínek (např. Simrad EK 50, Simrad, Norsko). Velkou výhodou těchto sonarů je i možnost nastavení doby trvání jednoho zvukového pulzu (pingu). Energie vložená do pulzu tak ovlivňuje hloubku penetrace do sedimentu, délka pulzu pak rozlišení sonaru, přičemž platí pravidlo čím kratší pulz, tím větší rozlišení záznamu. Při práci s výzkumným sonarem jsou zpravidla používány vysílače o dvou frekvencích, nižší (např. 38 kHz) pro stanovení mocnosti sedimentů, a vyšší (např. 200 kHz) pro přesnější stanovení povrchu sedimentů. 2D výstup signálu obou frekvencí včetně GPS polohy je kontinuálně zaznamenáván a ukládán pro další zpracování (Obrázek 1.).

Následné zpracování záznamů zahrnuje postupně tyto kroky: stanovení čáry dna, integrace pingů do zvolených časových úseků a přepočet vertikální složky signálu na diskrétní vrstvy o tloušťce 2–5 cm. Takto upravený záznam poté vstupuje od speciálního převodníku obsahující algoritmy pro stanovení hloubky původního dna před zatopením a odhad množství vody a obsahu organických látek ve svrchní části sedimentů.

Jedná se o nepřímou metodu, se kterou je ale možné velmi efektivně pracovat v malém měřítku a získat detailní představu o horizontální i vertikální heterogenitě sedimentů a zejména jejich mocnosti.

Model je nutno kalibrovat ze vzorků dlouhých kórů, průměr vzorku min. 100 mm. Minimální počet vzorků je u protáhlé nádrže 9 ks km^{-1}, ideálně 3 příčné transekty po třech kórech, u široké nádrže 5 ks 10 ha^{-1}. U nádrží středně velkých a velkých je doporučeno provést zrnitostní analýzy za účelem potenciálního rozdružení sedimentu na dílčí složky. V případě, že lze na základě analýz uvažovat s možností rozdružení, následují laboratorní testování, případně terénní poloprovozní zkoušky.

Obrázek 1. Plavidlo vybavené zařízením pro lokalizaci sedimentů, strukturu sedimentů, se sběrem dat pro tvorbu bathygrafických map a map mocnosti sedimentů



Obrázek 2. Hluboké kóry použité pro kalibraci sonarových záznamů mocnosti sedimentů odebrané v příčném profilu nádrže. Horní grafy (Obsah sušiny) znázorňují obsah pevného podílu po vysušení, dolní grafy (Ztráta žíháním) obsah organické hmoty v suchém pevném podílu. Hnědé čáry označují původní dno. Na kóru S10 je jasně zřetelná vrstva materiálu s nízkým obsahem organických látek (19–38 cm), v tomto případě „hrubý písek". Náznak této vrstvy je patrný i na kóru S11, vrstva 19 cm zcela mizí v kóru S12. Takto byla lokalizována lavice hrubšího materiálu, včetně přibližného rozsahu. Rovněž lze konstatovat, že vrstva 70–115 cm (S11) odpovídá vrstvě 51–98 cm (S12) a pravděpodobně vrstva 26–64 cm (S11) odpovídá vrstvě 32–45 cm (S12).

Odběr hlubokých kórů pomocí zatloukacího odběráku

Jedná se o přímé stanovení, při kterém je sediment z kóru po vrstvách vytlačen, dále je slovně popsáno jeho makroskopické složení a následně je ve vrstvách provedeno stanovení obsahu sušiny (např. gravimetricky při 105°C do konstantní hmotnosti) a podílu organických látek v ní (např. gravimetricky jako ztráta žíháním při 550°C po dobu 2 hodin). Tloušťka jednotlivých vrstev je volena v závislosti na budoucí interpretaci výsledků, mocnosti sedimentů, analytických možnostech, apod. Při použití dlouhých kórů pro kalibraci sonarových záznamů je vhodné zvolit tloušťku vrstvy 5–6 cm, která odpovídá rozlišení sonarů s nižší frekvencí, nezbytných pro průzkum vertikálního profilu dna. Z výsledků stanovení lze snadno identifikovat vrstvy s hrubším materiálem nebo původní dno zatopené nivy (Obrázek 2.).

Odebraný materiál je následně možné použít pro další analýzy. Po identifikaci jednotlivých vrstev (např. „povodně", „80. léta", aj.) je počet vzorků vhodné redukovat jejich proporcionálním spojením. Například u sedimentu o mocnosti 150 cm lze definovat 3 vrstvy po cca 50 cm.

Stanovení množství sedimentu

Stanovení množství sedimentu na základě DMT horní a spodní úrovně sedimentu je na první pohled poměrně jednoduchá úloha, kterou dostatečně fundovaný projektant či uživatel zvládne během relativně krátké doby. Předpokladem je, že předchozí kroky (DMT) byly vytvořeny správně. Přesto je nutno uvažovat s dalšími faktory, které mohou dokladování kubatury značně zkomplikovat. Rozhodujícím kritériem jsou vlastnosti sedimentu (zrnitost, podíl organických látek) a podíl sušiny.

Pro zpracování dat z DMT lze použít standardní softwarové vybavení, např. AutoCad, ale i další. Speciálně pro výpočet kubatur, částečnou analýzu a prezentaci výstupů byl vyvinut program SedimentAnalyzátor (sestávající se ze dvou součástí SonarSed a SonarCAD), který dokáže přes speciální převodník interpretovat data z výstupu výzkumného sonaru. Tento program je nadstavbou programu AutoCAD ® Civil 3D ® 2016 a byl vytvořen za účelem analyzování bodů a jejich interpretace jako sady povrchů znázorňující rozhraní mezi jednotlivými vrstvami o rozdílných vlastnostech. Program na základě vstupního textového souboru zpracuje data a vytvoří povrchy se zadanými parametry, které je možné dále zpracovávat a vytvářet z nich libovolné kombinace výstupů. Alternativně lze použít i jiné softwarové vybavení, např. Atlas.

Informace o obsahu sušiny nebo organických látek jsou důležitými parametry, které mohou být využity při stanovení technologie těžby jako podklad pro návrh zkušební těžby (především z hlediska umístění zkušebního pole, ale i rozsahu a sledovaných parametrům při zkušební těžbě) nebo možného ovlivnění vodního prostředí v nádrži pod těžbou.

Pomocí SedimentAnalyzátoru lze interpretovat:

- pevné dno – spodní úroveň sedimentu
- horní úroveň sedimentu
- mocnost sedimentu
- obsah sušiny
- obsah organických látek
- příčné a podélné profily nádrží s vyznačením sedimentu.

Dále je dobré mít na paměti, že dnové sedimenty nádrží a zejména pak přítokové části jsou velice heterogenní. V různých částech často dochází k depozici rozdílného materiálu, který tak ovlivní jak koncentrace a formy P a jeho vazebných partnerů, tak množství organické hmoty a v ní asociovaný P. Při určování míry nebezpečnosti sedimentu pro eutrofizaci nádrže a případnou sanaci sedimentu je tak potřeba provést detailní průzkum distribuce sedimentů např. pomocí více frekvenčních sonarů a odebráním a analýzou dostatečného množství neporušených vzorků sedimentů.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl díky podpoře grantu TAČR č. TA04021342 Sedimenty vodních děl – identifikace, kvantifikace, charakterizace, sanace – nové postupy s ekonomickou efektivitou.

PLOVOUCÍ ZELENÉ OSTROVY, PERSPEKTIVNÍ ALTERNATIVA CHYBĚJÍCÍCH LITORÁLNÍCH SPOLEČENSTEV UMĚLÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ

Martina Čtvrtlíková[1], **Andrea Kučerová**[1], **Monika Krolová**[1], **Jan Kubečka**[1], **Milan Hladík**[2]

[1]*Biologické Centrum AV ČR, v.v.i.,*
Hydrobiologický ústav, Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice, tel. +420 387 775 851,
sidlatka@email.cz, andrea.trebon@seznam.cz, krolovaM@seznam.cz, kubecka@hbu.cas.cz
[2]*Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s., Nábřežní 90/4, 150 00 Praha 5,*
tel. +420 602 528 006, hladik@vrv.cz

Abstrakt

Ve spolupráci společnosti Vodohospodářský rozvoj a výstavba a Hydrobiologického ústavu, Biologického Centra AV ČR byl zahájen čtyřletý projekt TAČR Epsilon (2017–2020) na vývoj technologie plovoucích ostrovů, které budou zastupovat chybějící litorální vegetaci ve vodních nádržích tak, že posílí zbytky původních populací makrofyt a poskytnou stanoviště pro mnoho dalších organismů vázaných na prostředí pobřežních porostů. V rámci projektu bude navrženo několik konstrukčních řešení nezávislých na kolísání hladiny a bude testována jejich odolnost vůči povětrnostním a hydrologickým podmínkám velkých nádrží. Pro osázení ostrovů budou využity původní substráty i původní druhy makrofyt, které tak nebudou zdrojem nežádoucích kontaminací či invazí. Unikátní kombinace kultur vynořených a ponořených druhů makrofyt zvýší biodiverzitu plovoucích ostrovů, výrazně posílí jejich účinnost při snižování živinové zátěže a zvyšování kvality vody. Dlouhodobým cílem projektu je rozvoj polopřirozených litorálních stanovišť nezávislých na kolísání hladiny, která by mohla zvyšovat ekologický potenciál nádrží bez zásahu do jejich manipulačního řádu.

***Klíčová slova**: revitalizace; vodní makrofyta; litorální společenstva; jakost vody; ekologický potenciál.*

Abstract

Water Management Development and Construction joint stock Company and Biology Centre CAS, Institute of Hydrobiology started a four-year (2017–2020) project on development of technology of floating islands, which would substitute missing littoral vegetation in water reservoirs, supporting the residues of native macrophyte populations and providing alternative habitats for many other species reliant on shore vegetation. Several island prototypes independent of water level fluctuation will be designed and tested under extreme weather and hydrological conditions of the large reservoirs of the Czech Republic. The islands will be planted and filled exclusively with indigenous macrophytes and sediments to prevent spreading of non-native species and contaminations. The unique design combining cultivation of both emerged and submerged plants will improve island biodiversity, nutrient removal efficiency and water quality maintenance. The long-term aim of the project is a development of water-level-independent and semi-natural littoral habitats, which can enhance the ecological potential of reservoirs without interfering their operation manuals.

***Keywords:** revitalization; aquatic marophytes; littoral habitats; water quality; ecological potential.*

VN KUNOV – 50 ROKOV PREVÁDZKY VODNEJ STAVBY

Zuzana Čulenová

Slovenský vodohospodársky podnik š.p., Odštepný závod Bratislava,
Správa povodia Moravy

Abstrakt

Vodná stavba Kunov bola vybudovaná ako akumulačná nádrž priemyselnej vody pre Slovenský hodváb Senica. Od svojho vybudovania (uvedenie do prevádzky v r. 1965) bola vykonaná revízia vodnej stavby pri úplnom vypustení nádrže v rokoch 1990–1992 a v súčasnosti, nádrž je vypustená od r. 2015. Príspevok sa zaoberá komplexným zhodnotením doterajšej prevádzky vodnej stavby.

Úvod

Vodná nádrž Kunov je situovaná v km 8,6 rieky Teplica. Nachádza sa cca 5 km nad mestom Senica, medzi obcami Sobotište a Kunov v okrese Senica. Bola vybudovaná ako akumulačná nádrž priemyselnej vody pre Slovenský hodváb Senica. Stavebné práce na budovaní priehrady začali v roku 1959. V období od januára 1965 do decembra 1967 bola vodná stavba v overovacej prevádzke, v januári 1968 bola zahájená trvalá prevádzka. Od roku 2009 sa priemyselný odber nerealizuje. V súčasnosti je jediný odber z nádrže pre MVE, ktorá je umiestnená pod hrádzou. Hlavné účely vodnej stavby sú akumulácia vody a nadlepšovanie prietokov v období sucha, zachytenie povodňových prietokov, rekreácia, extenzívny chov rýb a energetické využitie (MVE).

Základné údaje vodnej stavby

Na základe rozhodnutia MLVH SSR č. 2816/638/83 – 330 z 14. apríla 1983 „Kategorizácia vodohospodárskych diel na území Slovenskej socialistickej republiky" zaradená do II. kategórie vodných stavieb [2]. V rokoch 1968-1981 vykonával dohľad na VS správca –Povodie Dunaja, podnik pre správu tokov. Od mája 1981 začala VVIP, útvar TBD vykonávať dohľad nad VS v celom rozsahu poverenej organizácie. V súčasnosti dohľad na VS Kunov vykonáva správca vodnej stavby (SVP š.p., OZ Bratislava, Správa povodia Moravy) a organizácia poverená dohľadom Vodohospodárska výstavba Bratislava, š.p. Bratislava, úsek TBD, odbor bezpečnosti priehrad [1].

Hlavné objekty stavby:
- zemná hrádza s komunikáciou
- združený funkčný objekt
- vodná nádrž
- odvodňovací systém hrádze
- malá vodná elektráreň (MVE)

Základné parametre vodnej stavby [2]:
- dĺžka hrádze v korune – 567,0 m
- šírka koruny hrádze – 6,0 m
- max. výška hrádze nad terénom – 11,31 m

Obrázok 1. Pohľad na VN Kunov (Zdroj: VV Bratislava š.p. [1])

Tabuľka 1. Prehľad hladín v zmysle STN 75 0120

Priestor nádrže	Kóty hladiny [m n. m.]	Objem [m3]	Zatopená plocha [ha]
Stály priestor	218,39–223,50	530 000	23,20
Zásobný priestor	223,50–228,45	2 170 000	58,30
Ochranný priestor	228,45–229,07	440 000	63,30
Celkom	229,07	3 140 000	63,30

- kóta koruny hrádze – 229,70 m n. m.
- minimálny zostatkový prietok – Q_{355} = 0,027 $m^3.s^{-1}$ (SHMÚ r. 2012)
- storočný prietok – Q_{100} = 79 $m^3.s^{-1}$ (SHMÚ, r. 2012)
- kapacita upraveného koryta pod nádržou – 52,2 $l.s^{-1}$ (projekt)
- kapacita bezpečnostného priepadu Q_{100} = 50 $m^3.s^{-1}$ (po rekonštrukcii v r. 1990–1992)
- dnový výpust – 2x potrubie DN 1000, max. prietoková kapacita 2 x 9,4 $m^3.s^{-1}$

Skúsenosti s prevádzkou vodnej stavby

Ako už bolo uvedené vyššie, vodná stavba bola v rokoch 1965–1967 v overovacej prevádzke, v trvalej prevádzke je od januára 1968. Počas prevádzky stavby do roku 1990, kedy bola prvý krát vykonaná revízia pri úplnom vypustení nádrže, máme k dispozícii málo dokladov o vykonaných opatreniach na vodnej stavbe. Väčšina opatrení súvisiacich s bezpečnou prevádzkou stavby je zdokumentovaná až od roku 1990.

Projekt meraní a pozorovaní, zber a prenos údajov

Projekt meraní a pozorovaní možno z hľadiska bezpečnosti stavby považovať za najdôležitejšiu súčasť technickej dokumentácie stavby. Pôvodný projekt meraní a pozorovaní bol vypracovaný v roku 1963. Pri uvedení stavby do prevádzky bolo vybudovaných 22 drenážnych studní (meranie priesaku) a 24 piezometrických trubíc (meranie HPV) [1].

Geodetické merania zvislých posunov na vodnej stavbe boli zahájené v r. 1964. V rokoch 1968–1971 sa vykonávali dvakrát ročne, od roku 1972 sa merania VPN vykonávajú raz ročne.

V súčasnosti vykonávané merania a pozorovania na vodnej možno rozdeliť na hlavné (priesaky telesom hrádze a podložím, hladina podzemnej vody, deformácie hrádze a ZFO) a pomocné - klimatické pomery (prítok a odtok, hladina vody v nádrži, teplota vody a ovzdušia, zrážky, rýchlosť vetra, zákal, odber vody).

Vodohospodárka výstavba Bratislava, š.p, ako organizácia vykonávajúca TBD má vybudovaný svoj systém pre monitorovanie údajov v priezometrických sondách a vrtoch. Zaznamenané údaje sa pravidelne vyhodnocujú v etapových a súhrnných etapových správach.

Názornejšie je množstvo dobudovaných zariadení vidieť na priloženej situácii (Obrázok 2).

V roku 1996 správca vodnej stavby Povodie Dunaja š.p. vybudoval na VN Kunov automatizovaný systém zberu a prenosu dát QENIX, firmy SAE-Control Žilina. Údaje zo stanice Sobotište o prítoku, hladina vody v nádrži a na odtoku sa prenášali pomocou GSM signálu na lokálny dispečing v dome hrádzneho a na dispečing v Malackách. Zaznamenané údaje sa zasielali na dispečing v Malackách v intervale 1 x za deň, v prípade potreby bolo možné získať informáciu o vodných stavoch i častejšie. Vybudovaním systému zberu a prenosu dát má prehľad o situácii na vodnej stavbe a prítoku (stanica Sobotište) nielen obsluha na stavbe, ale aj pracovník na dispečingu. Okrem toho je automatizácia zberu a prenosu dát z merných staníc nenahraditeľným systémom pri vzniku, priebehu a vyhodnocovaní mimoriadnych udalostí, ako sú napr. povodňová situácia alebo obdobie sucha.

Z dôvodu nedostatku finančných prostriedkov sa v posledných rokoch do obnovy systému zberu a prenosu dát neinvestovalo, stanica je morálne a technicky zastaralá. V roku 2015 bol ukončený projekt „Automatizácia výmeny krízových dát v hydrologickej oblasti povodia Moravy a Dyje", ktorý bol realizovaný v spolupráci s Povodím Moravy Brno, s.p.. Tento projekt riešil modernizáciu a softvérové riešenie dispečingu na OZ Bratislava a Správy povodia Moravy, pričom pôvodný systém QENIX bol nahradený komfortnejším užívateľským prostredím SCADA. Táto modernizácia vyvolala potrebu rekonštrukcie i všetkých staníc systému pre zber a prenos dát, vrátane stanice VN Kunov a VN Sobotište.

V súčasnej dobe sa pripravuje špecifikácia požiadaviek na zber a prenos týchto údajov pre stanicu Kunov a Sobotište v rozsahu údajov: stav vody v nádrži (2x) a na odtoku, prítok - stanica Sobotište, teplota vody a ovzdušia, zrážky, okamžitá rýchlosť vetra, zákal, priesaky, činnosť turbín MVE, SMS správy obsluhe stavby o alarmových hláseniach, narušenia objektov vodnej stavby.

Odvodňovací systém

Odvodňovací systém je súčasťou projektu meraní a pozorovaní. Odvodňovací systém hrádze tvorí:

- odvodňovací drén v telese hrádze dl. 506 m
- odvodňovací systém podložia hrádze (22 vŕtaných studní)

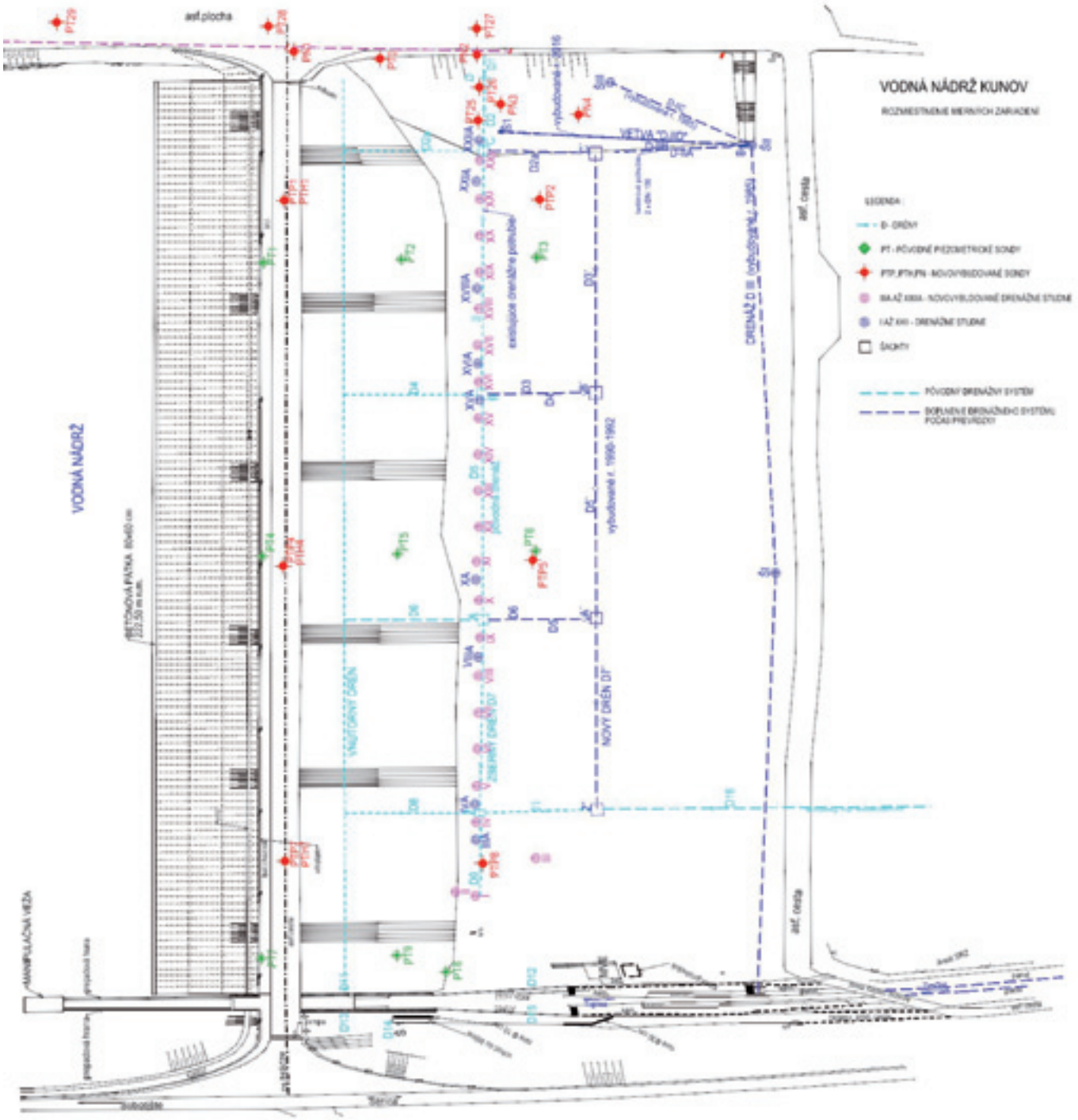
Vplyv starnutia stavby sa prejavuje vo veľkej miere i na drenážnom systéme. Pôvodné vetvy odvodňovacieho systému sa upchávajú, koreňový systém rastlín poškodzuje drenážne potrubia, sondy nevyhovujú súčasným potrebám pre merania a pozorovania.

Príčinou upchatia drénov D-3, D-5 a D-7 bol práve koreňový systém stromov v okolí zvodného drénu. Upchatie spôsobilo zníženie jeho kapacity, upchaté drény spôsobovali spätné vzdutie vody v šachtách, čím bolo odvedenie priesakových vôd obmedzené a nefunkčný drenážny systém by mohol ohroziť bezpečnú prevádzku vodnej stavby. Preto bol vybudovaný paralelný zvodný drén D-3´, D-5´a D-7´vo vzdialenosti 15 m od pôvodného. Pôvodný odvodňovací systém bol ešte doplnený o nový zberný drén (drenáž DIII) vo vzdialenosti 45 m od vzdušnej päty hrádze, ktorý je pri vyústení do koryta Teplice ukončený merným priepadom. Toto opatrenie zabezpečuje odvedenie svahových vôd.

Na základe pravidelných prehliadok TBD bolo správcovi stavby odporučené vybudovaním drenáže odvodniť zamokrenie päty svahu pri ľavostrannom zaviazaní hrádze. Toto odvodnenie bude realizované v rámci prebiehajúcej revízie, kedy nová drenážna vetva z ľavého svahu bude zaústená do existujúcej šachty Š-II.

Pôvodne vybudované sondy nevyhovovali požiadavkám na vykonávanie geofyzikálneho merania, kedy pôvodné pažnice mali malý priemer (80 mm) a niektoré mali zníženú funkčnosť. Preto boli vybudované nové sondy (10 ks) s priemerom pažnice 150 mm a perforáciou cca 15 %, čo vyhovuje pre merania HPV a geofyzikálnych charakteristík prúdenia podzemnej a priesakovej vody.

Funkčnosť systému má výrazný vplyv na informovanosť správcu stavby o stave hrádze z hľadiska bezpečnosti a prevádzky. Drenážny systém je zobrazený na obrázku 2.



Obrázok 2. Situácia s rozmiestnením merných zariadení a drenážny systém (Zdroj: SVP š.p., Správa povodia Moravy)

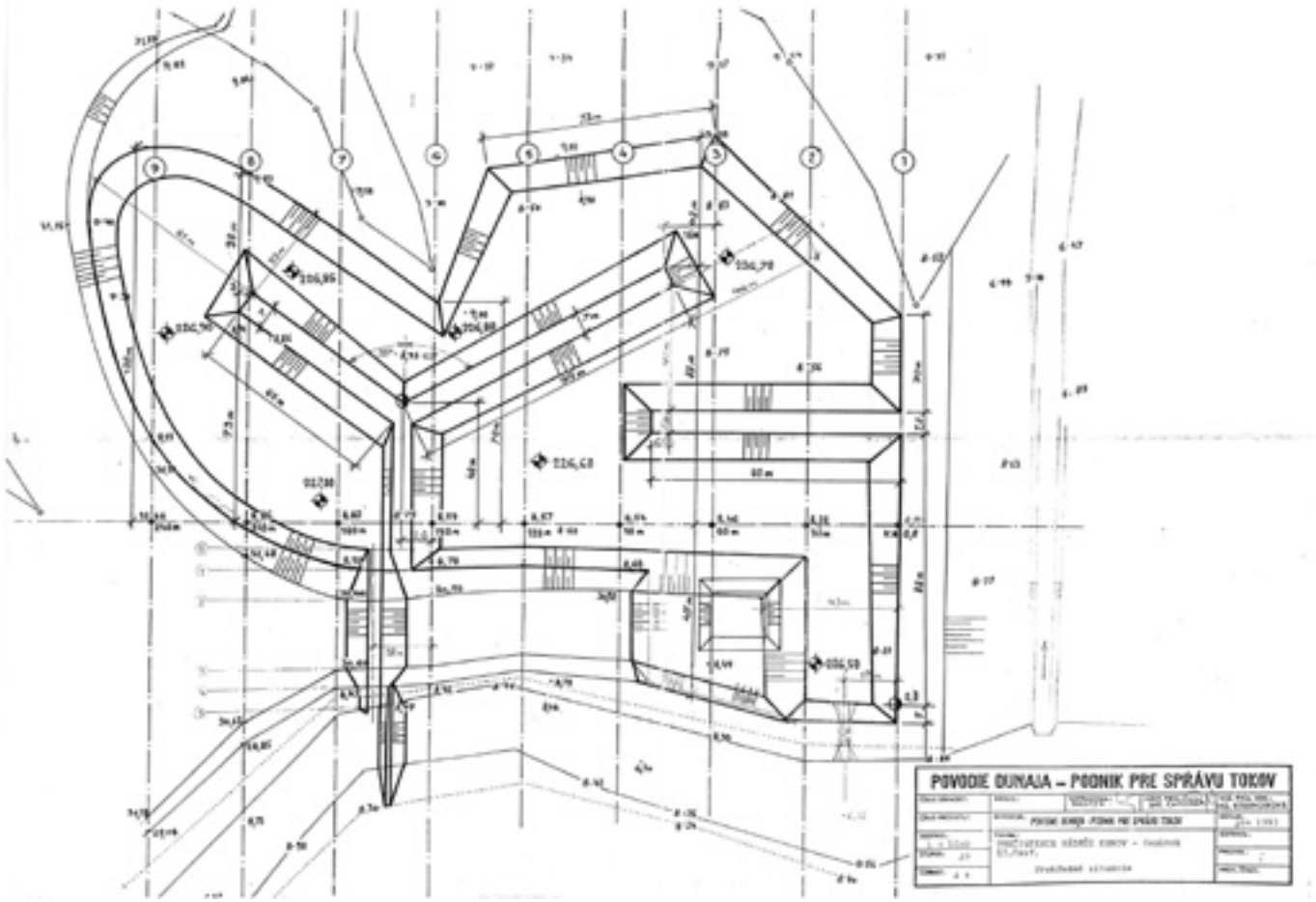
Revízia a rekonštrukcia vodnej stavby v rokoch 1990–1992 a 2015–2017

Ako som už uvádzala, počas doterajšej prevádzky bola vykonaná na vodnej stavbe 2x revízia pri úplnom vypustení nádrže – v rokoch 1990–1992 a v súčasnosti je vypustená od r. 2015. Všetky opatrenia ktoré boli a budú vykonané počas revízií sú zamerané na zabezpečenie spoľahlivej a bezpečnej prevádzky vodnej stavby v ďalších rokoch.

Sedimentačná prednádrž a meandre na vtoku do nádrže (revízia 1990–1992)

Teplica nad nádržou preteká erózne veľmi citlivým územím, v dôsledku čoho sa do nádrže dostávalo zvýšené množstvo biogénnych prvkov. S tým súvisela zhoršená kvalita vody v nádrži (rozvoj tzv. vodného kvetu), čo bolo nežiadúce nielen vzhľadom na priemyselné využitie vody (nevyhovujúca kvalita vody pre technologické postupy firmy Slovenský hodváb Senica), ale zvýšená eutrofizácia v letnej turistickej sezóne obmedzovala rekreačné využitie vodnej plochy [3]. Preto sa pri rekonštrukcii v rokoch 1990–1992 začali hľadať riešenia, ako znížiť usadzovanie materiálu v nádrži a zlepšiť kvalitu vody v nádrži. Tento problém mala odstrániť sedimentačná prednádrž so zemnou hrádzkou a priepadom, ktorú možno nazvať i malou vegetačnou čistiarňou pritekajúcej vody do nádrže.

Účelom vybudovania prednádrže bolo spomaliť rýchlosť vody pritekajúcej do nádrže a zachytávať sedimenty čím by sa odbúral nadmerný obsah biochemických prvkov vo vode pritekajúcej



Obrázok 3. VN Kunov – meandre na vtoku do VN (Zdroj: archív SVP š.p., Správa povodia Moravy [7])

do nádrže. Vytvorením troch meandrov a sedimentačnej prednádrže sa predĺžila dráha vtoku zo 120 m na 500 m.

Aby bolo možné zhodnotiť vplyv prednádrže a meandrov na kvalitu vody v nádrži, odbor vodohospodárskych laboratórií v rokoch 1998–99 odoberal v určených odberných miestach (Teplica Sobotište-prítok; sedimentačná prednádrž, VN Kunov pod prednádržou-stred a VN Kunov odtok z nádrže-pri priehradnom múre) vzorky vody vo vegetačnom období v pravidelných intervaloch (1–2 mesačných). Na základe vyhodnotenia výsledkov bolo skonštatované, že prednádrž s meandrami **plní svoj účel** – zabezpečuje znižovanie obsahu nerozpustených látok vo vode na prítoku čím sa výrazne znižuje aj koncentrácia celkového fosforu na prítoku [3]. Po vybudovaní prednádrže sa vodná plocha využíva počas celej letnej turistickej sezóny. Na obrázku 3 a 4 je situácia navrhnutých meandrov a sedimentačnej prednádrže. Na ortofotomape (Obrázok 5), je vidieť, ako sú v súčasnosti meandre začlenené do prírody.

Sedimentačnú prednádrž oddeľuje od nádrže zemná hrádzka dl. 435 m. s priepadom. Kóta koruny hrádzky je 228,50 m n. m. Od jej vybudovania v rokoch 1992–1993 sa zemný materiál hrádzky vplyvom vlnobitia postupne rozplavoval. V súčasnosti chýba časť hrádzky najmä na jej pravej strane. Preto sa pri súčasnej revízii doplní chýbajúca časť kameňom, aby neprichádzalo k opätovnému rozplavovaniu hrádzky.

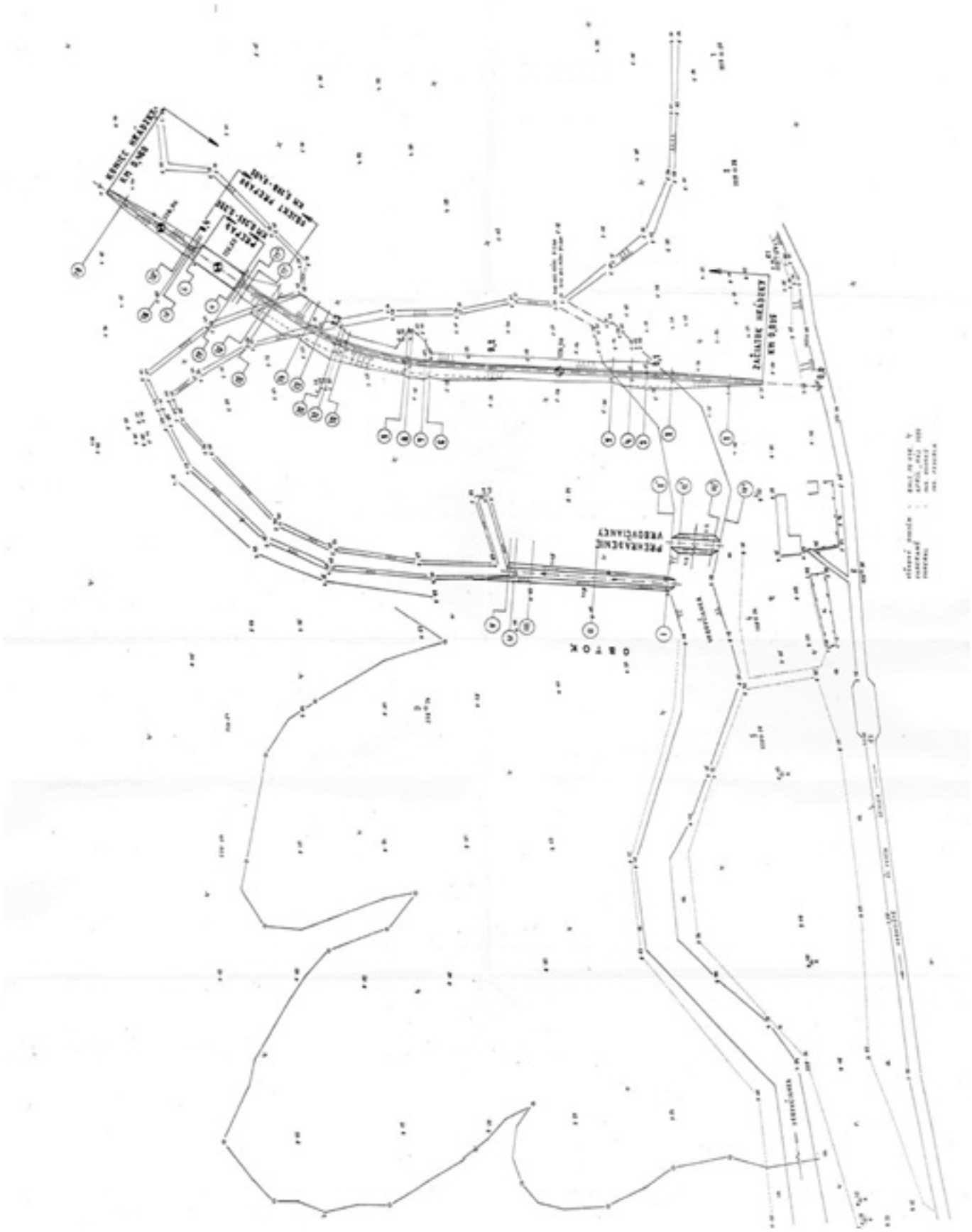
Odstránenie nánosov

Počas revízie v rokoch 1990–1992 sa odstráňovali nánosy najmä v zadnej časti nádrže, t. j. v úseku od pláže po koniec vzdutia. V priebehu revízie pri vypustenej nádrži v rokoch 2015–2017 sa predpokladá odstránenie sedimentov v okolí monobloku, v sedimentačnej prednádrži a na konci vzdutia. Celkovo sa z nádrže odstráni cca 75 000 m^3 nánosov, z toho v sedimentačnej prednádrži 16 000 m^3. Keďže nie sú údaje o rastlom teréne v nádrži pred prvým napustením, nánosy sa odstraňujú do úrovne ako bolo navrhnuté v rokoch 1990–1992. Pri budovaní meandrov a sedimentačnej prednádrže nebolo vykonané porealizačné zameranie. Preto sa niveleta odstránenia nánosov zvolila tak, by neprišlo k podbagrovaniu objektu priepadu.

Zvýšenie koruny bezpečnostného priepadu a vybudovanie vlnolamu ***(revízia 1990-1992)***

Akumulačný priestor nádrže je najviac využívaný priestor či už z hľadiska možného zachytenia povodňových prietokov, zabezpečenie odberov alebo nadlepšovanie prietokov v prípade sucha. Zvýšením akumulácie na VN Kunov sa zaoberala už PÚ „Zvýšení akumulace vodní nádrže na Vrbovčiance u Kunova“, kde bolo zvýšenie priepadovej hrany navrhnuté pomocou pohyblivých hradiacich konštrukcií – klapka alebo vakový uzáver. Vzhľadom k finančnej náročnosti sa tieto opatrenia nerealizovali. Zvýšenie akumulačného priestoru nádrže sa počas rekonštrukcie a vypustenia nádrže v rokoch 1990–1992 vyriešilo zvýšením priepadovej hrany nadbetónovaním koruny priepadu o 30 cm – z pôvodnej kóty 228,15 m n. m. na kótu 228,45 m n. m. Tvar priepadovej hrany je v súčasnosti bezpodtlakový. Prepadová výška pre Q_{100}=50 m^3.s^{-1} je 0,62 m; pre Q_{1000}=120 m^3.s^{-1} je výška prepadového lúča 1,05 m a max. hladine 229,07 m n. m. [1].

So zvýšením priepadovej hrany bezpečnostného priepadu súviseli i stavebné úpravy na korune hrádze. V oblasti vodnej stavby prevláda severný vietor, ktorý spôsoboval nárast vĺn až po okraj pôvodného múrika a hrozilo by preliatie hrádze. Preto sa v roku 1992 v priamej časti hrádze vybudoval vlnolam a výbeh vĺn sa zmierňuje



Obrázok 4. VN Kunov – meandre a sedimentačná prednádrž (Zdroj: archív SVP š.p., Správa povodia Moravy [7])

Obrázok 5. VN Kunov – ortofotomapa meandre a sedimentačná prednádrž (Zdroj: internet)

umelým zdrsnením rozrážačmi osadenými pod vlnolamom. Neskôr bol dobudovaný vlnolam a rozrážače v úseku medzi funkčným objektom a štátnou cestou Senica-Sobotište. Umiestnenie vlnolamu a rozrážačov znázorňuje obrázok 6.

Počas prvej revízie od uvedenia stavby do prevádzky sa venovala pozornosť aj dnovým uzáverom na výpustných potrubiach (2x2 uzávery DN 1000) ako i uzáverom na odbernom a odvodňovacom potrubí. Tieto zariadenia boli značne opotrebované, takmer na hranici použiteľnosti. Dnové výpusty boli vymenené za nové vrátane el. pohonu. Taktiež sa pristúpilo k oprave funkčného monobloku, vybudovala sa časť drenážneho systému, ktorý je popísaný vyššie, kapitola 2.2.

V rokoch 2015–2017 je počas revízie vodnej stavby okrem odstránenia nánosov plánovaná aj oprava betónových konštrukcií funkčného objektu, oprava betónového opevnenia návodného svahu hrádze, oprava koruny hrádze a sanácia vzdušného svahu hrádze, oprava drenážneho systému a oprava kovových konštrukcií na funkčnom objekte. Skúsenosti z prevádzky poukázali na potrebu vybudovať na manipulačnej veži prístrešok, aby neprichádzalo k zatekaniu dažďovej vody do objektu manipulačnej veže cez otvory v strope.

Všetky opatrenia, ktoré sa počas revízií vykonali a vykonajú majú za cieľ zvýšiť bezpečnosť a spoľahlivosť vodnej stavby.

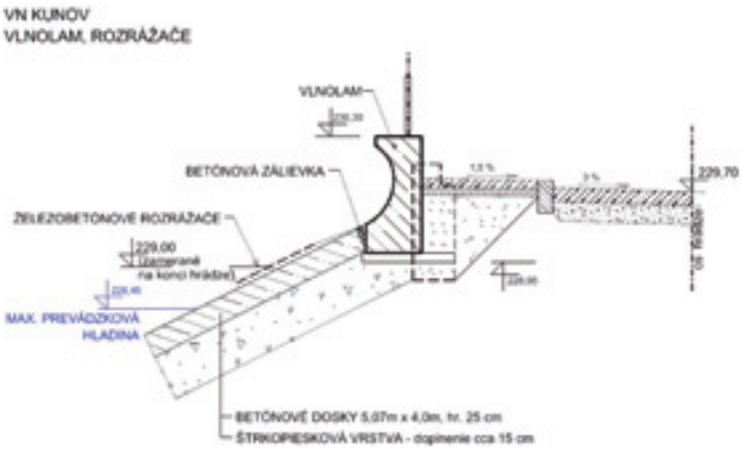
Mimoriadne situácie – povodne

V povodí rieky Teplica (pôvodný názov Vrbovčianka) bolo v minulosti zaznamenaných niekoľko historických povodní, najmä povodne v rokoch 1630, 1672, 1725, 1775, 1805, 1820, 1902 a 1932 [5]. Tieto povodne však neboli vyhodnotené, preto nemôžeme určiť, ktorá z povodní bola najväčšia. K historickým a významným povodniam na toku Teplica sa radí aj povodeň na vodnej stavbe Kunov z júla 1997 a jarná povodeň v roku 2006. Tieto dve mimoriadne situácie možno označiť za najvýznamnejšie povodne počas doterajšej prevádzky vodnej stavby.

VS Kunov – povodňová situácia júl 1997

Povodne v roku 1997 zasiahli takmer celé územie v správe Správy povodia Moravy (vtedajší OZ Povodie Dunaja). Na VS Kunov boli v júli 1997 zaznamenané dve povodňové vlny, a to v dňoch dňoch 6. 7.–12. 7. 1997 a 17. 7.–26. 7. 1997. Najväčšie zrážkové úhrny boli v týchto dňoch:

7. 7. 1997	33,4 mm
8. 7. 1997	51,4 mm
9. 7. 1997	23,4 mm
19. 7. 1997	37,1 mm



Obrázok 6. VN Kunov – Umiestnenie vlnolamu a rozrážačov na návodnej strane hrádze (Zdroj: archív SVP š.p., Správa povodia Moravy)

Tabuľka 2. Kulminačné prietoky a vodné stavy na staniciach SHMÚ (z merných kriviek)

Stanica	7. 7. 1997		Q_{100} SHMÚ	Q_{1000} SHMÚ
	Prietok [$m^3.s^{-1}$]	**Vodný stav** [cm]	[$m^3.s^{-1}$]	[$m^3.s^{-1}$]
Sobotište (prítok)	52,2	352	47	75
Kunov (odtok)	45,0	298	49	77
Senica	37,94	314	61	92

Celkový zrážkový úhrn za mesiac júl bol 196,6 mm. Uvedený zrážkový úhrn za mesiac júl 1997 bol extrémny, pretože dlhodobé pozorovania na stanici Senica do júla 1997 uvádzajú max. zrážku za mesiac júl 84 mm. To znamená, že táto zrážka bola prekročená o 234 % [5].

Hodnoty kulminačných prietokov dňa 7. 7. 1997 zo staníc SHMÚ stanovené na základe merných kriviek sú uvedené v tabuľke 1.

Za obdobie 6. 7. 1997 12,00 hod do 12. 7. 1997 24,00 hod. bol zrážkový úhrn 116,8 mm, čo pri ploche povodia 94,358 km^2 (vodohospodárka mapa ČSFR) a predpokladu rovnomerného rozdelenia zrážok v povodí toku Teplica predstavuje vyše 11 mil. m^3 zrážkovej vody [4].

Na vodnej stavbe Kunov bola zaznamenaná max. hladina dňa 8. 7. 1997 v čase medzi 0,00–1,00 hod., pričom výška hladiny v nádrži dosiahla výšku 229,40 m n. m. (940 cm), čo je 95 cm nad hranou bezpečnostného priepadu.

Po vyhodnotení priebehov povodňových vĺn (zdroj: SHMÚ) sme skonštatovali, že manipuláciou na vodnej stavbe bolo dosiahnuté sploštenie povodňovej vlny o 6,77 $m^3.s^{-1}$ [5].

Obrázok 7. VN Kunov – bezpečnostný priepad a vývar, povodeň júl 1997 (Zdroj: Ing. Vladimír Slaninka)

Hydraulickú analýzu povodňovej situácie na VN Kunov v júli 1997 vypracovala aj Slovenská technická univerzita v Bratislave pod vedením doc. Ing. Jozefa Kamenského, CSc.. V závere prof. Ing. Jozef Kamenský, Ph.D. skonštatoval, že kulminačný prietok pod vodným dielom Kunov dosahoval hodnotu cca 80 $m^3.s^{-1}$, čo je prietok väčší ako v súčasnosti udávaný Q_{1000} [4]. Koryto nie je na takýto prietok dimenzované, prišlo k vybreženiu vody z koryta pod nádržou a zatopeniu priľahlého územia.

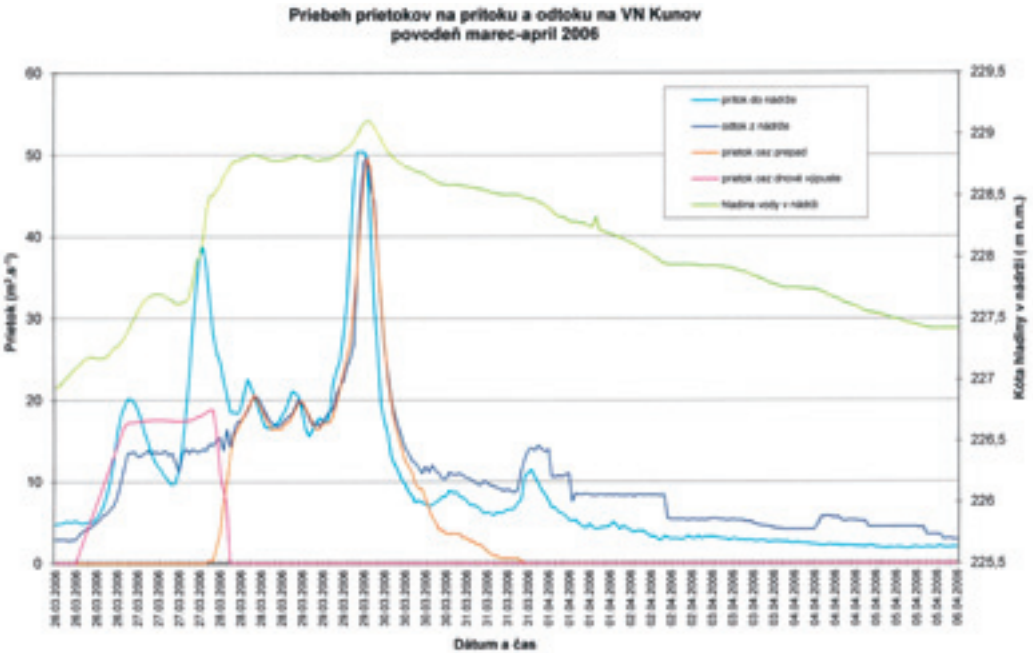
Povodňová situácia v júli 1997 potvrdila, že zvýšenie akumulačného objemu nádrže stavebnými prácami na korune hrádze (zvýšenie koruny hrádze s vlnolamom) a nadvýšenie koruny bezpečnostného priepadu, ktoré sa realizovalo počas rekonštrukcie v rokoch 1990–1992 bolo z hľadiska spoľahlivej a bezpečnej prevádzky vodnej stavby opodstatnené.

VS Kunov – povodňová situácia marec–apríl 2006

Povodeň v roku 2006 mala iný charakter ako povodeň v roku 1997. Bola to jarná povodeň, počas ktorej boli zaznamenané dve povodňové vlny. Výrazné oteplenie spojené s topením snehu a väčšie úhrny zrážok spôsobili zvýšenie hladiny toku Teplica. Vodné stavy sme sledovali na vodočtoch stanice Sobotište (prítok) a Kunov. Okrem toho boli vodné stavy a zrážky kontinuálne zaznamenávané v systéme pre zber a prenos údajov – QUENIX.

Na základe vývoja hydrologickej situácie v povodí toku Teplica a predpovede SHMÚ sa dňa 26. 3. 2006 pristúpilo k opatreniam (otvorenie dnových výpustov na maximum), ktorých účelom bolo znížiť hladinu vody v nádrži a zväčšiť priestor pre transformáciu povodňovej vlny. Na vodnej stavbe bol vyhlásený III. stupeň PA. Povodňový prietok sa prevádzal dnovými výpustami až do dosiahnutia úrovne bezpečnostného priepadu, kedy v zmysle manipulačného poriadku boli dnové výpusty uzavreté. Správna manipulácia s dnovými výpustami zabezpečila transformáciu prvej povodňovej vlny. Pri druhej vlne už museli byť dnové uzávery uzatvorené, voda prepadala bezpečnostným priepadom. Maximálna hladina v nádrži pri druhej povodňovej vlne bola dosiahnutá za čas cca 85 hodín od začiatku manipulácie s dnovými výpustami. Hladina dosiahla dňa 29. 3. 2006 o 19,00 hod. úroveň 229,11 m n. m., čo je 66 cm nad bezpečnostným priepadom. Dňa 29. 3. 2006 bol zaznamenaný aj najvyšší denný úhrn zrážok – 20,8 mm [8].

Obrázok 8. VN Kunov – bezpečnostný priepad, povodeň 2006 (Zdroj: archív SVP š.p., Správa povodia Moravy)



Obrázok 9. VN Kunov – priebeh prietokov na prítoku a odtoku, povodeň 2006 (Zdroj: archív SVP š.p., [8])

Mimoriadne situácie – obdobie sucha

Obrázok 10. VN Kunov, r. 2003 – kamenný val pri pláži (Zdroj: archív SVP š.p., Správa povodia Moravy)

Obrázok 11. VN Kunov, r. 2003 – zemná hrádzka s priepadom a sedimentačná prednádrž (Zdroj: archív SVP š.p., Správa povodia Moravy)

Počas doterajšej prevádzky vodnej stavby bolo významné obdobie sucha zaznamenané 1x, v roku 2003. V mesiacoch november–december 2003 bola zaznamenaná najnižšia hladina vody v nádrži v rámci celého roka, kedy bola obsluhou vodnej stavby zaznamenaná hladina v úrovni 223,71 m n. m. [6]. Prítok do nádrže nestačil pokryť potrebu vody na zabezpečenie minimálneho zostatkové prietoku, ktorý bol v zmysle platného manipulačného poriadku z roku 2002 stanovený hodnotou Q_{355}=0,035 $m^3.s^{-1}$ [2]. Práve v tomto roku, kedy hladiny vody klesla o 4,57 m pod úroveň max. zásobného priestoru, pričom minimálna hladina zásobného priestoru je na úrovni 223,50 m n. m. Práve v tomto roku sa v plnej miere ukázala potreba akumulácie vody v nádrži a nadlepšovania prietokov v toku pod nádržou.

V novodobej histórii sme sa väčšinou stretali s problémami počas povodní. Keďže sa vyskytovali častejšie, naučili sme sa tieto mimoriadne situácie správnymi manipuláciami a opatreniami zvládať. Podľa predpovedí klimatológov sa vplyvom klimatických zmien budeme v budúcnosti častejšie stretávať aj s opačným extrémom prírody – suchom. Preto je potrebné začať sa zaoberať možnými riešeniami ako sa s problémom suchých rokov vysporiadať či už z hľadiska nárokov na vodu pre obyvateľov, poľnohospodárov alebo rybárov.

Literatúra

[1] Vodohospodárska výstavba š.p. Bratislava, úsek technicko-bezpečnostného dohľadu, odbor bezpečnosti priehrad: *Vodná nádrž Kunov. Súhrnná etapová správa o dohľade za celé predchádzajúce obdobie existencie VS.* Bratislava, 2014, 86 s., 47 príl.

[2] ŠPAZIER, J. *Manipulačný poriadok pre vodnú stavbu Vodná nádrž Kunov*. SVP š.p., 2013.

[3] Slovenský vodohospodársky podnik š.p., OZ Povodie Dunaja Bratislava. Valúchová, M. *Zhodnotenie vplyvu prednádržky na zníženie obsahu biogénnych prvkov v Kunovskej vodnej nádrži*. Bratislava, 2000, 4 s., 6 príl.

[4] STU v Bratislave, Stavebná fakulta, katedra hydrotechniky. Kamenský, J. *Hydraulická analýza povodňovej situácie na vodnom diele Kunov*. Bratislava, 1998, 28 s., 13 príl.

[5] Slovenský vodohospodársky podnik š.p., OZ Povodie Dunaja, závod Malacky: *Analýza manipulácie na vodohospodárskom diele VD Kunov v dňoch 7.7.1997-22.7.1997*. Malacky, 1998, 5 s., 17 príl.

[6] Slovenský vodohospodársky podnik š.p., OZ Bratislava, závod Povodie Moravy: *Vyhodnotenie – nádrže 2003*. Malacky, 2004.

[7] Povodie Dunaja, podnik pre správu tokov: *Prečistenie nádrže VD Kunov, projektová dokumentácia*. Bratislava, 1990.

[8] Slovenský vodohospodársky podnik š.p., OZ Povodie Dunaja, závod Malacky: *Analýza povodňovej situácie na vodnej stavbe Kunov*. Malacky 2006, 6 s., 11 príl.

PROJEKT OPTIMALIZACE OCHRANY VODY A PŮDY V POVODÍ SVRATKY

Jana Konečná[1], Petr Karásek[1], Petr Fučík[1], Roman Hanák[2], Stanislav Ryšavý[2], Lukáš Sýkora[2], Petr Doležal[3], Michal Kriška[4]

[1]Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Žabovřeská 250, 156 27 Praha, tel. +420 526 126 281, konecna.jana@vumop.cz
[2]AQUATIS, a.s., Botanická 834/56, 602 00 Brno
[3]Agroprojekt PSO, s.r.o., Slavíčkova 840/1, 638 00 Brno
[4]VUT v Brně, Antonínská 548/1, 602 00 Brno

Abstrakt

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

Klíčová slova: *povodí Svratky; bodové a plošné zdroje znečištění; dusík; fosfor; nerozpustné látky; opatření pro udržení nebo zlepšení kvality vody.*

Abstract

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

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

Úvod

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

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

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

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

Mezi plošné zdroje potenciálního zemědělského znečištění povrchových vod řadíme plochy zemědělské půdy ležící bezprostředně při březích povrchových vodních toků a ploch, erozně ohrožené svahy orné půdy, lokality s výskytem půd s rizikem zrychlené infiltrace a vyplavování živin, včetně ploch orné půdy navazující na vybudované odvodňovací systémy. Kritické zdrojové plochy jsou obecně enklávy, kde se protínají zvýšené obsahy živin (N nebo P) v půdě s vysokým potenciálem tvorby či cesty rychlého povrchového či podpovrchového odtoku vody a jsou považovány za dominantní původce plošných zdrojů znečištění vod. V zahraničí jsou tyto lokality vymezovány řadou způsobů a přístupů, dnes převážně v GIS, založených na hodnocení odtokových linií či zón v kombinaci s plochami saturace [5, 6]. Kromě ploch s výskytem povrchového odtoku to mohou být dále půdy mělké, promyvné a/nebo odvodněné. Lokality s rizikem vyplavování živin z půdního profilu je možné vymezit překryvem půdních a geomorfologických charakteristik (analýza dle kódu BPEJ = bonitovaných půdně ekologických jednotek) s vrstvou staveb zemědělského odvodnění [7, 8]. Dusík a dusičnany jsou hlavními produkty plošného znečištění vod ze zemědělství v důsledku zrychleného vyplavování. Fučík a kol. [9] prokázali, že vyplavování dusíku ze zemědělských půd lze omezit cíleným zatravněním v oblastech s rizikem zrychlené infiltrace.

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

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

Materiál a metody

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

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

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

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

Dotazníkovým šetřením je zjišťováno:

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

Dále je prováděn cílený monitoring a průzkumy za účelem zpřesnění dostupných dat:

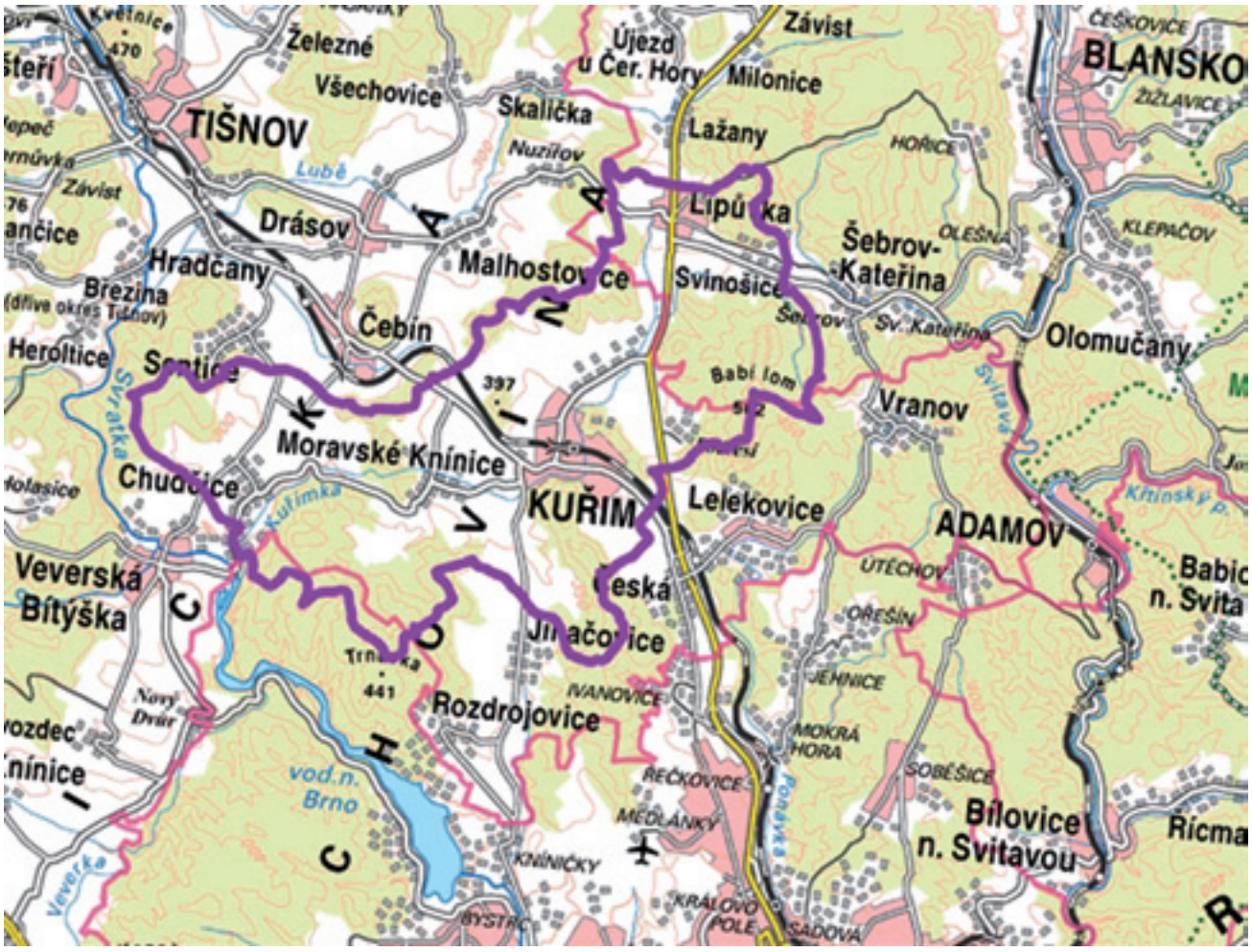
- několikrát ročně odběry vzorků vody nad a pod potenciálními zdroji znečištění (ČOV, obce, rybníky aj.), stanovení obsahu P a N (v celkové a přístupné formě);
- účelové měření hydrologických charakteristik;
- odběry vzorků půdy (obr. 3) a sedimentů v erozně ohrožených lokalitách (v transektu od vrcholu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

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

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

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

Obrázek 1. Lokalizace zájmových povodí – Bílý potok



Obrázek 2. Lokalizace zájmových povodí – Kuřimka

Obrázek 3. Odběr smíšených půdních vzorků v lokalitě transektu K1 v povodí Kuřimky

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

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

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

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

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

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

Výsledky

3.1 Charakteristika zájmových povodí

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

Kuřimka pramení v lesích pod vrcholem Babí lom. Jejím prvním významnějším pravostranným přítokem je potok Lipůvka. V Kuřimi se do ní vlévá Podlesní a Luční potok a další menší lokální vodoteče. Na okraji Kuřimi na Lučním potoce se nachází malá vodní nádrž, která slouží pro rekreaci, jako koupaliště. V k. ú. Moravské Knínice přitéká z levé strany Batelovský potok, na kterém se nachází 4 menší rybníky. Dále po toku následují 2 pravostranné přítoky z polí a jeden z obce Chudčice. Kuřimka se vlévá do Svratky v k. ú. města Brna a to přímo do horní části Brněnské nádrže. Nad ústím byla vybudovaná malá sedimentační nádrž, která tvoří uzávěrový profil zájmového povodí (plocha je 49 ha).

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

Z geomorfologického hlediska patří **povodí Bílého potoka** do provincie Česká vysočina a zasahuje do dvou rozdílných subprovincií. Severovýchodní část spadá do subprovincie České tabule, konkrétněji do Svitavské pahorkatiny. Jihozápadní část povodí se rozkládá na Hornosvratecké vrchovině, která patří již do Česko – moravské subprovincie. Pro reliéf Svitavské pahorkatiny jsou charakteristické ploché nebo jemně modelované pozvolné svahy a široká údolí vodních toků. Reliéf povodí v Hornosvratecké vrchovině se vyznačuje vyšší svažitostí a ostřejšími zářezy údolnic a vodotečí. Vrcholové a silně svažité partie povodí jsou zalesněny. Nejnižším bodem povodí je uzávěrový profil s nadmořskou výškou 511 m, nejvyšším pak vrch Žižkov 753 m n.m. Průměrná nadmořská výška činí 632 m.

Povodí Kuřimky se řadí do provincie Česká vysočina, Česko – moravské subprovincie a převážně se rozkládá v Brněnské vrchovině. Konkrétněji zasahuje do 4 nižších geomorfologických jednotek, a sice Křižanovské vrchoviny, Boskovické brázdy, Bobravské vrchoviny a Drahanské vrchoviny. Reliéf povodí tvoří dlouhé svahy, rozčleněné lokálními údolnicemi a údolími vodních toků. Výrazněji svažité části povodí jsou pokryty lesy. Katastrální území Moravské Knínice protíná v přibližně severo-jižním směru nesouvislé lavicovité těleso staré dálnice, která nebyla nikdy dokončena a v současnosti je buď využívána jako zemědělská půda nebo je porostlá přirozeným náletem bylin a dřevin. Průměrná nadmořská výška povodí je 398 m a pohybuje se od 233 m (uzávěrový profil) po 562 m (Babí lom).

Povodí Bílého potoka zasahuje do dvou rozdílných geologických formací. Pro Českou křídovou pánev jsou jako podloží charakteristické opuky, tzn., že se zde střídají slínovce a vápnito-jílovité pískovce a na nich se vyvinuly kambizemě modální. V oblasti krystalinika se jako podloží střídají převážně pararuly, diority a granodiority. Také zde převažují kambizemě modální, ale ve vyšších polohách přecházejí v v dystrickou varietu. Podél Bílého potoka se vyvinuly fluvizemě modální až glejové na smíšených nivních sedimentech. Glejové půdy se vyskytují v údolích menších toků. V lokálních depresích na svahových sedimentech vznikly pseudogleje modální a kambizemě oglejené. Zrnitostní složení půd je převážně střední (hlinité) až lehčí střední (písčito-hlinité).

Povodí Kuřimky je tvořeno brněnským masívem, pro který je charakteristický pestrý výskyt hornin: granity, granodiority, lokálně vápence, slepence, brekcie a droby. Ve svahových polohách na uvedených horninách se nacházejí především kambizemě modální, doprovázené pararendzinami a pseudoglejemi. V údolních polohách a na plošinách jsou podložní horniny překryty vrstvou spraší a sprašových hlín. Ty představují matečný substrát pro

Tabulka 1. Charakteristika klimatických regionů

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

převládající půdní typy v území, kterými jsou hnědozemě modální a luvizemě modální (včetně oglejených variet). Lokálně se na spraších vyvinuly i černozemě, které jsou zde však degradované. Údolí vodních toků jsou vyplněna smíšenými sedimenty a na ně navazuje výskyt různých hydromorfních půd jako fluvizemě, gleje a černice. Zrnitostně se jedná převážně o kvalitní hlinité středně těžké půdy.

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

Tabulka 2. Druhy pozemků v zájmových povodích

Druhy pozemků	Bílý potok		Kuřimka	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Orná půda	3639,31	36,21	1600,30	32,66
TTP	1955,13	19,45	68,35	1,39
Lesy	2720,05	27,07	2082,80	42,50
Ostatní	1735,01	17,26	1148,70	23,44

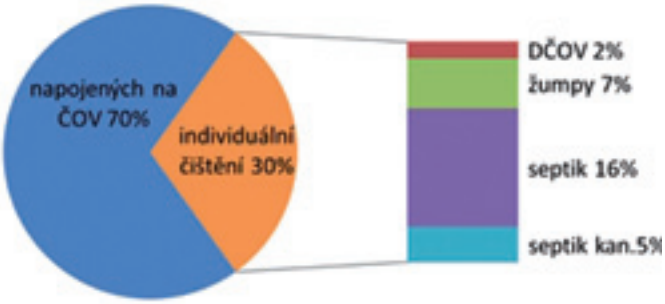
3.2 Bodové zdroje znečištění

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

Byl proveden podrobný průzkum toků v obcích, které se nachází v obou zájmových územích. Došlo k detailnímu zmapování všech výustí, které vedou do vodního toku. Dále byly zjišťovány údaje od místních obyvatel, což posloužilo k upřesnění některých popisů výustí. Z vybraných výustí byly odebrány vzorky, které Vodohospodářská laboratoř Povodí Moravy, s.p. analyzovala na následující parametry: BSK5; CHSKCr; NLs; N-NH4; P-PO4; Pcelk a Ncelk. Byly také odebrány vzorky z toku, které pomohly lépe lokalizovat a kvantifikovat zdroje znečištění. Monitorovací lokality v povodí Bílého potoka prezentuje obr. 5.

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

Dalším výrazným zdrojem znečištění Bílého potoka jsou vody přitékající z dočišťovacích rybníků od firmy ZŘUD Masokombinát, a.s., které se vlévají do Černého potoka v obci Sádek. Tento jev byl v době pochůzky (20. 9. 2016) patrný pouhým okem, kdy



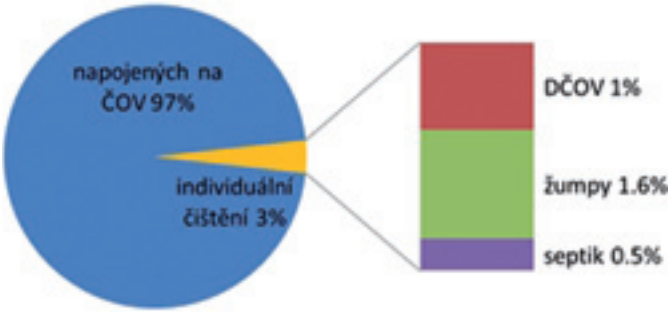
Obrázek 6. Způsob likvidace odpadních vod v povodí Bílého potoka

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

do čiré vody Černého potoka natékala šedo-bíle kalná voda z přítoku od rybníků. Vysoké zatížení rybníků je dáno také praxí ČOV masokombinátu vypouštět do těchto nádrží čistírenský kal produkovaný čistírnou. Na tuto nezákonnou činnost byl upozorněn správce povodí, který předal věc k řešení ČIŽP.

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

Obrázek 7. Způsob likvidace odpadních vod v povodí Kuřimky



3.3 Plošné zdroje znečištění

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

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

Byla vyčíslena plocha zemědělské půdy v příbřežních pásmech podél vodních toků a ploch (tab. 3) a to ve 4 kategoriích: ve vzdálenosti do 5, 25, 50 a 100 m od břehové čáry. Z uvedené tabulky vyplývá, že v povodí Kuřimky sahají bloky orné půdy častěji blízko k vodním útvarům. Z celkové výměry orné půdy v povodí Kuřimky (1600 ha) se 0,2 % vyskytuje ve vzdálenosti menší než 5 m od břehů a 3,4 % ve vzdálenosti do 25 m. V povodí Bílého potoka je jako orná půda využíváno pouze 0,03 % půdy v pásmu do 5 m a 0,6 % půdy ve vzdálenosti do 25 m.

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

3.4 Retence vody v krajině

Tabulka 4. Zařazení půd do kategorií infiltrační zranitelnosti

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

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

Současná retence je v povodí Bílého potoka ovlivněna pouze nádržemi v Poličce a do určité míry i soustavami nádrží v k. ú. Polička a Jedlová u Poličky. Ostatní nádrže nemají významný vliv a to buď z důvodu jejich malé velikosti, nebo z důvodu jiného účelu, než je retence (rybochovné nádrže s malým retenčním prostorem).

V povodí Kuřimky je pouze jedna nádrž s významnějším retenčním účinkem a to nad Kuřimí.

V povodí Bílého potoka je v územních plánech (ÚP) navržena celé řada retenčních opatření, některá jsou již ve výstavbě (např. v k. ú. Korouhev – obr. 9).

V povodí Kuřimky jsou v ÚP navrženy dva poldy v bezprostřední blízkosti města. Jejich parametry jsou orientačně dány generelem.

Obrázek 8. Následky erozní události v povodí Bílého potoka

Tabulka 3. Podíl zemědělské půdy v příbřežních pásmech vodních útvarů

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

TTP = trvalý travní porost

Obrázek 9. Retenční nádrž v k. ú. Korouhev

Návrh retenčních nádrží v pozemkových úpravách není, a to ani v již realizovaných.

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

3.4 Opatření ochrany půdy a vody

3.4.1 Pozemkové úpravy

Analýza stavu pozemkových úprav byla provedena pro katastrální území (k. ú.) vymezená povodími jednotlivých toků. V povodí Kuřimky se nachází 5 katastrálních území s ukončenou komplexními pozemkovou úpravou (KoPÚ) a 1 se zahájenou. V povodí Bílého potoka KoPÚ v podstatě neprobíhají.

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

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

3.4.2 Opatření na vodních nádržích

Vliv plovoucích ostrovů osazených rostlinami na jakost vody je zkoumán ve speciálních korytech (lyzimetrech) v laboratoři VUT v Brně. První výsledky (tab. 4) ukazují na výrazně lepší účinnosti zejména u znečištění N-NH_4^+. Přestože prostor pod plovoucím ostrovem by měl vykazovat anaerobní prostředí, doprovázené nižší účinností odstranění amoniakálního dusíku, naše výstupy ukazují na naopak silnou nitrifikační schopnost ve srovnání s vodou, která je vystavena volné vodní hladině (doprovázeno vlivem slunečního záření, přestupem kyslíku hladinou apod.). Testovací lyzimetr, který je vystavený stojící vodě, vykazuje již po sedmidenní expozici účinnost 86 %. Hodnotu je nutno brát jako specifickou pro dané počáteční a okrajové podmínky, zejména s ohledem na absenci průtočného prostředí.

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

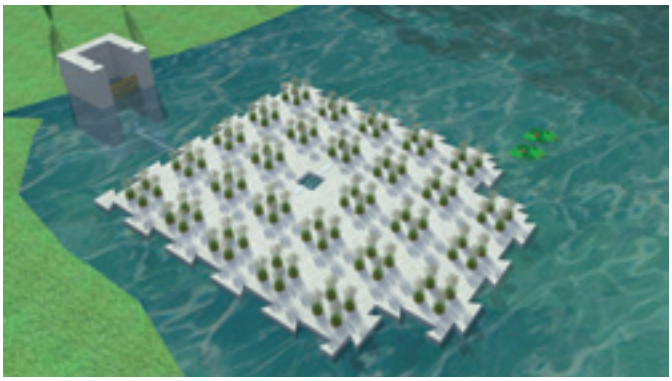
Vítaným výsledkem je vysoká účinnost v odstranění celkového fosforu (Pcelk). V případě lyzimetru s umístěným plovoucím os-

Tabulka 4. Účinnost odstranění znečištění u vybraných parametrů (%)

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

trovem se dosahuje po měsíční expozici až 50 % odstranění. Tento výsledek opět bude v reálném provozu ovlivněn řadou vnějších vlivů a vstupujících faktorů.

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



Obrázek 10. Vizualizace budoucího užitného vzoru

Závěr

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

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

Poděkování

Příspěvek byl vytvořen díky podpoře MZe ČR v rámci projektu NAZV QJ1620040.

Děkujeme Povodí Moravy s.p. za poskytnutí dat o jakosti vody z pravidelného monitoringu, údajů z limnigrafů a podkladové GIS vrstvy s lokalizací evidovaných výustí

Literatura

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

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

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

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

[5] BUCHANAN B. et al.) *Incorporating variable source area hydrology into a spatially distributed direct runoff model*. JAWRA, 2012, 48(1), p. 43–60.

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

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

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

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

[10] MAŤA M., METELKA T. *Informační podpora procesu plánování v oblasti vod a naplnění požadavků Rámcové směrnice.* Praha: MZe ČR, DHI Hydroinform a.s., 2005, 47 s. Dostupné na: http://eagri.cz/public/web/file/37094/IPPPOV_v_2_1_.pdf

[11] MIKE BASIN (2016) https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-hydro-basin (cit. 24. 11. 2016)

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

[13] Bílý potok (2015) http://www.pmo.cz/pop/2009/Dyje/end/inf_listy/prilohy/D030.pdf (cit. 23. 11. 2016)

[14] Brněnská nádrž (2015) http://www.pmo.cz/pop/2009/Dyje/end/inf_listy/prilohy/D045.pdf (cit. 23. 11. 2016)

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

RETENCE A JAKOST VODY

Tomáš Kvítek, Michal Krátký

Povodí Vltavy, státní podnik. Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5-Smíchov,
tel. +420 607 016 614, tomas.kvitek@pvl.cz
Povodí Vltavy, státní podnik. Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5-Smíchov,
tel. +420 602 157 783, michal.kratky@pvl.cz

Abstrakt

Cílem příspěvku je prezentovat vztahy mezi retencí a jakostí vody ze zemědělských plošných zdrojů znečištění.

Klíčová slova: *retence; jakost vody; plošné zemědělské zdroje znečištění.*

Abstract

The goal of this paper is to present relationship between water retention and water quality from non-point agricultural sources.

Keywords: *water retention; water quality; non-point agricultural sources of pollution.*

Úvod

Ochrana povrchových a podzemních vod je v České republice, mimo jiné, řešena opatřeními především a převážně jen v oblasti bodových zdrojů znečištění. Pokud se jedná o eliminaci plošných zdrojů znečištění, zejména ze zemědělsky obhospodařovaných pozemků, pomocí komplexních technických a přírodě blízkých opatření, vzájemně však propojených opatření, tak tato opatření jsou stále spíše na úrovni aplikovaného výzkumu, než jejich celoplošné realizace v praxi.

Hlavní plošné (difúzní) zdroje znečištění vod lze rozdělit následovně:

eroze (sedimenty) a na půdu navázané látky (minerální, těžké kovy, pesticidy) v povrchovém odtoku,

aplikace látek umělých, v přírodě se nevyskytující (pesticidy, mořidla), které jsou promývány skrz půdní profil a vyplavovány do podpovrchových a podzemních vod,

aplikace zemědělských živin (minerální a statková hnojiva), převažuje dusík, fosfor, vápník jsou vyplavovány do podpovrchových a podzemních vod,

přírodní anorganické látky, které jsou uvolňovány z horninového prostředí urychleným zvětráváním způsobeným atmosférickými depozicemi (bazické kationty, hliník, případně další prvky a ionty) do podzemních vod.

V obecné rovině lze konstatovat, že největšími zdroji plošného zemědělského znečištění je eroze (sedimenty a na ně navázané látky) a vody z drenážních systémů obsahující metabolity pesticidů, dusičnany, resp. potenciálně i další látky rozpustné ve vodě, které nevytvářejí pevnou vazbu s minerálními půdními částicemi a které jsou aplikovány na zemědělskou půdu.

Výsledky a diskuse

Výzkumem bylo zjištěno, že existuje přímá vazba mezi koncentrací látek ve vodě a množstvím odtékající vody jak z povrchového odtoku, tak i hypodermického odtoku. Tato vazba platí pro plošné zemědělské znečištění. Jak odnos půdy erozí, tak i odnos látek vyplavovaných z půdy a zachycovaných drenážními systémy je vázán tedy především na odtok vody. Retence vody na zemědělském půdním fondu (v půdě a v celé zemědělsko-lesní krajině) ovlivňuje i jakost mělkých podzemních vod, množství sedimentů ve vodních tocích, ve vodních nádržích, výšku hladiny podzemních vod. Spojovacím článkem všech těchto jevů je rychlý odtok vody ze zemědělské a lesní půdy.

Existují názory, že zemědělská půda má „genetické" předpoklady pro erozi půdy a rychlý odtok vody. Pokud bychom přijmuli tuto teorii, pak se vzdáváme velké části odpovědnosti za to, jak s půdou a též i s vodou hospodaříme na zemědělském půdním fondu. Problematika intenzivní eroze souvisí s retencí vody a rychlým odtokem vody ze zemědělského půdního fondu. Eroze půdy je v ČR řešena již více jak 50 let a výsledky jsou stále stejné. Opakující se smyvy půdy, bahno a voda je často vidět na náměstích, sedimenty pak ve vodních tocích, rybnících a ve vodních nádržích.

Pro výpočet eroze a návrh opatření se v současnosti užívá hodnota R faktoru=40 a výpočet je realizován modelem USLE. Model určuje průměrný dlouhodobý smyv půdy. Jedná se o plošný povrchový smyv z pozemku a o smyv, který neohrožuje mocnost půdy. Tento výpočet však ani v nejmenším nezohledňuje ochranu ostatních složek přírodního prostředí. A to, i když se použije vyšší hodnota R faktoru. Jedná se o teoretický výpočet, podle kterého by návrh opatření na zemědělském půdním fondu měl zadržet nadměrný odnos půdy (nad 4 t/ha). Ze 100 ha půdního bloku tedy může odnos činit 400 t. To jistě ovlivňuje mnoho přírodních procesů a dějů. Tento výpočet vychází z předpokladů, které nejsou v souladu s intenzitou a úhrny srážek, za kterých vzniká nejvíce „problematických" událostí, tedy za extrémních srážek. Janeček (2012) uvádí, že hodnota R faktoru byla stanovena pro 31 ombrometrických stanic ČHMÚ. Průměrný počet erozních srážek za různě dlouhá období (19–74 let) je zde vyjádřen hodnotou 2,4. To znamená, že na každé ombrometrické stanici se v průměru za 1 rok vyskytují 2 nebo 3 erozní srážky. Hodnoty R faktoru pro ČR, pro jednotlivé přívalové deště podle četnosti jejich výskytu jsou uvedeny dále: výskyt deště jednou za 2 roky má hodnotu R=42, jednou za 10 let R=69, jednou za 25 let R=82, jednou za 50 let R=117. Lze vyvodit, že hodnota R faktoru je tedy v současnosti každý druhý rok pravděpodobně překročena. Změna stavu, zvýšením hodnoty R faktoru, ve výpočtu, znamená snížení pravděpodobnosti výskytu erozních událostí, ale neznamená odstranění příčin všech dnešních problémů. Problematika výpočtu smyvu půdy modelem USLE (výpočet plošné eroze při zachování úrodnosti půdy) totiž ohrožuje ostatní složky přírodního prostředí a jednoznačně podporuje rychlý odtok vody ze zemědělského půdního fondu, přispívá ke vzniku povodní i sucha. Při výpočtech odtoku vody a odnosu půdy vodní erozí z dílčích povodí (např. model RUSLE) vychází, že již při

dvouleté a vyšší srážce je odtok vody a odnos zeminy ze současně obhospodařované zemědělské půdy tak extrémní, že je možno jej zadržet pouze technickými opatřeními, které by měly být především budovány na zemědělském půdním fondu. I kdyby však byla celá Česká republika zatravněna, zalesněna (taková je často představa mnoha ekologických odborníků), nebo takto exploatovány dílčí subpovodí, tak by byl koeficient odtoku (poměr objemu vody která odteče, oproti objemu vody, který spadl ve srážkách) ze subpovodí na hodnotách od 0,10 do 0,20. Např. při srážce s pravděpodobností výskytu N=100 (pro stanici Pelhřimov=99,8 mm) by pak byl celkový odtok vody z 1 ha 100–200 m^3! Malé subpovodí má plochu ca 50–100 ha. Z nich pak tedy nekontrolovatelně odtéká voda o objemu 5 000 m^3 – 20 000 m^3 (objem vody pro jedno velké koupaliště). A současně se jedná o vodu, která pak v subpovodích často chybí a nese sebou rozpuštěné a nerozpuštěné látky. A to jsou tyto stručné výpočty provedeny pouze pro zatravněnou plochu povodí, ne pro ornou půdu, kde koeficient odtoku při srážkoodtokových událostech může nabývat hodnot 0,25–0,55. Proto záměr, který je směrován pouze na zlepšení hospodaření na zemědělském půdním fondu (změna osevních postupů) není dostatečně efektivní ve vztahu k retenci a jakosti vody. Důvodem vyjádření tohoto závěru je to, že ve většině případů za extrémnějších srážek je překročena buď intenzita infiltrace nebo infiltrační kapacita půdy a nastává vždy povrchový a i podpovrchový odtok. Zemědělské hospodaření na půdním fondu je pouze částí celého problému retence a akumulace vody v krajině. Samozřejmě, že podporujeme všechna opatření ke zvýšení půdní úrodnosti, ke zvýšení obsahu organické hmoty v půdě, ale jen touto cestou současné problémy nevyřešíme. K zadržení vody však v krajině chybí zejména vodohospodářská technická opatření (např. záchytné průlehy, záchytné příkopy a další) na zemědělském půdním fondu, ty nejsou ve velkém rozsahu budovány.

S ohledem na veřejné zájmy při zajišťování správy krajiny, je třeba začít uplatňovat následující teoretickou zásadu: „Ze zemědělského subpovodí by měla odtékat, i za extrémních hydrologických podmínek, voda v dobré kvalitě a v neškodném množství". Kvítek (2015) dále definuje principy a zásady propojené ochrany, tedy množství a jakosti vody, tedy retence a akumulace vody na zemědělském půdním fondu následovně:

Je třeba zachytit vodu ještě na zemědělských pozemcích, nejlépe v jejich horních nebo středních částech subpovodí, například pomocí záchytných liniových technických prvků (např. záchytné příkopy, záchytné průlehy) s pásy trvalých travních porostů. Zde dojde k sedimentaci nerozpuštěných látek a infiltraci vody. Tato technická opatření musí mít minimálně pasivní systém regulace odtoku vody, aby voda nebyla po zachycení rychle odváděna do vodních toků, rybníků a vodních nádrží.

Navazujícím opatřením musí být účinný převod zachycené vody přes travní porosty a mokřady, kde dojde k redukci všech rozpuštěných látek. Zde by měly být vyúsťovány i drenážní systémy.

Následně je možné akumulovat vodu k jejímu dalšímu využití. S tím souvisí i problematika vodních nádrží, rybníků, zasakování vody do hydrogeologické struktury, různé formy závlah, včetně podzemní závlahy podmokem, popř. jiné její využití přečerpáváním do horních částí subpovodí, kde též může voda infiltrovat za vhodných podmínek do hydrogeologické struktury.

Všechny tyto principy a zásady retence a akumulace vody v subpovodí jsme promítli v roce 2014 do propozic vyhlašované veřejné soutěže-zakázky, kterou zadalo Povodí Vltavy, státní podnik ke zpracování s názvem „Příprava listů opatření typu A lokalit plošného zemědělského znečištění pro plány dílčích povodí". Tato veřejná zakázka je řešena od listopadu 2015 do června 2019.

Předmětem zmíněné veřejné zakázky je provedení komplexní lokalizace a kategorizace lokalit plošného zemědělského znečištění ohrožujících jakost vod ze soustředěného povrchového odtoku a z podpovrchových zdrojů znečištění (drenážní vody) v dílčím povodí Horní Vltavy, Berounky, Dolní Vltavy, ostatních přítoků Dunaje a subpovodí Želivky, a to v rozsahu vytvoření metodického návodu pro identifikaci kritických bodů difúzního znečištění (KB_{Diff}) a kategorizaci lokalit – půdních bloků obou uvedených zdrojů znečištění (včetně vytvoření mapy kritických bodů a lokalit), vytvoření vzorového katalogu opatření pro snížení plošných zemědělských zdrojů znečištění pro listy opatření typu A, identifikace vhodných lokalit pro návrhy opatření k omezení plošného zemědělského znečištění, ekonomické zhodnocení navržených opatření a výběr optimálního řešení pro jednotlivé kategorie kritických lokalit, tvorba listů opatření typu A pro vybrané lokality způsobující plošné zemědělské znečištění. Počet vytvořených listů opatření typu A (konkrétní soustava opatření na konkrétním půdním bloku) bude cca 3000 ks.

Na základě zadávací dokumentace a uzavřené smlouvy mezi zadavatelem a zpracovatelem je požadováno, aby výsledná opatření typu A v tomto projektu, který je teprve podkladem pro vlastní zpracování programů opatření podle ustanovení § 26 vodního zákona plánů dílčích povodí Horní Vltavy, Berounky, Dolní Vltavy, ostatních přítoků Dunaje a subpovodí Želivky v 3. etapě samozřejmě splňovala parametry jakosti vod z hlediska hodnocení stavu vodních útvarů, ale současně řešila komplexně plošné zemědělské znečištění i z hlediska odnosu zeminy, retence a akumulace vody i množství sedimentů ve vodních tocích a vodních nádržích, což v předchozích dvou etapách plánů povodí nebylo zcela evidentně řešeno.

Tato podmínka je podepřena i ustanovením § 23 vodního zákona, kdy je definováno, že plánování v oblasti vod je soustavná koncepční činnost. Jeho účelem je vymezit a vzájemně harmonizovat veřejné zájmy, z nichž je zřejmě nejdůležitější snížení nepříznivých účinků povodní a sucha a udržitelného užívání vodních zdrojů, zejména pro účely zásobování pitnou vodou. Dále podle ustanovení § 27 vodního zákona jsou vlastníci pozemků povinni zajistit péči o ně tak, aby nedocházelo ke zhoršování vodních poměrů. Zejména jsou povinni za těchto podmínek zajistit, aby nedocházelo ke zhoršování odtokových poměrů, zvyšování odnosu půdy vlivem erozní činnosti vody (také dle §3 odst. 1b zákona č. 334/1992 Sb.) a dbát o zlepšování retenční schopnosti krajiny.

V současné době, s využitím platné zemědělské dotační politiky, je velmi obtížné nebo spíš nereálné dosáhnout realizace konkrétních, technických a přírodě blízkých opatření, vzájemně propojených a provázaných, vedoucích ke zlepšení jakosti vod a současně ke zvyšování retence a akumulace vody na zemědělském půdním fondu. Zemědělské subjekty přistupují k realizaci opatření v ploše povodí (např. při komplexních pozemkových úpravách), včetně snižování výměry zemědělské půdy, respektive orné půdy, bez příslibu reálné kompenzace ušlého zisku, velmi rezervovaně.

Pro úspěšnou realizaci a udržitelnost funkčnosti opatření typu A v zemědělské krajině je potřeba současně nastavit, pro další období po roce 2020, i dotační politiku tak, aby byla zajištěna možná realizace i následná údržba jednotlivých opatření.

Nejúžasnější motivací na tomto světě jsou peníze, pokud pomineme zaujetí pro věc. Je důležité, aby finanční zdroje k tvorbě přírodě blízkých a k výstavbě technických opatření a jejich údržbě, směřovaly přímo k investorovi, a tím by měl být zemědělec. Je třeba nastavit stav hospodaření s vodou v krajině tak, aby se zemědělec staral o vodohospodářská opatření. Zemědělec doposud spoléhá, že za něj vše vyřeší pozemkové úpravy. Ale tam chybí státní pozemky, peníze, a kdo se bude starat o údržbu vodohospodářských opatření – obce na zemědělském půdním fondu? Tak jako se stará každá obec, město o své cesty, parky, pozemky, osvětlení, sběr odpadu, tak i zemědělec (resp. jím založené organizace) by neměl pouze zajišťovat zemědělskou produkci, ale měl by mít starost i o všechny mimoprodukční funkce zemědělství, tedy i o aktivity související s retencí a akumulaci vody v krajině. Za to by měl dostat zaplaceno.

Je třeba otočit „kola dějin". Ten současný způsob hospodaření s vodou na zemědělském půdním fondu je dále neudržitelný!

Závěr

Při koncepčním řešení retence a jakosti vody, tak jak to požadujeme ve zmíněné zakázce, lze současně částečně řešit všechny následující negativní jevy: kulminační průtoky i celkové množství odteklé vody ze zemědělského půdního fondu, odnos zeminy z eroze půdy, množství sedimentů ukládaných ve vodních tocích, rybnících a vodních nádržích, nevyhovující jakost povrchové a drenážní vody, sucho všech kategorií a s tím související i problematiku nízké infiltrace, retence a akumulace vod. Spojovací článkem všech těchto negativních jevů je rychlý odtok vody ze zemědělského půdního fondu. Za komplexního přístupu k dané problematice, pak jistě dojdeme k poznání, že ekonomické aspekty dovolují řešit ochranu půdy, retenci a akumulaci vody na zemědělském půdním fondu na stoleté srážky. V současné době jsou však jednotlivé dotační tituly (sucho, povodně, jakost vody) vyhlašovány odděleně a zvlášť, neřeší se tedy komplex problémů a ekonomické aspekty tedy převažují nad odbornou problematikou. U řady těchto ad hoc opatření tak může docházet k neúčelně vynakládaným, dotačním i jiným, finančním prostředků státu.

Literatura

[1] JANEČEK, M., DOSTÁL, T., DUMBROVSKÝ, M., HŮLA, J., KADLEC, V., KONEČNÁ, J., KOVÁŘ, P., KUBÁTOVÁ, E., KOBZOVÁ, D., KUDRNÁČOVÁ, M., NOVOTNÝ, I., PODHRÁZSKÁ, J., PRAŽAN, J., PROCHÁZKOVÁ, E., STŘEDOVÁ, H., TOMAN, F., VOPRAVIL, J., VLASÁK, J., 2012. *Ochrana zemědělské půdy před erozí.* Metodika. Praha: Powerprint, s.r.o., 113 s. ISBN 978-80-87415-42-9.

[2] KVÍTEK, T., 2015. Povodně, sucho, eroze, jakost povrchové a podzemní vody, hladiny podzemních vod a společný ukazatel – malá retence vody v krajině. Pozemkové úpravy, 12, s. 4–10.

[3] Zákon č. 254/2001 ze dne 28. června 2001, o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: Sbírka zákonů České republiky. 2001. částka 98. s. 5617–5668.

VODNÁ STAVBA VEĽKÁ DOMAŠA – 50 ROKOV PREVÁDZKY

Dušan Mydla

SVP š. p. Odštepný závod Košice, Ďumbierska 14, 041 59 Košice, dusan.mydla@svp.sk

Abstrakt

V roku 2017 uplynie 50 rokov od uvedenia vodnej stavby Veľká Domaša do trvalej prevádzky. Aký bol dopad výskytu hydrologických extrémov v povodí rieky Ondava v doterajšom období na prevádzku nádrže? Aké opatrenia musel vykonať správca vodnej stavby vo vzťahu k požiadavkám odbornej a laickej verejnosti ako reakciu na takto vyvolanú zmenu hydrologického režimu nádrže? Je možné uspokojovať základné potreby spoločnosti kladené na vodné hospodárstvo? Príspevok sa venuje doterajším vodohospodárskym skúsenostiam z prevádzky vodnej nádrže so zameraním na vplyv zmeny celospoločenskej objednávky na vodu a plnenie základných funkcií nádrže.

Úvod

V roku1967 bola uvedená do prevádzky v povodí rieky Ondava v jej riečnom kilometri 71,565 viacúčelová vodná nádrž Veľká Domaša.

Základné hydrotechnické účely vodnej stavby boli nasledovné:

- Akumulácia vody pri vyšších prietokoch pre potreby priemyslu
- Energetické využitie
- Sploštenie povodňovej vlny
- Akumulácia vody pre závlahy
- Chov rýb
- Rekreácia

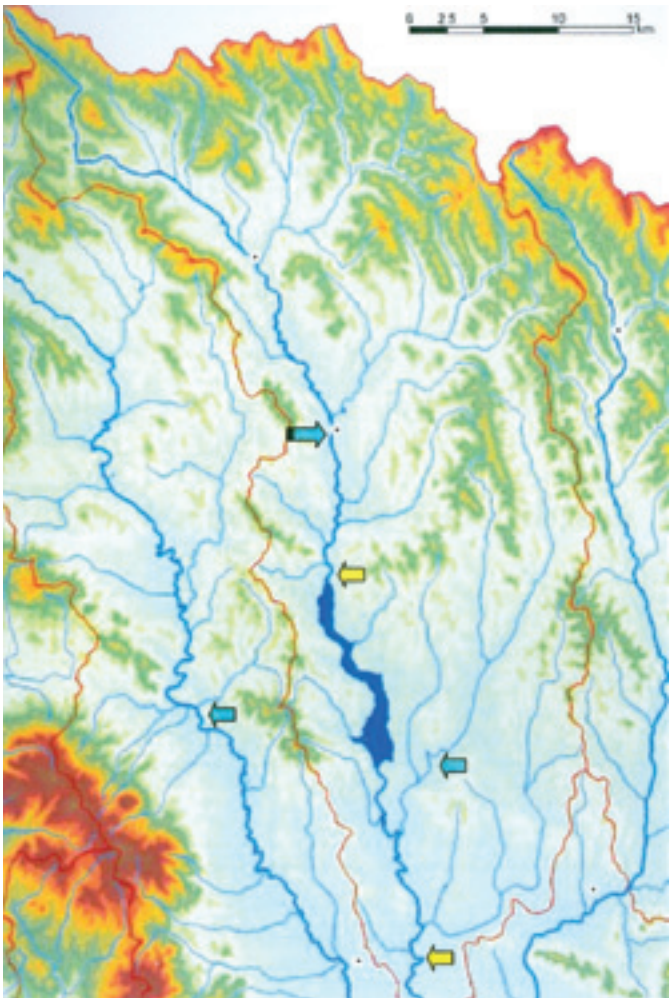
Nádrž mala celkovú projektovanú kapacitu (vrátane retenčného priestoru) 178,238 mil. m³, z čoho 20,756 mil. m³ predstavoval retenčný priestor nad kótou 162,00 m Bpv a 17,305 mil. m³ tvoril stály neovládateľný priestor pod kótou 146,20 m n. m. Bpv. Zásobný priestor nádrže predstavoval objem 140,222 mil. m³.

Pôvodne pre zabezpečenie týchto požiadaviek bol navrhnutý min. nadlepšovaný prietok pod VS v množstve Q_z = 5,9 m³ /s pri predpokladanom dlhodobom priemernom riečnom prítoku na úrovni Q_a= 7,500 m³/s. Avšak počas doterajšej prevádzky bolo zaznamenaných niekoľko období s požiadavkou na riešenie hydrologických zmien v nádrži, ktoré boli nie vždy zdôvodňované na základe analýz odborne spracovaných podkladov. Po dosiahnutí minimálnej úrovne hladiny v r. 2003–2004 a zmene požiadaviek na vodu u jednotlivých odberateľov, bola úroveň min. zabezpečeného prietoku Q_z stanovená na 4,9 m³/s. Zmena bola podmienená predovšetkým výpadkom požiadaviek na závlahovú vodu.

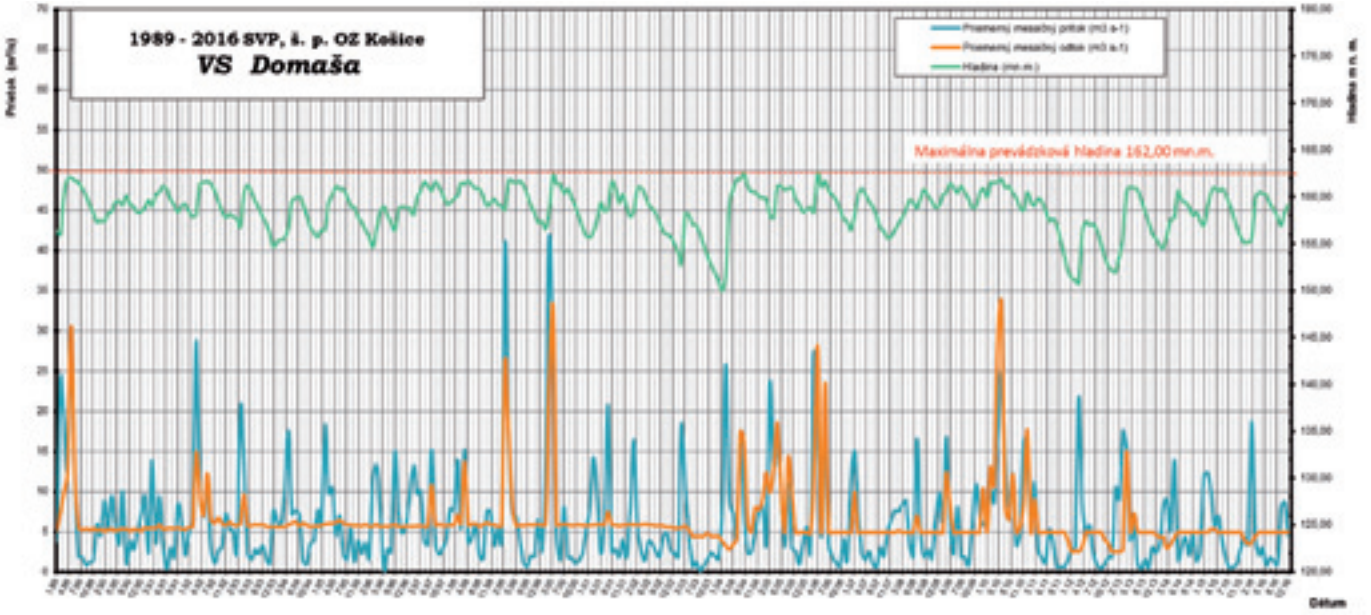
Z hľadiska charakteristiky odtokových pomerov v povodí Ondavy možno konštatovať, že Ondava nad nádržou Veľká Domaša je typickým tokom vonkajšieho flyšového pásma, pre ktoré je príznačná predovšetkým extrémna entropia odtokového režimu s prudkými zmenami a veľkým rozsahom kolísania prietokov, to znamená, že na Ondave sa len zriedka vyskytujú obdobia ustálených prietokov – buď je sucho, alebo veľké vody. Po dažďoch prítoky prudko stúpajú nad 5násobok normálových hodnôt a po ich prechode za niekoľko dní klesajú pod 33 % normálu, čo je dané nízkou prirodzenou retenčnou kapacitou flyšového územia. K tomu výrazne prispieva aj vejárovitá morfológia riečnej siete povodia , podmieňujúca vysokú koncentráciu odtoku.

Hydrologické extrémy v prevádzke nádrže

Historické vodné stavy boli dosiahnuté na vodnej stavbe Veľká Domaša, kedy dňa 5. 6. 2010 bola dosiahnutá max. hladina na úrovni 163,11 m n. m. Maximálny prítok bol zaznamenaný dňa 4. 6. 2010 na úrovni 290,00 m³/s v profile Stropkov a výška kulminačného odtoku predstavovala hodnotu 214,90 m³/s. Celkový objem povodňovej vlny z obdobia od 17. 5. 2010 do 20. 5. 2010 predstavoval hodnotu 26,283 mil. m³ pričom z tohto objemu sa podarilo stransformovať 9,997 mil. m³ vody. Počas druhej vlny, ktorá zasiahla nádrž Veľká Domaša v období od 1. 6. 2010 do 6. 6. 2010 bolo v nádrži transformovaný objem 8,925 mil. m³ z celkového objemu povodňovej vlny 39,078 mil. m³. Pri rozhodovaní o manipulácii počas druhej vlny bolo rozhodujúce poškodenie ochranných hrádzí Ondavy pod Horovcami. V prípade povodia Ondavy ako najviac problémové je možné hodnotiť meranie a prognózu vývoja prietokov na jednotlivých vodomerných staniciach na hlavných prítokoch do nádrže v profile Ondava Stropkov resp. Ondava – Miňovce . Zároveň z doterajších skúseností z prevádzky sa preukázal nedostatok vo výpadku existencie merania na toku Oľšavka tvoriaceho pravostranný



Obrázok 1. Morfologická schéma povodia Ondavy po Hencovce



Obrázok 2. Priebeh hladiny na VS V. Domaša v období rokov 1989–2016

prítok Ondavy v r. km 93,000 a priamych prítokov do nádrže – Kručovský potok, potok Lomnianka, Valkovský potok a potok Hrabovčík. Celkový výpadok v meraní hydrologických hodnôt, pri rešpektovaní merného profilu Ondava – Sropkov , predstavuje povodie o výmere 139,02 km², čo je 16,81 % celkového povodia.

Historické minimum bolo dosiahnuté dňa 4. 2. 2004 pri úrovni hladiny 149,97 m n. m.

Analýza prítokov do nádrže a vývoj hladinového režimu

Extrémne kolísanie prietokov však nie je len krátkodobé , resp. sezónne, ale aj dlhodobé. To je tiež hlavný dôvod existencie nádrže Veľká Domaša, ktorá bola vybudovaná práve preto, aby technologicky suplovala nízku prirodzenú regulačnú schopnosť povodia a umožnila tak aj viacročné prerozdeľovanie vodných zásob na ich lepšie hospodárske a komunálne využitie. Uvedená extrémnosť prietokov sa však zákonite prenáša aj do objemového , resp. hladinového režimu nádrže.

Na základe výsledkov analýzy spracovanej VUVH Bratislava, hlavný riešiteľ hydrologickej časti Ing. Jozef Benický, boli konštatované nasledovné zistenia:

- Odtokový režim Ondavy nad priehradou (ale aj pod ňou a na jej prítokoch) má výrazne extremálny charakter s častým striedaním období záplav a málovodných období, pričom nástup záplav býva veľmi prudký a pokles prietokov rýchly (niekoľko dní od kulminácie po pokles pod 50 % normálu), s extrémnym rozpätím medzi maximom a minimom.
- Počas letných a jesenných období bol zistený systematický deficit (takmer každý rok) prietokov Ondavy v Stropkove oproti ostatným tokom v regióne (Topľa, Oľka) relatívne o cca 0,25 m3.s-1. To je pravdepodobne podmienené zvýšením územného výparu následkom zvýšenia priemerných letných teplôt vzduchu o 2 °C od roku 1982 a zrejme aj zvýšenými rozptýlenými odbermi v rámci tzv. všeobecného užívania vôd (neregistrovanými, ale v súlade so zákonom). Hrozí vyčerpanie aluviálnych zásob podzemných vôd a strata prirodzenej regulačnej schopnosti toku – ak už k nej nedošlo.
- Priemerné prítoky do nádrže klesli od roku 1982 približne o 10 % oproti priemeru obdobia 1961–2000, resp. dlhodobému priemeru od roku 1931. Dlhodobý priemer je 7,50 m3.s-1, priemer obdobia 1961–2007 je 7,28 m3.s-1 a od roku 1982 je tento prítok približne na úrovni 6,40 m3.s-1.

Zároveň na základe priebežného vyhodnocovania hydrologického režimu zo strany prevádzkovateľa nádrže bolo zistené, že v letných mesiacoch sa odper z hladiny hlavne v období poslednej dekády pohyboval až na úrovni 1,9–2,2 $m^3.s^{-1}$, čo výraznou mierou prekračuje doteraz vypočítané hodnoty.

Z týchto poznatkov vyplýva, že nádrž nie je schopná dlhodobo zabezpečovať nadlepšený prietok 5,85 $m^3.s^{-1}$, stanovený v projekte a v MP do roku 2003. Nadlepšenie je potrebné znížiť maximálne na hodnotu 5,20 $m^3.s^{-1}$, optimálne na 4,90 až 5,00 $m^3.s^{-1}$. Zároveň zo strany obcí zabezpečujúcich rekreáciu v okolí vodnej nádrže, bola požiadavka udržania tzv. „rekreačnej hladiny" v letnom období nad kótou 159,50 m Bpv.

Na základe týchto zistení a požiadaviek, boli schválené dodatky č. 2 a 3 v tom období platného manipulačného poriadku, podľa ktorých sa počas zimných mesiacov rokov 2012 a 2013 pristúpilo k tzv. kompenzačnému vypúšťaniu na min. úroveň 2,5 $m^3.s^{-1}$. Rozhodujúcim faktorom bolo zachovanie kvality povrchovej vody v zmysle nariadenia vlády Slovenskej republiky č. 296/2005 Z. z. v rieke Ondava v profiloch Kučín a Poša. Kvalita vody v toku počas tejto manipulácie bola priebežne pravidelne kontrolovaná a vyhodnocovaná.

Prehodnotenie kapacity bezpečnostného priepadu

Zmena v hydrologickom režime a prevádzkové skúsenosti, hlavne v spojení s prechodom historických povodní v roku 2010, primäli správcu vodnej stavby k zabezpečeniu spracovania fyzikálneho modelu bezpečnostného priepadu. Riešiteľom úlohy bol Výskumný ústav vodného hospodárstva Bratislava.

Výsledok modelovaného výskumu preukázal, že podľa súčasného reálneho stavu vyhotovenia vyplýva, že stanovený prietok Q_{100TR} = 327 $m^3.s^{-1}$ sa prevedie pri hladine 163,41 m n. m. a extrémny transformovaný povodňový prietok Q_{1000TR} = 474 $m^3.s^{-1}$ sa prevedie pri hladine 163,97 m n. m. Prietok Q = 521 $m^3.s^{-1}$ sa len bezpečnostným priepadom prevedie pri hladine 164,30 m n. m.

Pôvodne boli projektované nasledovné transformačné účinky:

Prietok Q_{100} = 615 $m^3.s^{-1}$ bude transformovaný na $Q_{100TRANSF.}$ = 327 $m^3.s^{-1}$/kóta hladiny 163,33 m n. m./. Prietok Q_{1000} = 930 $m^3.s^{-1}$ bude

transformovaný na $Q_{1000TRANSF}$ = 474 m³.s⁻¹ /kóta hladiny 163,77 m n. m./.

Odchýlky reálnej kapacity od projektovaných parametrov znázorňuje Obr. 1.

Hore uvedené skutočnosti viedli správcu vodnej nádrže, v snahe o dosiahnutie optimalizácie hydrologického režimu nádrže a posilneniu jej funkcií, k prijatiu adaptabilných zmien v rámci platného manipulačného poriadku vodnej stavby.

Nutné úpravy sa odzrkadlili v nasledovných úpravách manipulácie uvádzaných v kapitole C predmetného dokumentu, ktorý v súčasnosti reaguje flexibilne na vývoj hydrologickej situácie v časovom rade. Takže v súčasnosti platia nasledovné podmienky pre manipuláciu:

V čase od 1.apríla do 31.októbra:

Úroveň zaručeného odtoku Q = 4,9 m³.s⁻¹ je udržiavaná po dosiahnutie hladiny 161,00 m n. m.

Po jej prekročení t.j. od úrovne 161,00 m n. m. a pri stúpajúcom trende prítokov, bude zvýšená hodnota zostatkového prietoku na priemernú úroveň Q = 5,6 m³.s⁻¹ až do úrovne hladiny 161,50 m n. m. Po jej prekročení t.j. od úrovne hladiny 161,50 m n. m. a pri stúpajúcom trende prítokov, bude odtok z nádrže prispôsobovaný aktuálnemu prítoku do nádrže a to zmenou dĺžky prevádzky VE po dohode s jej prevádzkovateľom. Aby hladina v nádrži neprekročila maximálnu prevádzkovú hladinu 162,00 m n. m., musí sa pri dosiahnutí hladiny 161,70 m n. m. predĺžiť doba a spôsob prevádzkovania VE primeraným zapájaním do výroby jednotlivých turbín až do dosiahnutia nepretržitej prevádzky.

V čase od 1.novembra do 31.marca:

V prípade ak úroveň hladiny nedosahuje kótu 158,00 m n. m., bude úroveň zaručeného odtoku upravená na Q = 3,5 m³.s⁻¹ až do doby dosiahnutia úrovne hladiny 160,50 m n. m.

Obdobne bude úroveň zaručeného odtoku upravená v nasledujúci deň po dni, kedy nastane pokles úrovne hladiny pod kótu 158,00 m n. m. počas uvedeného zimného obdobia.

Za účelom zvýšenia retenčného účinku nádrže správca nádrže môže, v prípade očakávaných nadmerných hydrologických prebytkov (nadmerné snehové zásoby, dlhodobá prognóza extrémnych zrážok a pod.) udržiavať hladinu v nádrži medzi kótami 158,00 m n. m. až 160,00 m n. m. Počas takýchto situácií správca nádrže bude prihliadať na plnenie všetkých funkcií nádrže ako sú nakladanie s vodami, využívanie hydroenergetického potenciálu, rekreačné využitie nádrže a zachovanie potrieb rozvoja ichtyofauny. Uvedené zníženie úrovne hladiny je možné aj v čase plánovanej dlhodobej odstávky prevádzky VE a aktuálnou situáciou pod nádržou.

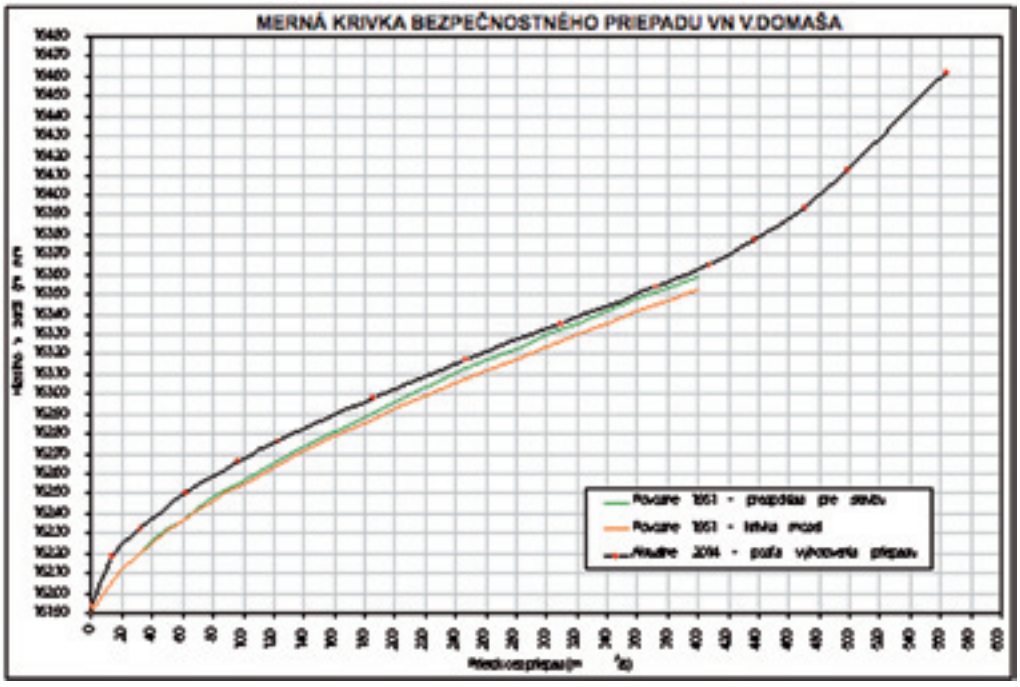
Je ale nutné poukázať na skutočnosť, že určitá miera nepresností hydrologických podkladov pre rieku Ondava spôsobená pomerne krátkym radom pozorovaní pred projekčnou prípravou VS viedla už pri spracovaní prvého manipulačného poriadku k zapracovaniu určitej variability. No technické podmienky hlavných hydrotechnických zariadení žiaľ ich dodržiavanie vo výraznej miere komplikovali.

Podiel na dosiahnutí maximálnych úrovní hladín dozaista má aj proces zanášania objemu nádrže splaveninami. Podľa posledného zamerania z roku 2009 sa v rozsahu hladín 146,20 m n. m. až 162,00 m n. m. nachádza v priestore stáleho nadržania 13,489 mil. m³ nánosov, čo predstavuje stratu 8,1% celkového objemu. Ak zoberieme do úvahy skutočnosť, že priemerný medziročný nárast predstavuje objem cca 260 tis. m³, potom k dnešnému dňu je možné očakávať, že v nádrži sa nachádza až 15,3 mil. m³ nánosov.

Tento úbytok disponibilného objemu je potrebné zohľadňovať pri rozhodovaní o manipuláciách počas povodňových vodných stavov.

Záver

Každá vodná stavba, ktorej účelom je akumulácia povrchového odtoku pre časy horšie a to bez ohľadu na prioritu účelovosti, musí zohľadňovať tak terajšiu spoločenskú požiadavku na vodu , ale predovšetkým musí byť v súlade s dlhodobým celospoločenským záujmom v danej geografickej oblasti. Výstavba tak výrazného architektonického diela, so všetkými jeho tak primárnymi ako aj následnými sociologickými, ekologickými, ekonomickými



Obrázok 3. Merná krivka bezpečnostného priepadu VS Veľká Domaša

a morfologickými sekundárnymi dôsledkami, akou je výstavba vodnej nádrže, musí reflektovať na základnú otázku! A tou je: „chceme alebo nechceme ovplyvňovať prirodzený hydrologický režim vodných tokov“?

Ak poklesne celospoločenská požiadavky na vodu potom, a to som presvedčený, sa zmení aj pohľad na hospodárenie s vodou, no v tejto súvislosti mi nedá poukázať na zjavnú antagonistiku jednotlivých požiadaviek. Na jednej strane sa tvárime, že jediné čo nám a naším vodným tokom v súčasnosti prospeje, je zdržanie vody v krajine, no zároveň sa v žiadnom prípade nemienime prispôsobovať prirodzenému hydrologickému režimu. Za vodu si platíme, nuž ju chceme mať k dispozícii v každom čase a bez kvantitatívneho obmedzenia. Zvyšovanie výskytu hydrologických extrémov v podmienkach geomorfologickej stavby územia Slovenska, a teda aj povodia hornej Ondavy, sa do určitej miery prejavuje na hospodárení s vodou na nádrži Veľká Domaša, bez ktorej vzhľadom na jej vek si je len ťažko predstaviť neovplyvnený hydrologický režim dolnej Ondavy a následne aj rieky Bodrog.

Literatúra

[1] HUCKO, P., BENICKÝ, J., HORNÁČKOVÁ PATSCHOVÁ, A., CHALUPKOVA, K., LUTHER, S., 2010. Dopadová štúdia na zmenu manipulačného poriadku vodnej stavby Veľká Domaša: VÚVH Bratislava.

[2] ČUBAN, R., HOLUBOVÁ, K., CAPEKOVÁ, Z., MRAVCOVÁ, K., 2009. Aktualizácia čiary objemov vodnej nádrže Veľká Domaša : VÚVH Bratislava.

[3] MYDLA, D., IVANČO, R., 2012. Povodne 2010 na vodných nádržiach v správe SVP š.p. OZ Košice : príspevok PD 2012.

[4] KOLESÁROVÁ, E., MYDLA, D., ROŽŇOVJAKOVÁ, J., 2012. Riešenie vplyvu hydrologického sucha na prevádzku VS Veľká Domaša: príspevok Okresné dni vody Michalovce.

NOVÉ POJETÍ EKONOMICKÉHO NÁVRHU NÁDRŽE V PODMÍNKÁCH ZMĚN KLIMATICKÉHO SYSTÉMU S POUŽITÍM VÍCEKRITERIÁLNÍ OPTIMALIZACE

Stanislav Paseka, Daniel Marton

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny, Žižkova 17, 602 00 Brno, tel. +420 541 147 774, paseka.s@fce.vutbr.cz

Abstrakt

Náplní tohoto příspěvku je představit nové pojetí ekonomického návrhu nádrže v podmínkách nejistot. Nejistoty v tomto případě budou definovány jako možné budoucí změny klimatického systému. Kombinací vhodného optimalizačního algoritmu a sestavením nového postupu řešení je odhadnut optimální ekonomický návrh vodohospodářského řešení zásobní funkce nádrže. Cílem zvolené evoluční multikriteriální optimalizace je efektivní návrh výšky hráze vodní nádrže tak, aby byly její náklady na výstavbu co nejnižší, ale zároveň, aby byla co nejvíce odolná vůči vzniku poruch v důsledku poklesu hladiny vody v zásobním prostoru nádrže. Výsledky budou prezentovány na výhledovém profilu vodního díla Hanušovice v podobě optimálních řešení možných nákladů na výstavbu hráze v závislosti na potenciálních metrikách odolností za použití výsledků z 15 regionálních klimatických modelů.

Klíčová slova: *vícekriteriální optimalizace; efektivní návrh výšky nádrže Hanušovice; odolnost; klimatická změna, zásobní objem nádrže.*

Abstract

The content of this paper is to introduce a new concept of economic design of reservoir under conditions of uncertainties. Uncertainties in this case will be defined by possible future changes in the climate system. Combination of a suitable optimization algorithm and developed method the optimal economic design of the water management solution of the reservoir storage capacity is estimate. The aim of the chosen evolutionary multi-criteria optimization is the effectively design of the dam height so that its construction costs should be as low as possible but at the same time the dam would be as resilience as possible regarding create a deficit in due decrease water level in the reservoir storage capacity. The results will be presented on the intended profile of Hanusovice dam in the form of optimal solutions of the possible dam construction costs depending on potential resilience metrics using 15 regional climatic models results.

Keywords: *multi-criteria optimization; effectively design of the height of the Hanusovice dam; resilience; climate scenarios; reservoir storage capacity.*

Úvod

Riziko v podobě sucha už nehrozí jen v globální podobě, ale začíná se postupně projevovat i v lokálních podobách. Česká republika dopady klimatických změn v oblasti vodního hospodářství razantně pociťuje již dnes. V oblasti hydrologie nastává hlavně pokles vydatnosti povrchových a podzemních vod v důsledku změn vydatností a přerozdělení srážkových úhrnů během roku. Poslední roky pozorujeme po sérii povodní především zvýšený výskyt suchých období. Stává se již pravidlem, že na konci každého roku meteorologové vyhlašují daný rok za nejteplejší rok v historii měření a výjimkou nebyl ani rok 2016. Z hlediska této nepříznivé tendence je nezbytné krajinu připravit tak, aby se dokázala vyrovnat s nedostatkem vody.

Naše vláda v reakci na aktuální problémy sucha a na danou změnu klimatu zareagovala v roce 2015 schválením dokumentu Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR, který byl zpracován Ministerstvem životního prostředí [9]. Tento dokument představuje národní adaptační strategii ČR, která zhodnocuje pravděpodobné dopady změny klimatu včetně návrhů konkrétních adaptačních opatření. Strategie počítá s šetřením pitné vody, se zadržováním vody v krajině, s opatřením pro zajištění stability vodního režimu v krajině, s obnovou malých vodních nádrží a zvyšováním jejich spolehlivosti, s posouzením stávajících lokalit v Generelu území chráněných pro akumulaci povrchových vod a vytipováním dalších ploch vhodných pro vybudování vodních nádrží.

Z výše zmíněného dokumentu a z aktuálních i predikovaných hrozeb v podobě povodní a sucha je zřejmé, že se v brzké budoucnosti bez výstavby nových nádrží neobejdeme a to ani v případě, že se výsledky klimatických modelů nenaplní v plné míře. V budoucnu bude také třeba učinit změnu v provozování vodních nádrží. Důležité budou právě výzkumy vedoucí k modernějšímu návrhu a provozu vodních nádrží, stanovení velikosti objemů a jejich následné manipulace s nimi. Jinými slovy, v důsledku klimatické změny, poklesu vydatnosti vodních zdrojů, změny socio-ekonomického vývoje a s ním spojené potřeby vody můžou vznikat poruchy, které mohou způsobit náhlé výpadky v provozování vodohospodářské nádrže nebo celého vodohospodářského systému.

Přesnost vodohospodářských výpočtů, ale i přesnost následného provozu nádrží v dlouho trvajících suchých obdobích ovlivňuje vodohospodářské řešení nádrže v podmínkách neurčitosti, resp. nejistot. V současné praxi stále přetrvává výpočet zásobního objemu nádrže, který vychází převážně z deterministického řešení bez uvažování nejistot. Zohlednění těchto nejistot může výsledky ovlivnit, protože deterministickým řešením dochází ke značné ztrátě přesnosti na úkor jednoduchosti řešení. Možným trendem je zavádět stochastické řešení, resp. pravděpodobnostní řešení, ale také řešení respektující nejistoty budoucího vývoje klimatického systému. Pojetí nejistot je v tomto příspěvku chápáno jako nejistoty vznikající z modelování změn klimatu regionálními klimatickými modely, které však postihují pouze omezený směr možného vývoje klimatu.

Při řešení více požadavků zároveň je možné standardně použít multikriteriální optimalizaci. V případě prezentovaného článku jde o minimalizování ceny výstavby hráze a maximalizování odolnosti nádrže tzv. resilience. U vícekriteriální úlohy nemusí existovat jediné řešení respektující všechny cíle. V typickém vícekriteriálním optimalizačním problému existuje řada řešení, která jsou po zvážení všech cílů ve vyhledávaném prostoru lepší než zbytek řešení. Výsledek těchto optimalizací je znám také jako tzv. Pareto optimální řešení. Předpokládaným výsledkem řešení v tomto případě budou Pareto křivky závisející na odolnosti nádrže a ceně hráze. Resilience spolu se zabezpečeností a zranitelností vodních zdrojů byla podrobně popsána Hashimotem a kol. v roce 1982 [3].

Na základě podnětů Goldberga z roku 1989 [2] vznikl v roce 1994 evoluční vícekriteriální algoritmus Nondominated Sorting Genetic Algorithm – NSGA, který se lišil od jednoduchého genetického algoritmu ve způsobu rozdělení populace v průběhu řešení [7]. Tento algoritmus byl však často kritizován z důvodů velké výpočetní náročnosti rozdělení populace do úrovní nedominovaných množin řešení, kvůli absenci elitismu a potřebě vstupního parametru *σ-share*, jehož správná volba je nutná pro dosažení rovnoměrného rozložení nedominovaných řešení po celém Paretově čele. S těmito neduhy se vypořádává genetický algoritmus NSGA II [1], který je vhodný pro řešení tohoto typu úlohy. Tento algoritmus se řadí mezi nejnovější optimalizační techniky vycházející z principů evolučních vícekriteriálních optimalizací.

Hlavním cílem příspěvku je pomocí evoluční vícekriteriální optimalizace stanovit optimální ekonomický návrh vodohospodářského řešení zásobní funkce nádrže za účelem maximalizace odolnosti tzv. resilience, resp. optimalizovat návrh výšky hráze nádrže s co nejmenšími náklady na výstavbu, ale zároveň s co nejvyšší odolností nádrže vůči vzniku poruch v důsledku poklesu hladiny vody v zásobním prostoru nádrže. Vzhledem k rychlosti změn vývoje klimatu posledních let, dále také k přihlédnutí nastavení podmínek veřejné soutěže, kdy rozhoduje ve většině případů stále cena, je tento příspěvek nanejvýš aktuální.

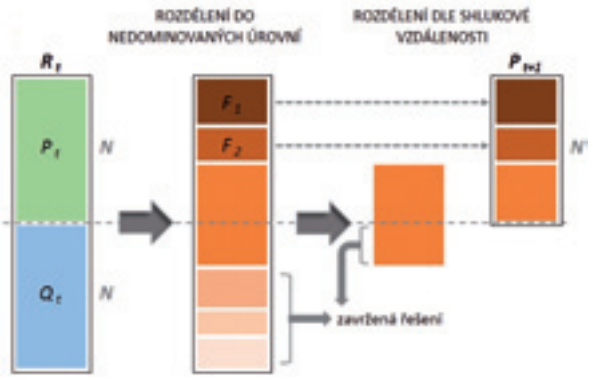
Metodika

NSGA II

Na počátku je nejprve náhodně vygenerována tzv. mateřská populace $P_{t=o}$. Tato mateřská populace $P_{t=o}$ se podrobuje typickým operacím pro genetické algoritmy, tedy selekci, křížení a mutaci. Tím je vytvořena populace potomků označena Q_t o velikosti N. Z mateřské a vytvořené populace se nejprve vytvoří kombinovaná populace $R_t = P_t \cup Q_t$, kde zavedený dolní index t označuje t-tou generaci a populace R_t má velikost 2N.

Poté jsou členové R_t seřazeni do tzv. nedominovaných úrovní. Princip je takový, že populace se rozdělují do nedominovaných úrovní tak, že v první nedominované úrovni jsou jedinci, kteří nejsou dominováni žádným jiným jedincem v populaci. Tato nejlepší nedominovaná řešení se nazývají nedominovaná řešení první úrovně F_1. K nalezení nedominovaných řešení druhé úrovně F_2 jsou obvykle nedominovaná řešení první úrovně dočasně zanedbána. Takto se pokračuje, dokud všem řešením není přiřazena nedominovaná úroveň.

Zákonitě se musí objevit okamžik, kdy se nedominovaná úroveň F_x nevejde beze zbytku do nové populace P_{t+1}, pak musí být vybrán takový počet členů z úrovně F_x, aby populace P_{t+1} měla přesně N členů. V tuto chvíli přichází na řadu druhotné třídicí kritérium, na základě kterého se vybírají jedinci právě z této fronty. V NSGA II se jako druhotné kritérium používá tzv. crowding distance (shluková vzdálenost), popřípadě možnost ε-dominance. Metoda crowding distance používá k zajištění diverzity shlukové vzdálenosti, které jsou získány kombinací vzdáleností od dvou nebo více sousedních



Obrázek 1. Znázornění výběru N řešení z populace R_t pro populaci P_{t+1}

(nejbližších) řešení v prostoru kriteriálních funkcí. Řešení, které má nejmenší hodnotu shlukové vzdálenosti, tedy takové řešení, které je úzce obklopeno sousedními řešeními, je nejméně vhodné.

Díky tomu, že všichni jedinci z předchozí generace jsou v populaci R_t s jedinci z aktuální generace, je zajištěn elitismus. Jelikož členové první úrovně F_1 jsou nejlepšími jedinci populace R_t, měli by být vybrání všichni, pokud není počet členů první nedominované úrovně větší než N. Tato nedominovaná úroveň bude součástí populace P_{t+1}. Takto je vybráno N členů pro populaci P_{t+1} z několika nedominovaných úrovní. Celý postup je naznačen na Obrázku 1.

Protože z populace R_t o velikost 2N členů se vybírá pouze N členů, ve skutečnosti není nutné provádět třídění do nedominovaných úrovní pro všech 2N členů. Rozdělení populace do úrovní nedominovaných množin řešení může být ukončeno tehdy, když v nedominovaných úrovních je dosaženo více jak N členů.

Nová populace P_{t+1} podstupuje operace křížení a mutace a tím se vytvoří populace dalších potomků Q_{t+1}. Tyto dvě populace tvoří kombinovanou populaci R_{t+1} pro další generaci a celý postup se opakuje pro celkový počet generací.

Simulační model nádrže

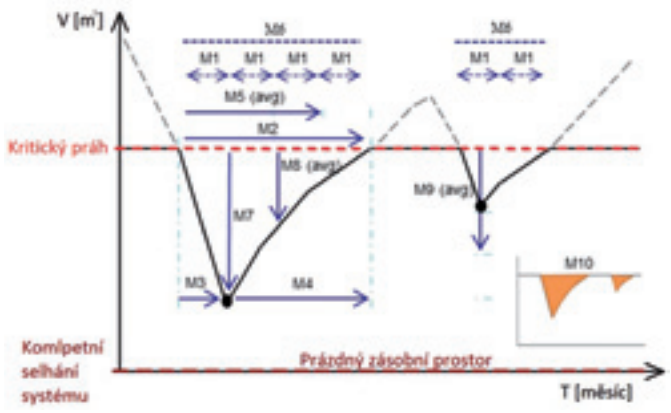
Základ simulace vychází z principu rovnice nádrže v součtovém tvaru převedené do následující nerovnosti (1) [8].

$$0 \le i=0k Oi - Qi\Delta t + Oi+1 - Qi+1\Delta t \le Vz,max \quad (1)$$

kde O_i je odtok vody z nádrže, Q_i přítok vody do nádrže pro i = 1, …, n, Dt je časový krok výpočtu, který je 1 měsíc. O_{k+1} je odtok vody z nádrže v následujícím časovém kroku, kdy v kroku i+1 je hodnota O_{i+1} nejdříve nahrazena hodnotou požadovaného nalepšeného odtoku O_p. Časový průběh vyčíslované sumy simuluje průběh prázdnění zásobního objemu nádrže po časových krocích i = 1, …, k. Pro i = o je třeba za hodnotu sumy zadat počáteční podmínku řešení. Nerovnost (1) je z levé strany omezena hodnotou o, což charakterizuje plný zásobní objem a z pravé strany hodnotou $V_{z,max}$, která v tomto případě charakterizuje prázdný zásobní objem nádrže, který je pro danou výšku hráze k dispozici. Vypočtením hodnoty výrazu je získáno aktuální prázdnění zásobního objemu nádrže, které je dále podrobně testováno. Pro toto řešení je důležité, zda nastane stav, kdy se nachází průběh prázdnění pod stanovenou kritickou hladinou. Pokud dojde k poklesu hladiny pod předem určený kritická práh, pak nastane porucha v nádrži, kterou podrobně vyhodnocují potenciální metriky odolnosti nádrže.

Potenciální metriky odolnosti nádrže

Potenciálních metrik odolností je v prezentovaném případě 10 a vychází z [5]. Všechny tyto typy odolnosti jsou uvedeny na Obrázku 2, který znázorňuje detail procesu prázdnění a plnění nádrže. Vodní deficit neboli porucha je v problematice odolnosti chápana



Obrázek 2. Znázornění potenciálních metrik odolností

tehdy, když hladina vody klesne pod předem určený kritický práh. Pokud nastane vyprázdnění zásobního objemu nádrže, pak dojde k tzv. kompletnímu selhání systému.

Metriky odolností:

- M1 je celková doba trvání systému pod kritickým prahem v měsících
- M2 je doba trvání nejdelšího vodního deficitu v měsících
- M3 je doba trvání, kdy nastane nejdelší vodní deficit v měsících
- M4 je doba trvání, kdy dojde k obnovení po nejdelším vodním deficitu v měsících
- M5 je průměrná doba trvání vodního deficitu v měsících
- M6 je počet vyskytujících se vodních deficitů
- M7 je objem nejhlubšího vodního deficitu v mil. l/měsíc
- M8 je průměrný objem vodního deficitu v mil. l/měsíc
- M9 je průměrný objem dosažených hloubek vodních deficitů v mil. l/měsíc
- M10 je celkový objem vodních deficitů v mil. l

Cena hráze podle oceňovací vyhlášky

Cena hráze je počítána podle Vyhlášky č. 441/2013 Sb., tzv. oceňovací vyhláška [10]. Vodní díla jsou oceňována podle § 17, kde základní cena upravená za měrnou jednotku ZCU je rovna základní ceně za měrnou jednotku (ZC) upravenou koeficientem polohy (K_5) a koeficientem změny cen staveb (K_i) podle rovnice (2).

$$ZCU=ZC \,.\, K5 \,.\, Ki \qquad (2)$$

Například pro zemní typ přehradní hráze je ZC = 333 Kč.m^{-3}, pro město Hanušovice je K_5 = 1.0 a pro přehrady a nádrže na tocích je K_i = 2.084. Potom ZCU odpovídá hodnotě 694 Kč.m^{-3}.

Praktická aplikace

Popsaná metodika je aplikována na chráněném profilu Hanušovice, respektive na jednu z možných variant umístění tělesa hráze vodního díla na řece Krupá. Nad tímto profilem je provozován podnikem ČHMÚ vodoměrný profil Habartice. Průměrný dlouhodobý průtok Q_a je 2.15 m^3.s^{-1}, ekologický průtok tvořící hranici sucha je dán hodnotou Q_{355} odpovídající průtoku 0.41 m^3.s^{-1}. Vstupní hodnoty pro výpočet tvoří časová řada průměrných měsíčních průtoků o délce 65 let za období měření 1950 až 2014. Batygrafické křivky pro daný profil byly stanoveny pomocí digitálního modelu terénu s využitím softwaru GIS.

Budoucí přítoky vody do nádrže byly získány odvozením z průtokových řad získaných z 15ti regionálních klimatických modelů. Výsledky modelů vychází ze čtvrté zprávy IPCC AR4 (Mezivládní panel pro změnu klimatu), přesněji pro konzervativní emisní scénář A1B. Vstupní data v podobě simulací přítoků vody do nádrže pro období 1961 až 2100 byla převzata z projektu „Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu" od RSCN VUV [4]. Data byla získána pro měrný profil Morava/Raškov a následně upravena pomocí analogie k reálné průtokové řadě pro profil Krupá/Habartice. Hodnota nalepšeného odtoku vody z nádrže O_p byla uvažována konstantní pro všechny měsíce v roce pro celé období a byla stanovena jako suma požadovaného minimálního zůstatkového průtoku v toku Q_{ECO} = 0.54 m^3.s^{-1}, odhadovaných požadavků na odběry vody pro zásobování obyvatelstva (1/4 z celkového potenciálního odběru obyvatelstva pro zásobování lokality středního Pomoraví, tedy Q_{OBYV} = 0.56 m^3.s^{-1} a odběrů pro průmysl $Q_{PRŮM}$ = 0.7 m^3.s^{-1}. Tento odhad je tedy celkově 1.8 m^3.s^{-1}. Pokud ovšem voda v nádrži klesne pod kritickou úroveň, bude požadovaný odtok snížen o odběry vody pro průmysl na hodnotu 1.1 m^3.s^{-1}.

Prostor stálého nadržení byl uvažován obdobně jako u stávajících vodárenských nádrží, kde se pohybuje v rozmezí od 12.0 do 18.0 m. Zde byla stanovena přibližně výška 15.0 m, která odpovídá objemu 0.35 mil. m^3. Retenční prostor nádrže byl zjednodušeně vypočítán pro jednu výšku hráze nádrže s navrženými parametry výpočtu tak, aby byla převedena povodňová vlna o průtoku Q_{10000}. K dosažení maximální mezní hladiny a transformaci povodňové vlny byla použita Klemešova metoda. Celkový retenční objem nádrže vyšel V_R = 7.72 mil. m^3. Dále bylo uvažováno s bezpečnostní rezervou výšky hráze proti přelití tělesa hráze, například z důsledku možného zvednutí výšky hladiny vlnobitím při kritických rychlostech větru. Výška hráze byla navýšena nad maximální hladinu (při Q_{10000}) o 2.0 m.

Parametry zemní hráze pro výpočet objemu tělesa hráze byly následující: šířka koruny hráze 5.0 m, délka dna hráze 100.0 m, sklon návodního svahu 1:3, sklon vzdušného svahu 1:2 a sklony údolí (boků hráze) 1:1 levého a 1:1.8 pravého. Výška hráze byla počítána pro hodnoty 90 m ± 10 m, tedy 80.0 až 100.0 m.

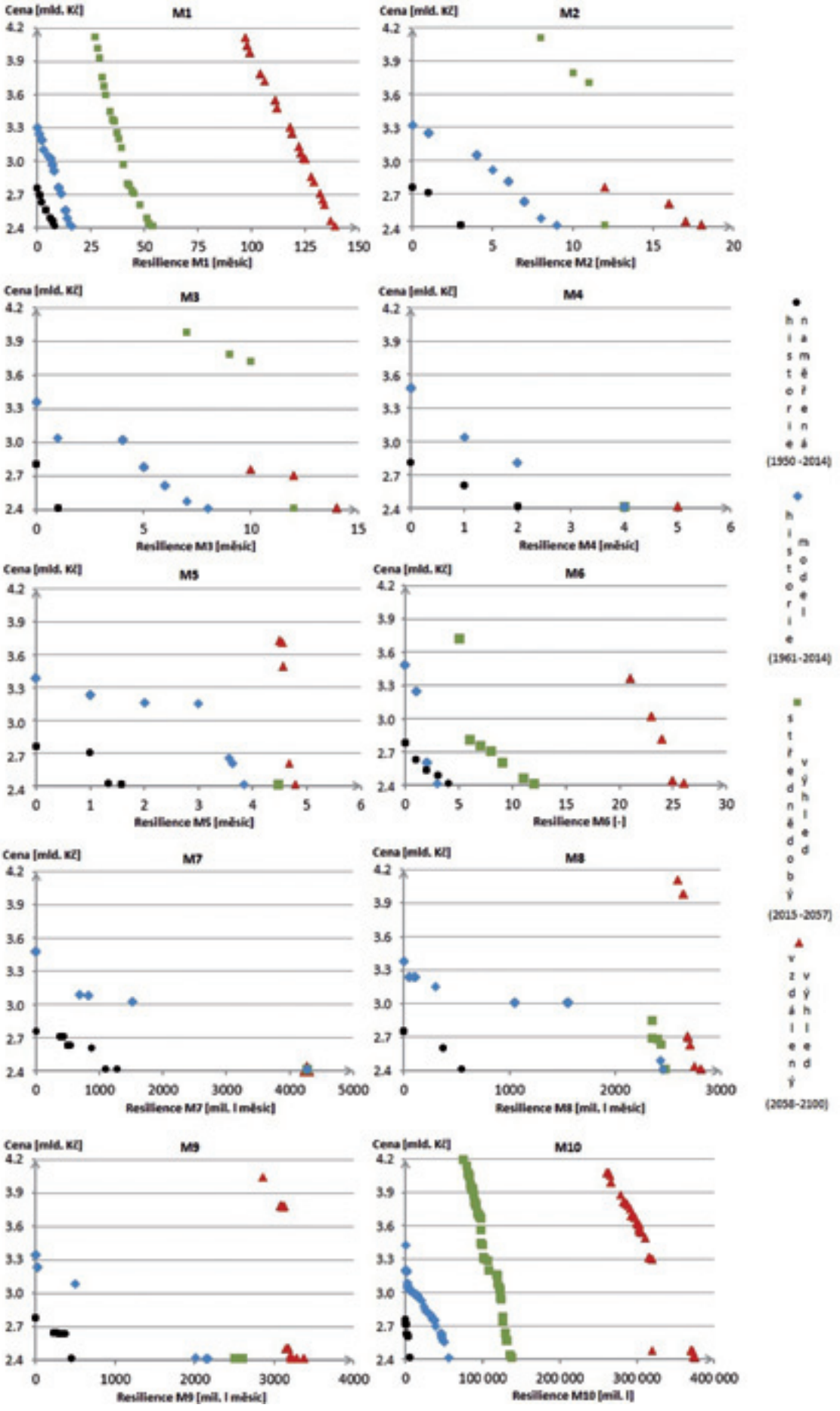
Všechny výpočty byly provedeny pomocí optimalizační metody NSGA II v aplikaci SolveXL vyvinuté na University of Exeter. [6] Nastavení pro výpočet bylo následující: velikost populace byla 100 jedinců, selekce probíhala dle turnajového výběru, křížení bylo jednobodové o velikosti 0.90, mutační typ byl náhodný o velikosti 0.05 a celkový počet generací 100. Vždy se jednalo o vícekriteriální optimalizací s cílem minimalizovat cenu hráze a maximalizovat odolnost nádrže. Natavení výpočtu bylo pro všechny metriky odolností totožné.

Vyhodnocení

Nejprve byly rozděleny simulované přítoky z regionálních klimatických modelů do tří období. Konkrétně do historického období 1961–2014, blízké budoucnosti 2015–2057 a vzdálené budoucnosti 2058–2100. Výpočty byly provedeny pro tato tři období včetně výpočtu naměřených historických průtoků za období 1950 až 2014.

Uvedené grafy mají totožné osy, kdy na svislé ose je vždy celková cena hráze podle oceňovací vyhlášky a na vodorovné ose je příslušná odolnost včetně jednotek. Zobrazené výsledky v podobě tzv. Pareto optimálních bodů ukazují vždy nejhorší možný scénář, který pro daný typ odolnosti nastal. Všechny vypočtené Pareto optimální body jsou svým způsobem optimálním řešením.

Ve výsledcích odolností můžeme porovnat historické období skutečné naměřené řady s nejhorším scénářem z modelu. Nutno podotknout, že naměřená řada je o 11 let delší, než řada z modelu.



Obrázek 3. Pareto optimální body metrik odolností nádrže M1-M10 a ceny tělesa hráze

Závěr

Ve výsledcích jsou k vidění závislosti mezi cenou hráze a příslušnou odolností ve tvaru tzv. Pareto křivek, které jsou tvořeny pareto body. Každý bod Pareto křivky pak reprezentuje jedno konkrétní řešení vzešlé z optimalizace. Porovnáním jednotlivých období můžeme vidět, že nejhorší možný scénář pro danou odolnost většinou nastává ve vzdálené budoucnosti, tedy pro roky 2058–2100. Také je zřejmé, že za vyšší cenou hráze (vyšší hráz), resp. větší množství zásobního objemu roste celková odolnost nádrže (kratší poruchy, méně hlubší a menší výskyt).

Obecně se pro hodnocení odolností vodních systému nebo zdrojů preferuje odolnost M2, jak je uvedeno v [3] s nastavením jisté limitní hodnoty. Nastavení této hodnoty bude záležet především na tom, jak je určen kritický práh a na omezení odběrů při vzniklé poruše. Kdybychom pro tento prezentovaný výpočet zavedli limitní hodnotu 5 měsíců, znamenalo by to, že pro střednědobý a vzdálený výhled by tato délka nejdelšího deficitu byla překročena i pro nejvyšší možnou hráz (pro nejhorší možný scénář). Pro období 1961–2014 by pro tento případ byla cena hráze 2.92 mld. Kč, což odpovídá přibližně výšce hráze 86.25 m a zásobnímu objemu 47.87 mil. m^3. Pro tuto cenu a pro střednědobý a vzdálený výhled by mohla nastat porucha dlouhá 1 rok. Pro naměřenou historii by tento návrh byl dostačující.

Pokud bychom tolerovali například poruchu o délce 1 roku (v tomto výpočtu je za poruchu uvažováno nulové dodání vody pro průmysl), pak by pro vzdálené období 2058–2100 vyhovovala levnější varianta návrhu nádrže o celkové výšce 84.38 cm, což představuje zásobní objem 43.48 mil. m^3 a cenu hráze 2.76 mld. Kč. Pro ostatní testovaná období by tato navrhovaná levnější varianta byla postačující.

Výsledky ukazují přehled všech testovaných odolností. Do budoucna by bylo vhodné se zaměřit pouze na určité typy, které by se mohly dále podrobněji testovat. Také se zde otevírá prostor pro vytvoření nových metrik odolností. V tomto typu příkladu byla vždy vybrána nejhorší varianta z použitých scénářů, vhodné by bylo provézt výsledky i jednotlivě pro všechny tyto scénáře. Otázkou v tomto případě je, pro jakou budoucnost výslednou cenu nádrže uvažovat. Další možností je zavést scénáře na potřebu vody např. podle vývoje obyvatel v dané lokalitě, potřeb vody pro podniky, pro výrobu elektřiny, zajištění minimálního průtoku v toku, napojení dosud nenapojených obyvatel v systému a další. Tento požadovaný odtok by bylo vhodné rozdělit do měsíčních hodnot na místo roční hodnoty. Dále by byla možnost rozšířit řešení o další nejistoty, které mohou dané výsledky ovlivnit. Otázkou ovšem zůstává, jak začlenit výpočet retenčního objemu nádrže, který je taktéž nezbytně nutný optimalizovat již při návrhu nádrže.

Nakonec je třeba otestovat výpočty i se změnou vstupních parametrů optimalizace. Pokusit se nalézt ještě lepší výsledky například změnou velikosti populace, počtem generací nebo změnou počtu jedinců vstupujících do křížení a mutace. Pro tento typ příkladu by mohla být použita i jiná vícekriteriální optimalizace, která by sloužila k porovnání výsledků. Uvedený příspěvek je pouze začátkem výzkumné práce v dané problematice, proto se nabízí mnoho otázek, které by bylo vhodné do budoucna vyřešit.

Poděkování

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

Literatura

[1] DEB, K., PRATAP, A., AGARWAL S. a MEYARIVAN, T. *A fast and elitist multiobjective genetic algorithm:* NSGA-II. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002. 6(2), 182–197.

[2] GOLDBERG, David E. *Genetic alghorithms in search, optimization, and machine learning.* Reading, Mass.: Addison-Wesley Publishing Company, 1989. ISBN 0-201-15767-5.

[3] HASHIMOTO, T., STEDINGER, J. R. a LOUCKS, D. P. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. Water Resources Research, 1982. 18(1), 14–20. DOI: 10.1029/WR018i001p00014. ISSN 00431397.

[4] *Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu* [online]. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.: Praha, 2014. [cit. 2017-06-20]. Dostupné z: http://rscn.vuv.cz/

[5] ROACH, T. *Decision Making Methods for Water Resources Management Under Deep Uncertainty,* 2016. Doctoral Theses. University of Exeter. Advisor Prof. KAPELAN, Z.

[6] *SolveXL: Genetic Algorithm Optimization,* software [online]. Exeter, 2013. [cit. 2017-06-10]. Dostupné z: http://www.solvexl.com/

[7] SRINIVAS, N. a DEB, K. *Muiltiobjective Optimization Using Nondominated Sorting in Genetic Algorithms.* Evolutionary Computation, 1994. 2(3), 221–248.

[8] STARÝ M. *Nádrže a vodohospodářské soustavy (MODUL 02).* Brno: VUT v Brně – Fakulta stavební, 2006. 117 s.

[9] *Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR.* Ministerstvo životního prostředí [online], 2015. [cit. 2017-06-18]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/

[10] Vyhláška č. 441/2013 Sb., Vyhláška k provedení zákona o oceňování majetku (oceňovací vyhláška).

POLNÍ GEOTECHNICKÉ ZKOUŠKY HORNINOVÉHO MASÍVU V ZÁKLADOVÉ SPÁŘE BUDOUCÍHO VD NOVÉ HEŘMINOVY

Marek Polák, Ivo Pavlík, Jiří Pavlík

GEOtest, a.s., Šmahova 1244/112, 627 00 Brno, tel. +420 606 732 513, polak@geotest.cz

Abstrakt

Podrobný geotechnický průzkum pro plánovanou stavbu vodního díla Nové Heřminovy zahrnoval, mimo jiné, i sérii polních geotechnických zkoušek ze dna průzkumných šachtic v místě předpokládaného hrázového profilu v prostředí kulmských hornin tvořených drobami a jílovými břidlicemi. Cílem zkoušek bylo přímé stanovení hodnot geotechnických vlastností horninového masivu, jakožto výchozích hodnot pro matematický model hrázového profilu.

Klíčová slova: *VN Nové Heřminovy; geotechnický průzkum; Kulm; droba.*

Abstract

The detailed geotechnical survey for the planned construction of the Nové Heřminovy reservoir included, among other things, series of field geotechnical tests from the bottom of the exploration shafts. The shafts were situated in the line of the designed dam profile in the rock formations formed of greywacke and clay shale. The aim of the tests was direct determination of the values of the geotechnical characteristics of the rock mass as the starting values for the mathematical model of the dam profile.

Keywords: *Nové Heřminovy reservoir; geotechnical survey; culm; greywacke.*

Úvod

Příprava výstavby vodního díla Nové Heřminovy se pod názvem „Opatření na horní Opavě, příprava akce v období 2013–2016" dostává do finální fáze a pro jednotlivé stavební objekty, na něž je stavba rozčleněna, se v posledních dvou letech prováděly geologické průzkumy. Hlavním cílem průzkumných prací bylo sestrojení co možná nejpřesnějšího modelu horninového prostředí v okolí hrázového profilu a stanovení geotechnických vlastností horninového masivu. Průzkumné práce t realizovalo sdružení firem „OHO", kde AQUATIS, a.s. jako vedoucí společník realizuje projekční část a firmy JUGeo-geologické a vrtné práce, s.r.o., a GEOtest, a.s. zajišťovaly průzkumné práce.

Geologické poměry

Prostor budoucí přehrady se nachází v katastrálních územích obcí Loučky u Zátoru a Zátor v okrese Bruntál. Přehradní profil je situován v místě zúžení údolí řeky Opavy nad obcí Loučky u Zátoru. Řeka Opava, protékající široce rozevřeným údolím SVS až SV směru, vstupuje v prostoru přehradního profilu do zúženého údolí vymezeného JJV svahem Křížového vrchu (500 m n. m.) a severním svahem Zadního vrchu (560 m n. m.).

Údolní svahy jsou překryty deluviálními sedimenty dvojího typu. Jednak mají charakter soudržné jemnozrnné zeminy – hlíny charakteru písčitého jílu s proměnlivým podílem úlomků horniny a balvanů (do 15%). Mocnost této vrstvy se pohybuje převážně do 2 m, větší akumulace této zeminy byla ověřena na levém břehu na západních a jihozápadních svazích v okolí bezejmenného levostranného přítoku Opavy. Druhým typem jsou sutě charakteru hrubého až balvanitého hlinitopísčitého štěrku. Sutě tvoří v rámci břehů povrchovou vrstvu, případně jsou překryty svahovými hlínami. Mocnost mají velmi proměnlivou od několika decimetrů až po 7 až 8 m. V údolní nivě jsou uloženy fluviální sedimenty – náplavové hlíny překrývající vrstvu bazálních hrubozrnných až balvanitých štěrků. Celková mocnost aluvia nepřesahuje 5 m.

Předkvartérní podloží je budováno kulmskými horninami (paleozoikum, spodní karbon, visé), reprezentovanými zvrásněným flyšovým souvrstvím hornobenešovských vrstev. Litologicky se jedná o souvrství s převažujícím výskytem jemnozrnných až střednězrnných drob lavicovité odlučnosti, podřízeným podílem prachovitých drob, resp. jílovitých břidlic a spíše ojedinělým výskytem poloh hrubozrnného pískovce a slepence. Vrstvy se uklání směrem k východu ve sklonech až 75°.

Rozsah průzkumných prací

Pro zjištění geologické stavby a stanovení geotechnických vlastností zastižených zemin a hornin, resp. horninového masivu bylo realizováno široké spektrum průzkumných prací:

- Vrtné práce – svislé a šikmé (subhorizontální), diamantovou korunkou průměru 59–76 mm;
- Kopané šachtice – šest kopaných šachtic kruhového tvaru, průměru cca 3,5 m, hloubky 7,5–9,0 m;
- Geofyzikální měření ve vrtech – seismická tomografie a karotáž vrtů (komplex metod zahrnující elektrokarotáž, gama karotáž, gama-gama (hustotní) karotáž, neutron karotáž, geoelektrické metody, kavernometrii, rezistivimetrii, vlnovou akustickou karotáž, akustický televizor)
- Presiometrické zkoušky ve vrtech
- Polní geotechnické zkoušky hornin v úrovni základové spáry hráze – na dně průzkumných šachtic
  - Zatěžovací zkoušky pro stanovení modulů přetvárnosti horninového masívu
  - Smykové zkoušky pro stanovení parametrů smykové pevnosti horninového masívu
- Zkoušky pevnosti kontaktu beton – hornina
- Vodní tlakové zkoušky
- Laboratorní zkoušky hornin a kameniva
  - Stanovení objemové hmotnosti ve stavu vysušeném i nasyceném
  - Stanovení nasákavosti
  - Stanovení pevnosti v jednoosém (prostém) tlaku
  - Stanovení pevnosti v příčném tahu
  - Stanovení pevnosti ve střihu kruhovým razníkem

– Stanovení parametrů smykové pevnosti (Mohr-Coulombova obálka)
– Stanovení přetvárných charakteristik v prostém tlaku.

Zatěžovací zkoušky

Velkorozměrové zatěžovací zkoušky byly realizovány ve všech šesti průzkumných šachtách jako rozpěrné zkoušky ve směru působení tlaku vody na těleso projektované hráze. Zatěžován byl tedy horninový masív na protilehlých svislých stěnách průzkumných šachet přes předem připravené čtvercové betonové roznášecí bloky o ploše 1 m². Cílem těchto zkoušek bylo stanovení modulů přetvárnosti horninového masívu v úrovni základové spáry projektovaného tělesa hráze.

Před realizací samotných zkoušek bylo nutné vybetonovat zkušební bloky, a to s velkým nárokem na vzájemnou přesnost. Zároveň muselo mít bednění, do něhož byl beton ukládán, dostatečnou tuhost, aby nedošlo k jeho deformaci. Před osazením čela bednění byly do přesně vyznačených míst do horninového masívu zakotveny body pro měření deformací z tyčové válcované oceli. Ty byly opatřeny chráničkou, která zajišťovala nezávislý průchod blokem, aby měření deformací horninového masívu nebylo ovlivněno deformacemi bloků v průběhu zatěžování.

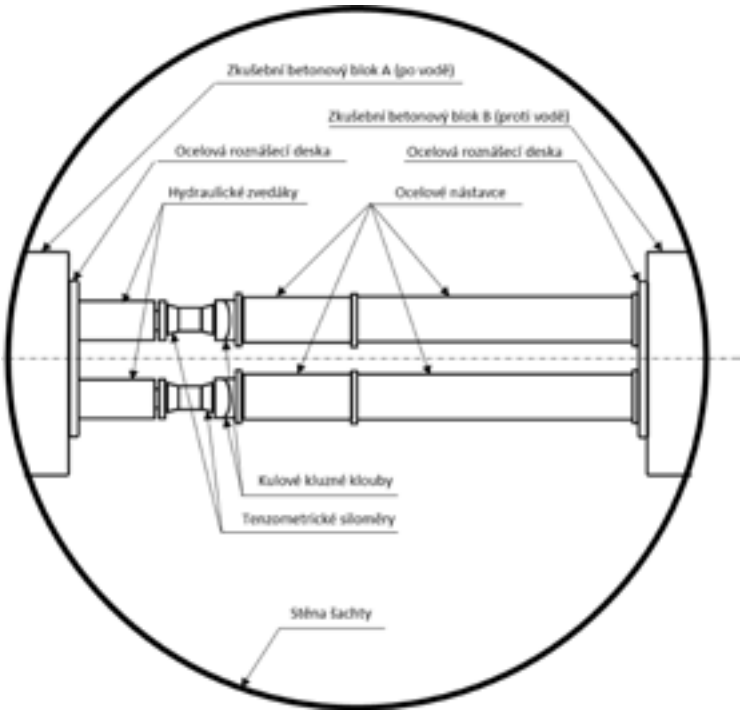
Provedení zatěžovací zkoušky předcházelo osazení zkušební sestavy mezi oba zatěžované betonové bloky. Na betonové bloky byly osazeny roznášecí ocelové desky, přičemž na jedné z nich byly přivařené držáky pro umístění hydraulických zvedáků. Na podpěrné konstrukce umístěné uprostřed šachty byly nainstalovány čtyři souběžné zatěžovací kolony z roznášecích patek, spojek a ocelových silnostěnných tubusů. Zatížení bylo vyvozeno čtyřmi hydraulickými zvedáky Holmatro o výtlaku 500 kN. Zatížení bylo vyvozeno přes kulový kluzný kloub a přes nástavce do protilehlého zatěžovacího bloku. Pro měření vnášené síly byly na hydraulické zvedáky osazeny tenzometrické siloměry typu S-52 (výrobce Roman Lukas, Praha) s měřícím rozsahem do 500 kN. Vnášené síly byly odečítány na čtyřkanálové tenzometrické aparatuře typu P-3 (výrobce Vishay Micro-Measurements). K odečtu deformací byly použity číselníkové úchylkoměry výrobce KS s měřícím rozsahem 0–25 mm a přesností čtení 0,01 mm. Ty byly osazeny pomocí držáků na dvě k tomuto účelu sestavené nezávislé konstrukce z lešenářských trubek.

Maximální zatížení bylo stanoveno jako minimálně 1,6 násobek zatížení vyvolaného tíhou projektované hráze. Při průměrné výšce hráze po její základovou spáru cca 32 m bude v úrovni prováděných zkoušek vyvozeno kontaktní napětí 800 kN.m^{-2}, z čehož bylo určeno maximální zatížení při zkoušce nejméně 1280 kN.m^{-2} (kontaktní napětí 1,28 MPa). Zatížení bylo vnášeno v šesti zatěžovacích stupních po 0,2 MPa, přičemž 1. zatěžovací stupeň byl půlený. Zatěžování tedy probíhalo po stupních 0,1 – 0,2 – 0,4 – 0,6 – 0,8 – 1,0 – 1,2 – 1,4 MPa (maximální zatěžovací síla byla 1400 kN). Po dosažení maximálního zatížení bylo provedeno stupňovité odlehčení, přičemž odlehčovací stupně byly dvojnásobné velikosti jako stupně zatěžovací. Odlehčování tedy probíhalo po stupních 1,0 – 0,6 – 0,2 – 0,1 MPa a následně byl blok zcela odlehčen. Při odlehčování byly odečítány ustálené deformace stejně jako při zatěžování. Zatěžovací i odlehčovací stupně druhého zatěžovacího cyklu byly stejné jako v prvním zatěžovacím cyklu.

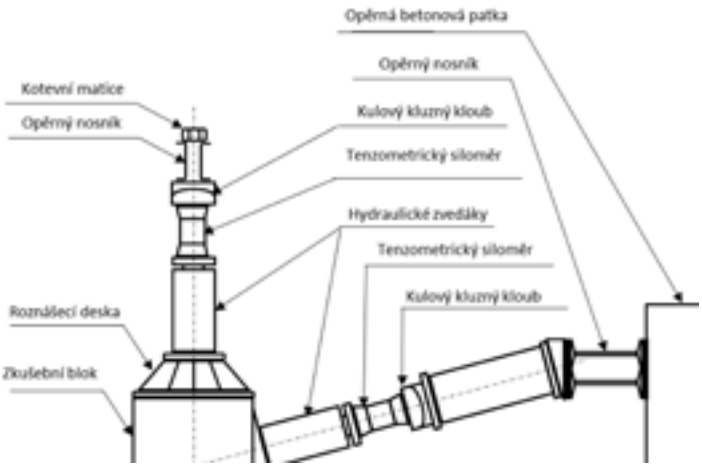
Zkoušky byly vyhodnoceny podle Schleichertova vzorce vycházejícího z Boussinesquovy teorie pružného poloprostoru. Základem pro vyhodnocení byly naměřené deformace příslušné určitému zatížení. Modul přetvárnosti byl pak určen ze vztahu

$$E_{def} = (1 - \nu^2) \cdot a \cdot \alpha \cdot \Delta p / \Delta y ,$$

Obrázek 1. Šachta Š315 s horninovými bločky připravenými ke zkouškám smykové pevnosti

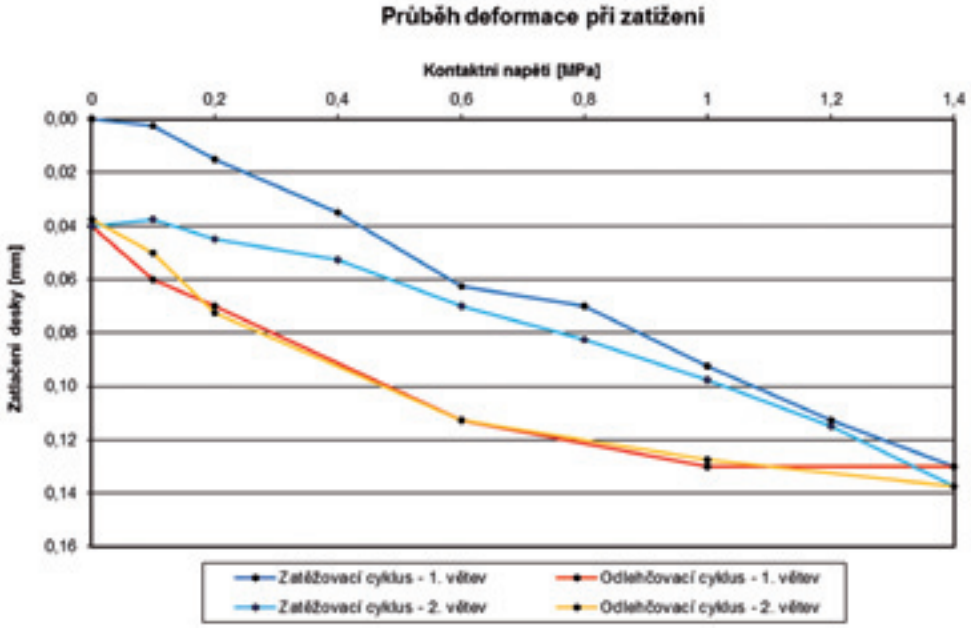


Obrázek 2. Schéma zatěžovací soustavy pro zatěžovací zkoušku



Obrázek 3. Schéma zatěžovací soustavy pro smykovou zkoušku

kde je E_{def} modul přetvárnosti v MPa,
ν Poissonovo číslo horninového masívu,
a délka strany zatěžovací desky v m,
α součinitel tvaru a tuhosti desky (pro ocelovou tuhou desku $\alpha = 0{,}88$)
Δp změna kontaktního napětí v MPa,
Δy změna zatlačení desky v m.



Graf 1. Záznam průběhu zatěžovací zkoušky

Smykové zkoušky

Polní smykové zkoušky se uskutečnily ve všech šesti šachtách na horninových blocích, které byly připraveny pro zkoušky ve dně šachty. Horninové bloky byly namáhány kombinací normálových a tangenciálních sil až do usmýknutí v předem určené rovině. Působení smykové síly bylo orientováno ve směru působení tlaku vody na těleso projektované hráze. Cílem polních smykových zkoušek bylo stanovení parametrů smykové pevnosti horninového masívu v úrovni základové spáry projektovaného tělesa hráze.

V přesně vyznačených místech na dně šachet byly pomocí obvrtání a ořezání vytvořeny zkušební horninové bloky. Na tyto bloky byly osazeny ocelové rámy a zbylý prostor byl vyplněn betonem. Při betonáži bloků byly také do předem připraveného bednění vybetonovány v každé šachtě dvě betonové patky v protilehlé části, které byly následně zásadní částí opěrného systému pro vnesení smykového zatížení při zkouškách. Tangenciální síly byly vyvozeny o rozpěrný nosník opřený o tyto patky, přes něž se zatížení přeneslo do protilehlé stěny šachty. Rozpěrný nosník byl složen ze dvou vyztužených profilů I 300, které byly spojeny přivařenými zesílenými pásnicemi.

Tangenciální síla působila na boční stěnu zkoušeného bloku přes ocelový klín o úhlu 15° tak, aby osa zatěžovací sestavy směřovala na střed předpokládané smykové plochy pod horninovým blokem ve smykové rovině. Zatížení bylo vyvozeno hydraulickým zvedákem o výtlaku 1000 kN, síla byla měřena tenzometrickým siloměrem typu GEOtest s měřícím rozsahem 1000 kN. Zatížení bylo přenášeno přes kulový kluzný kloub a nástavce do roznášecího nosníku. Vzhledem k tomu, že roznášecí nosník byl osazen k opěrným patkám do horizontální polohy, bylo zapotřebí mezi zatěžovací kolonu a tento nosník vložit druhý ocelový klín v opačné poloze.

Pro vnesení normálových sil na povrch bloků bylo také připraveno 5 tyčových horninových kotev, které byly situovány mezi zkoušenými bloky a vedle nich. Délka kotev byla 3000 mm, přičemž tyto kotvy byly zainjektovány do horniny v délce 1500 mm betonovou injekční směsí. Na volné konce kotev vyčnívajících ze dna šachy v délce 1500 mm byl při zkouškách zakotven opěrný nosník sestavený ze dvou U-profilů spojených přivařenými příložkami.

Pro vyvození normálové síly byl použit hydraulický zvedák o výtlaku 500 kN (výrobce fy KGF hydraulika s.r.o.), který byl osazen na roznášecí desku přes válečkové ložisko umožňující kolmý pohyb bloku při jeho smýkání. Vnášená síla byla měřena tenzometrickým siloměrem typu S-52 (výrobce Roman Lukas, Praha) s měřícím rozsahem do 500 kN. Při normálových silách do 100 kN byl v některých šachtách využit i hydraulický zvedák o výtlaku 100 kN (výrobce fy Holmatro) osazený siloměrem typu S-30 (výrobce Roman Lukas, Praha). Kolona normálové síly byla dále sestavena z kulového kluzného kloubu a byla opřena o roznášecí nosník připevněný k připraveným horninovým tyčovým kotvám přes kotevní matice.

Normálové i tangenciální síly byly odečítány na dvou jednokanálových tenzometrických aparaturách typu P 3500 (výrobce Vishay Micro-Measurements), u některých zkoušek i na čtyřkanálové tenzometrické aparatuře typu P-3 stejného výrobce.

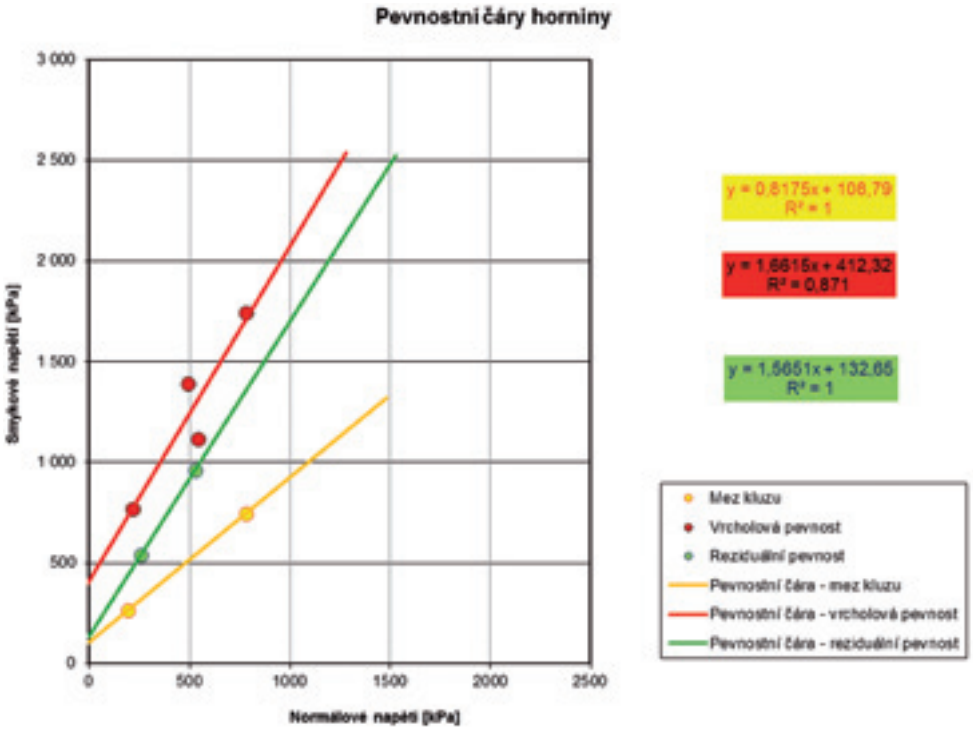
Pro měření deformací bylo použito 5 číselníkových úchylkoměrů s měřícím rozsahem 25 mm s přesností čtení 0,01 mm (výrobce KS). Dva číselníkové úchylkoměry určené k měření deformace ve směru působení normálové síly, byly upevněny na kyvných stojkách. Zbylými třemi číselníkovými úchylkoměry byly měřeny posuvy zkoušeného bloku ve směru působícího tangenciálního napětí, přičemž dva byly umístěny na zatěžované straně bloku a jeden na straně protilehlé. Číselníkové úchylkoměry byly upevněny pomocí držáků na konstrukci sestavené z lešenářských trubek nezávislé na zatěžovacích kolonách.

Na začátku byl zkoušený blok zatížen plnou hodnotou normálového zatížení určenou pro daný blok. Po ustálení deformací bylo zahájeno zatěžování bloku stupňovitým tangenciálním zatížením. Vzhledem k tomu, že tangenciální zatížení bylo do zkoušeného bloku vnášeno pod úhlem 15°, u bloku docházelo ke zvýšení celkové normálové síly o normálovou složku vnesené síly. Proto bylo při každém zvýšení tangenciálního zatížení i sníženo normálové zatížení tak, aby bylo v průběhu celé zkoušky konstantní. Po dosažení každého zatěžovacího stupně byly odečteny a ustáleny deformace

Pro jednotlivé zkoušené bloky byly stanoveny normálové síly ve výši 40 – 80 – 120 – 200 kN, přičemž nejvyšší normálový přítlak odpovídá síle vyvozené tíhou projektované hráze v základové spáře.

Po dosažení maximálního tangenciálního zatížení (a usmýknutí bloku) byly uzavřeny ventily hydraulických soustav. Dále proběhlo sledování časového průběhu samovolného poklesu normálové i tangenciální síly bez měření deformací. Poklesy sil byly zaznamenány v dobách po uzavření ventilů hydraulických soustav 1, 2, 4, 8, 16, 32 a 64 minut.

Průběhy zkoušek byly zaznamenány do grafů průběhu deformace při zatížení i časového průběhu zkoušky. V grafech jsou pak vykresleny



Graf 2. Pevnostní čáry horniny ze šachty Š317

meze pevnosti a meze kluzu i křivky časové závislosti poklesu napětí reziduální pevnosti. Následně byly pro každou šachtu ze všech provedených zkoušek vyhodnoceny i pevnostní čáry meze kluzu, vrcholové i reziduální pevnosti a byly stanoveny rovnice pevnostních čar jako regresní přímky s parametry stanovenými vyhodnocením smykových zkoušek odpovídajícími charakteru horninového masivu:

mez kluzu:

$$\tau_y = \tau_{oy} + \sigma \cdot \mathrm{tg}\, \varphi_y ,$$

kde je τ_y smyková pevnost na mezi kluzu,
σ normálové napětí,
τ_{oy} počáteční pevnost na mezi kluzu,
φ_y úhel kluzu;

Obdobně byly odvozeny rovnice pro vrcholovou pevnost a reziduální pevnost.

Zhodnocení výsledků

Jak ukazují grafy pevnostních čar stanovené polními smykovými zkouškami, jejich charakter je výrazně odlišný u hornin na levém údolním svahu od hornin na pravém svahu údolí. Pevnost drob levého svahu je dána především úhlem tření, který značně strmý a dosahuje i enormně vysokých hodnot. U zdravých drob však mají nulovou počáteční smykovou pevnost. Jedná se velmi pevné horniny, které jsou velmi křehké, takže plastický stav se u nich prakticky nevyskytuje, zejména pokud nejsou narušeny zvětráváním. Proto čáry meze kluzu téměř splývají s čarami vrcholové pevnosti.

Na levém břehu dosahují moduly přetvárnosti E_{def} mimo protivodní blok v šachtě č. 316 hodnot v rozmezí 4,5–9,7 GPa, což koresponduje s geologickou stavbou zkoušeného masívu – levý břeh je zasazen do masívu tvořeného převážně zdravými, resp. slabě navětralými drobami.

Čáry reziduální pevnosti představují smykovou pevnost porušené horniny po usmýknutí, proto jejich sklon je nižší než čáry vrcholové pevnosti, Vyznačují se však určitou hodnotou počáteční smykové pevnosti, což způsobuje určité zazubení smykové plochy v důsledku průniků různě orientovaných diskontinuit.

Pravý údolní svah je v trase přehradního profilu budován silně navětralým až zvětralým masivem tvořeným drobami s výraznějším zastoupením poloh jílovitých břidlic a prachovců ve formě lamin tloušťky v řádu mm až prvních cm. Proto čáry vrcholové pevnosti v šachtách na pravém břehu mají menší sklon než čáry vrcholové pevnosti stanovené z výsledků zkoušek na levém břehu. V důsledku určitého podílu břidlic v masivu a vyššího stupně zvětrání se při vyšším namáhání stává masiv plastičtější, což charakterizuje podstatně menší sklon čáry meze kluzu. Obdobně i zatěžovacími zkouškami byly zjištěny moduly přetvárnosti v rozmezí 1,1–4,9 GPa. To odpovídá stavu a kvalitě zkoušeného prostředí.

Závěr

Celkově lze horninový masiv charakterizovat jako únosný a z hlediska sledovaného účelu, tj. založení přehradní hráze představuje příznivé prostředí. Finálním výstupem polních zkoušek je tabulka doporučených hodnot fyzikálně-mechanických vlastností horninového masívu. Tyto hodnoty byly následně použity jako vstupní hodnoty do matematického modelu.

Literatura

[1] BRADÁČ, V., BEŇÁK, P.: *Opatření na horní Opavě, příprava akce v období 2013–2016. VD Nové Heřminovy, SO101 – Hráz. Podrobný inženýrsko-geologický průzkum.* JuGeo-geologické a vrtné práce, s.r.o., 2016.

VPLYV MANIPULÁCIE NA VYBRANÝCH VODNÝCH NÁDRŽIACH NA TOK SO ZRETEĽOM NA OBDOBIE SUCHA

Jana Poórová, Katarína Melová, Ľubica Lovásová, Lotta Blaškovičová

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

Abstrakt

Vodné nádrže ako priečne stavby na tokoch narušujú pozdĺžnu kontinuitu vodných tokov, čo v ostatných rokoch rezonuje ako významný problém pri hodnotení ekologického stavu vodných útvarov. Na druhej strane majú dokázateľný nezanedbateľný energetický a rekreačný potenciál a najmä významnú úlohu v hospodárení s vodou a v protipovodňovej ochrane. V obdobiach sucha môžu výdatným spôsobom prispieť k udržaniu vhodných podmienok pre biotu v toku pod vodnou nádržou. V predkladanom príspevku prinášame príklady manipulácie na vybraných vodných nádržiach v obdobiach sucha, ktoré sa vyskytli v ostatných rokoch na Slovensku. Z množstva vodných nádrží sme vybrali také, ktoré sa každoročne vyhodnocujú vo vodohospodárskej bilancii a kde monitorujeme v štátnej hydrologickej sieti hydrologický režim nad aj pod nádržou, a tak sa dá zreteľne sledovať a vyhodnotiť vplyv manipulácie. V hodnotení sme sa zamerali na hydrologicky suché roky ako napr. 2003, 2012 a vyhodnotili sme vplyv VN Kunov (povodie Moravy), VN Nitrianske Rudno (povodie Nitry) a VN Domaša (povodie Bodrogu).

Klíčová slova: *vodná nádrž; vodohospodárska bilancia; sucho; potreba vody, kapacita vodného zdroja.*

Abstract

Water reservoirs as the cross constructions on the streams interfere the longitudinal continuity of water courses, what in recent years resonates as a significant problem in assessment of the ecological status of water bodies. On the other hand, they have proven notable energetical and recreational potential and, in particular, an important role in water management and flood protection. During droughts, they can make a significant contribution to maintain the suitable conditions for biota in the stream below the water reservoir. In presented paper we show the examples of manipulation on selected water reservoirs during droughts, which have occurred in Slovakia in recent years. From the number of water reservoirs, we have selected those that are evaluated annually in the water resource balance and where we monitor the hydrological regime upstream and downstream of the reservoir in the state hydrological network, and where we therefore can clearly observe and evaluate the influence of the manipulation. In the assessment, we focused on hydrologically dry years as 2003, 2012 and we evaluated the impacts of water reservoirs Kunov (Morava River Basin), Nitrianske Rudno (Nitra River Basin) and Domaša (Bodrog River Basin).

Keywords: *water reservoir; water resource balance; drought periods.*

Úvod

Zrážkovo-odtokové procesy sú jedným z hlavných činiteľov ovplyvňujúcich množstvo a rozdelenie vody v povodí. Ak tento prirodzený hydrologický režim nie je vyhovujúci z pohľadu zabezpečenia potreby vody pre obyvateľstvo v čase a priestore, zasahujeme do neho napr. budovaním a prevádzkovaním vodných nádrží. V predkladanom príspevku sa venujeme trom z nich (VN Kunov v povodí Moravy, VN Nitrianske Rudno v povodí Nitry a VN Domaša v povodí Ondavy). Všetky boli vybudované v rôznych fyzicko-geografických podmienkach pre viaceré účely.

VN Kunov sa nachádza v povodí Moravy na toku Teplica. Bola postavená v rokoch 1961–1964. Hlavnou funkciou nádrže bolo zabezpečenie potreby vody pre priemysel v meste Senica, zachytávanie povodňových prietokov a rekreácia. V súčasnosti slúži na závlahy, ochranu pred povodňami, chov rýb, rekreáciu a energetiku.

VN Nitrianske Rudno na toku Nitrica v povodí Nitry bola vybudovaná v období 1951–1957. Aktuálne slúži hlavne na zabezpečenie vody pre potreby priemyslu v Novákoch, ochranu pred povodňami, reguláciu prietokov v povodí pod nádržou a na rekreačné účely.

Treťou a najväčšou hodnotenou nádržou je VN Domaša, vybudovaná na toku Ondava v povodí Bodrogu v rokoch 1962–1967. Bola realizovaná s cieľom regulácie prítoku vody do celej Východoslovenskej nížiny najmä z dôvodu ochrániť ju pred následkami povodní a zároveň zabezpečiť potrebu vody pre priemysel, energetiku a rekreačné účely. Tvorí ju sústava dvoch nádrží: Veľká Domaša a Malá Domaša (vyrovnávacia nádrž).

Základné údaje vyššie vymenovaných vodných nádrží obsahuje tabuľka 1. a ich polohu v rámci Slovenska obrázok 1.

Materiál a metódy

V prvom kroku sme zhodnotili hydrologickú situáciu v povodí nad VN, a to z pohľadu vodnosti jednotlivých rokov s cieľom vybrať pre hodnotenie suché roky (Obrázok 2 až 4) na následné detailnejšie zhodnotenie ich hydrologického režimu a vplyvu vodných nádrží na hydrologický režim a zabezpečenie požiadaviek na vodu. Pre toto hodnotenie sme vybrali roky 1993, 2003 a 2012.

Vplyv vodných nádrží na tok sa na SHMÚ hodnotí v mesačnom kroku v rámci spracovania Kvantitatívnej vodohospodárskej bilancie množstva povrchových vôd uplynulého roka (KVHB PV). KVHB PV obsahuje hodnotenie skutočne realizovaných požiadaviek na vodu a skutočného stavu vodných zdrojov v hodnotenom roku v bilančných profiloch. Je založená na posudzovaní kvantitatívnych vzťahov medzi požiadavkami na vodu a zdrojmi vody. Na strane vodných zdrojov vystupujú charakteristiky priemerných mesačných prietokov, ktoré vstupujú do výpočtov v troch alternatívach. V prvej alternatíve ako ovplyvnené (skutočné) priemerné mesačné prietoky (E), v druhej alternatíve ako priemerné mesačné prietoky ovplyvnené iba manipuláciou na vodných nádržiach a prevodmi vody (EN) a v tretej alternatíve

Tabuľka 1. Základné parametre vodných nádrží

Nádrž	Tok	Plocha	Staničenie	Objem [mil. m3]		
		[km2]	[km]	stály	zásobný	celkový
Kunov	Teplica	93,6	9,65	0,53	2,17	3,14
Nitrianske Rudno	Nitrica	160,7	28,3	0,45	3,19	4,41
Veľká Domaša	Ondava	827,19	71,565	16,6	136,6	172,5

Obrázok 1. Situácia hodnotených vodných nádrží, vodomerných staníc a bilančných profilov

ako očistené priemerné mesačné prietoky, čiže prietoky bez vplyvu užívaní (C).

Výsledkom bilančného hodnotenia je overenie dosiahnutia predpokladaných cieľov hospodárenia s vodou (napr. manipulácia nádrží – N, zabezpečenie potrieb vody, v príspevku hodnotené ako suma uskutočnených odberov a minimálneho bilančného prietoku, vyhodnotenie prirodzenej kapacity zdroja – KVC a kapacity zdroja s vplyvom nádrže – KVEN), ktoré sú následne vo výsledkoch KVHB PV vyjadrené bilančným stavom v dvoch alternatívach. Pre väčšiu výpovednú hodnotu vplyvu vybraných nádrží sme zhodnotili vo vybraných rokoch 1993, 2003 a 2012 vplyv nádrže, kapacitu vodného zdroja a potrebu vody v mesačnom kroku. Kapacitu vodného zdroja sme hodnotili v kontexte sezónnosti, a to v porovnaní s odpovedajúcimi hodnotami priemerných mesačných prietokov. Pre toto hodnotenie sme použili posúdenie priemerných denných prietokov voči kvantilom dlhodobých priemerných mesačných prietokov (za referenčné obdobie 1961–2000) odstupňovaných po 40% (Danáčová a kol., 2014):

1. kvantil (120 až 80 % z Qmes61-2000 – normálny stav vodnosti).
2. kvantil (80 až 40 % z Qmes61-2000 – podnormálny stav vodnosti).
3. kvantil (menej ako 40 % z Qmes61-2000 – kritická hodnota stavu vodnosti).

Hodnota < 40 % Q_{ma} označená ako kritická je predbežným odhadom na základe historických meraní v rovnakom mesiaci referenčného obdobia.

Výsledky a diskusia

VN Kunov

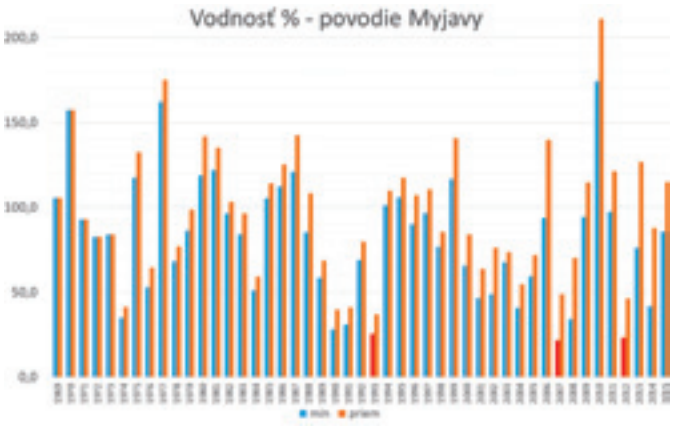
a) Rok 1993

Hydrologická situácia v roku 1993 bola nepriaznivá (Obrázok 5). Priemerné mesačné prietoky (Q_m) počas celého roka boli menšie ako dlhodobé hodnoty za obdobie 1931–2000. Priemerné denné prietoky v Sobotišti prekročili dlhodobý priemer (Q_a) iba v marci a apríli, a aj to iba ojedinele (Obrázok 6).

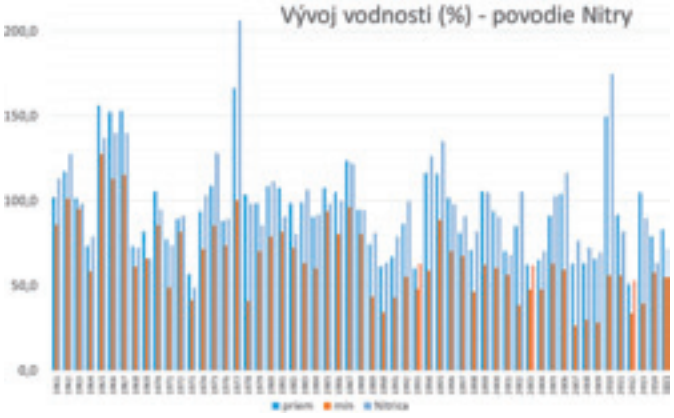
Kritické mesiace boli od augusta až do konca hydrologického roka, kedy prietoky podkročili 355-denný prietok (Q_{355d}), čo znamenalo veľmi nepriaznivú situáciu pre prítok do VN Kunov (Obrázok 7). Zároveň najvyššie požiadavky na vodu boli v mesiacoch jún až september. Naakumulovaným objemom vody vo VN Kunov sa podarilo v týchto mesiacoch zabezpečiť všetky požiadavky na vodu a zároveň udržať vodnosť pod nádržou (profil Teplica-ústie) nad 40 % dlhodobých hodnôt.

b) Rok 2003

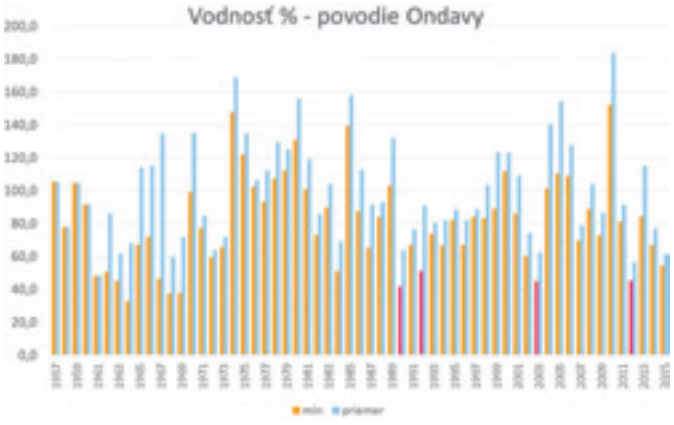
V roku 2003 opätovne v lete boli v súvislom období, a to od polovice júna po koniec septembra zaznamenané prietoky menšie ako Q_{355d} (Obrázok 9), čo znamenalo veľmi nepriaznivú situáciu pre prítok do VN Kunov. Podobná situácia sa zopakovala v závere roka, kedy v mesiacoch november a december bola prirodzená kapacita menšia ako 40 % príslušného dlhodobého mesačného prietoku (Q_{ma}).



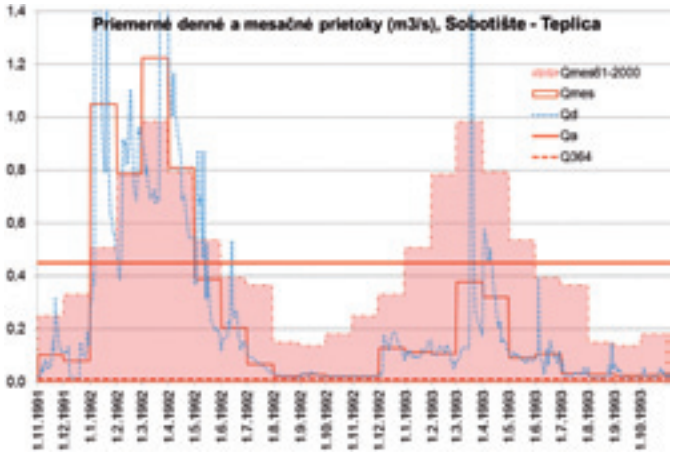
Obrázok 2. Vývoj vodnosti v povodí Myjavy



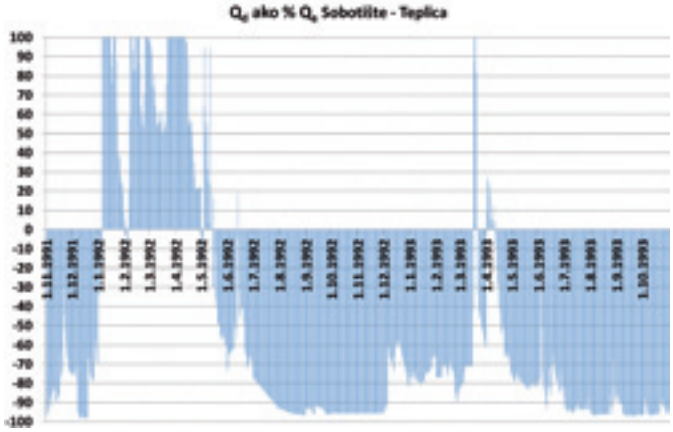
Obrázok 3. Vývoj vodnosti v povodí Nitry



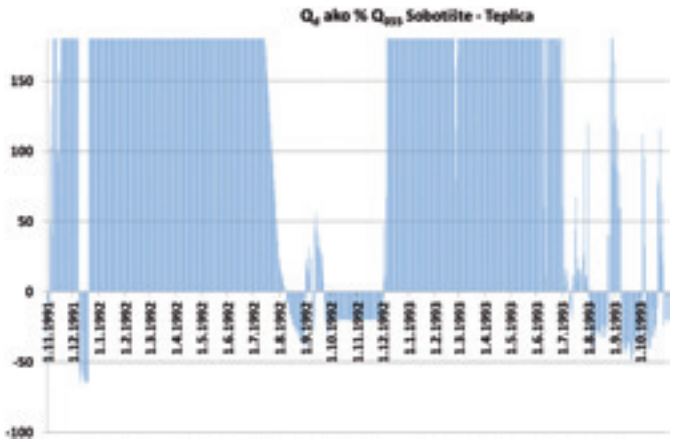
Obrázok 4. Vývoj vodnosti v povodí Ondavy



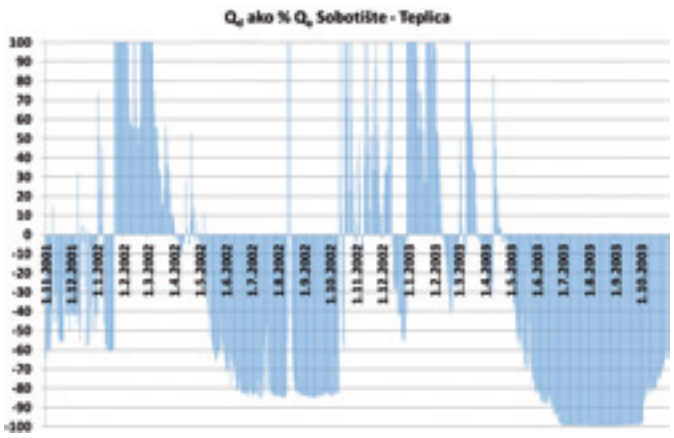
Obrázok 5. Hydrologický režim Sobotište-Teplica v rokoch 1992–1993



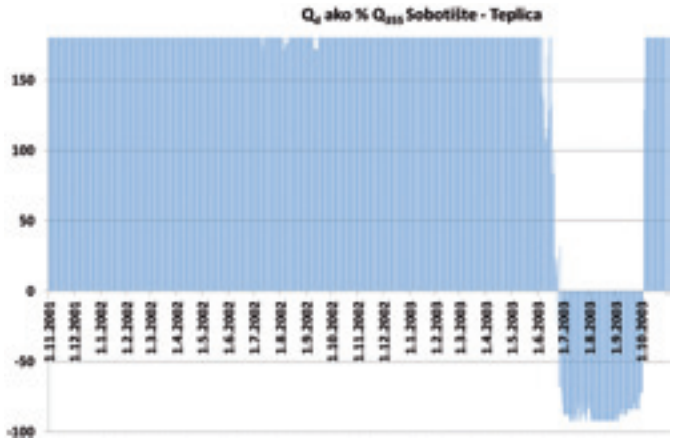
Obrázok 6. Q_d ako % Q_a Sobotište-Teplica v rokoch 1992–1993



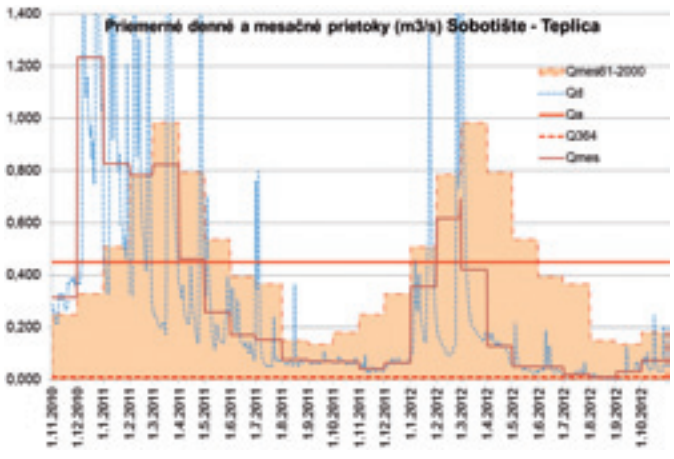
Obrázok 7. Q_d ako % Q_{355d} Sobotište-Teplica v rokoch 1992–1993



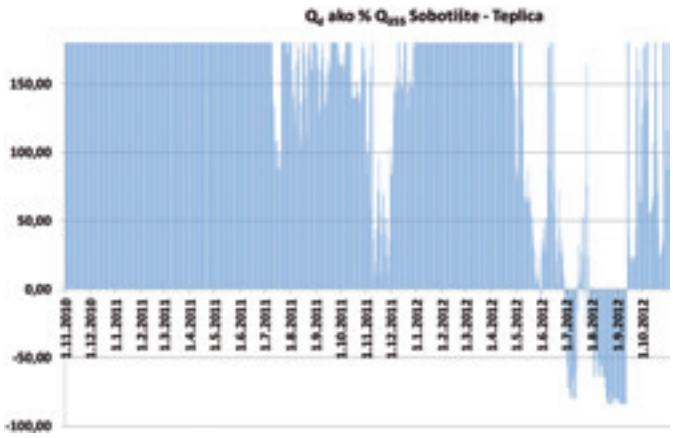
Obrázok 8. Q_d ako % Q_a Sobotište-Teplica v rokoch 2002–2003



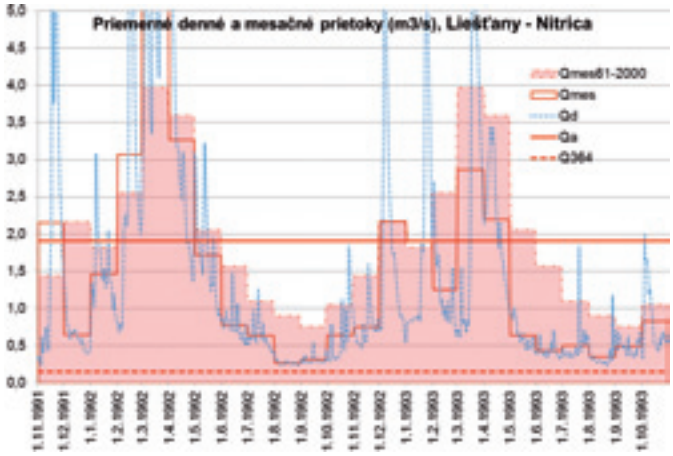
Obrázok 9. Q_d ako % Q_{355d} Sobotište-Teplica v rokoch 2002–2003



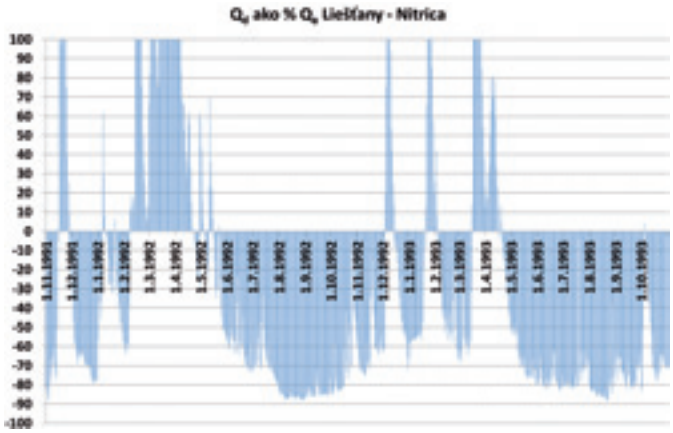
Obrázok 10. Hydrologický režim Sobotište-Teplica v rokoch 2011–2012



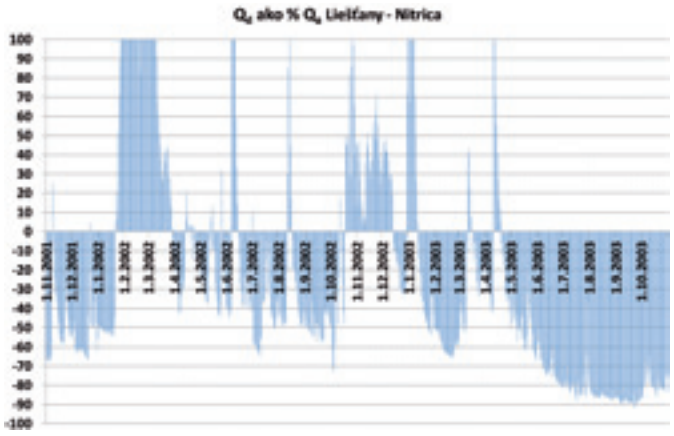
Obrázok 11. Q_d ako % Q_{355d} Sobotište-Teplica v rokoch 2011–2012



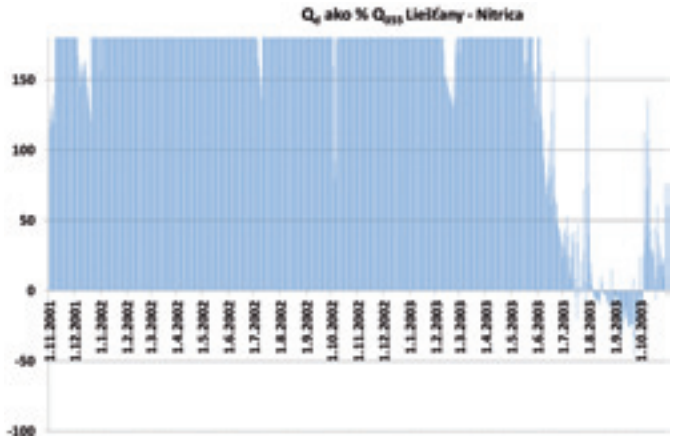
Obrázok 12. Hydrologický režim Liešťany-Nitrica v rokoch 1992–1993



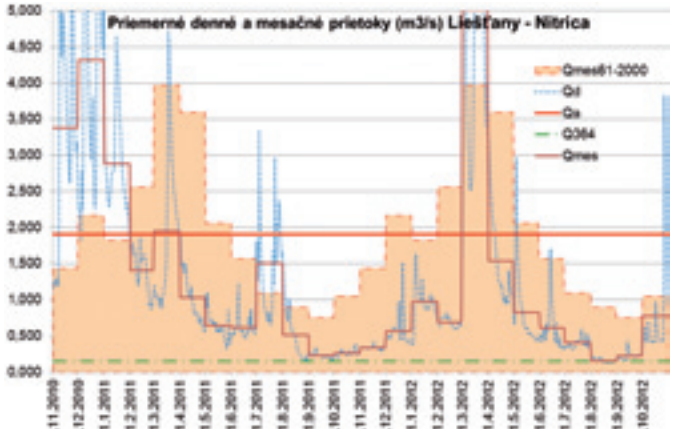
Obrázok 13. Q_d ako % Q_a Liešťany-Nitrica v rokoch 1992–1993



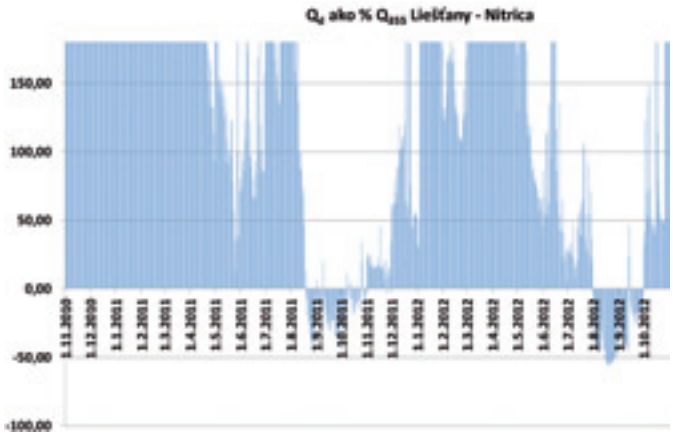
Obrázok 14. Q_d ako % Q_a Liešťany-Nitrica v rokoch 2002–2003



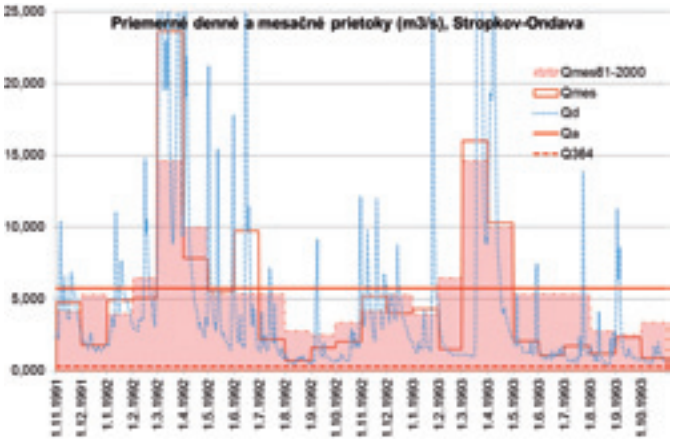
Obrázok 15. Q_d ako % Q_{355d} Liešťany-Nitrica v rokoch 2002–2003



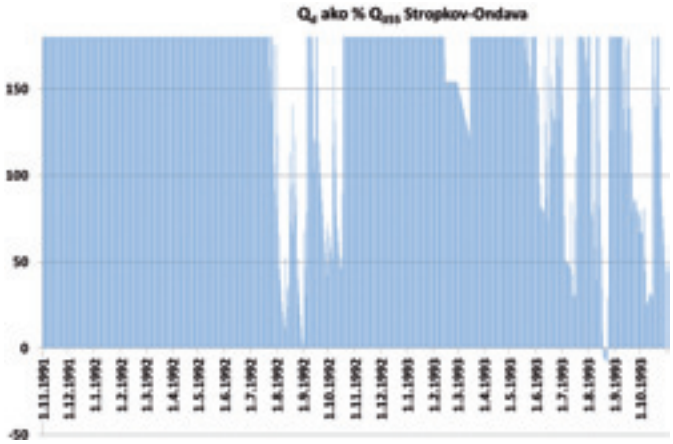
Obrázok 16. Hydrologický režim Liešťany-Nitrica v rokoch 2011–2012



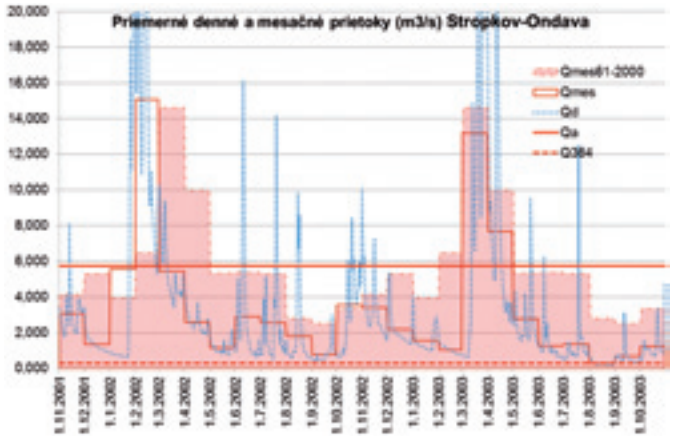
Obrázok 17. Q_d ako % Q_{355d} Liešťany-Nitrica v rokoch 2011–2012



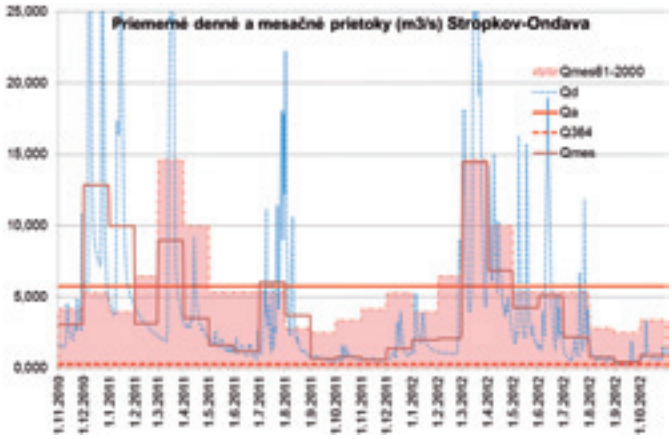
Obrázok 18. Hydrologický režim Stropkov-Ondava v rokoch 1992–1993



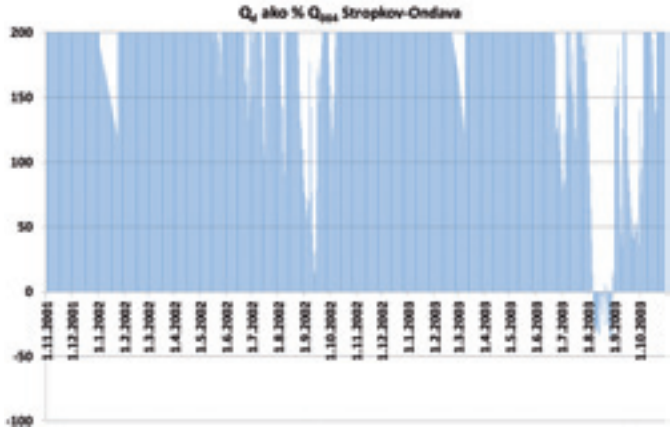
Obrázok 19. Q_d ako % Q_{355d} Stropkov-Ondava v rokoch 1992–1993



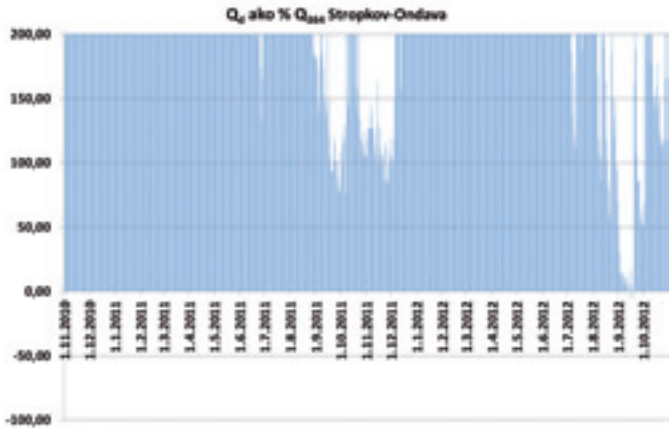
Obrázok 20. Hydrologický režim Stropkov-Ondava v rokoch 2002–2003



Obrázok 22. Hydrologický režim Stropkov-Ondava v rokoch 2011–2012



Obrázok 21. Q_d ako % Q_{364d} Stropkov-Ondava v rokoch 2002–2003



Obrázok 23. Q_d ako % Q_{364d} Stropkov-Ondava v rokoch 2011–2012

Legenda k tabuľkám:

	akumulácia		vodnosť < 40 % Q_{ma}		80 % Q_{ma} < vodnosť < 120 % Q_{ma}
	bez manipulácie		40 % Q_{ma} < vodnosť < 80 % Q_{ma}		vodnosť < 120 % Q_{ma}
	nadlepšovanie				

Tabuľka 2. Manipulácia na VN Kunov v roku 1993

2020Mo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	rok
N 1993	-0,096	-0,038	-0,542	-0,079	0,029	0,01	0,075	0,093	0,076	0,047	0,034	-0,092	-0,041
KVC 1993	30	19	63	37	25	42	28	69	38	49	30	63	40
KVE 1993	22	19	31	34	31	40	38	102	65	71	51	54	36
KVEN 1993	18	15	28	31	29	43	41	108	73	66	39	45	34
Odbery+MQ	0,059	0,056	0,057	0,056	0,088	0,129	0,114	0,097	0,127	0,09	0,058	0,061	0,083

Tabuľka 3. Manipulácia na VN Kunov v roku 2003

2020Mo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	rok
N 2003	0,004	0,019	-0,172	-0,037	0,015	0,146	0,136	0,19	0,15	0,066	0,005	-0,03	0,041
KVC 2003	274	78	60	52	53	17	21	21	32	54	34	28	70
KVE 2003	280	83	52	52	59	46	50	115	120	101	55	37	83
KVEN 2003	275	80	49	49	55	41	44	102	101	77	36	22	76
Odbery+MQ	0,103	0,105	0,103	0,107	0,11	0,107	0,105	0,107	0,097	0,063	0,054	0,052	0,093

Tabuľka 4. Manipulácia na VN Kunov v roku 2012

2020Mo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	rok
N 2012	-0,097	0,004	-0,03	-0,046	0,06	0,1	0,097	0,108	0,062	0,011	0	-0,056	0,018
KVC 2012	56	59	32	19	21	27	22	19	19	36	27	31	33
KVE 2012	52	65	34	20	34	52	47	85	70	55	39	31	43
KVEN 2012	44	60	30	15	28	43	39	65	48	39	27	20	36
Odbery+MQ	0,041	0,041	0,041	0,041	0,043	0,042	0,043	0,043	0,041	0,043	0,04	0,041	0,042

Tabuľka 5. Manipulácia na VN Nitrianske Rudno v roku 1993

6040No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	rok
N 2012	-0,041	0,019	-0,019	0,012	0,097	0,338	-0,01	-0,03	-0,233	-0,07	0,267	-0,364	-0,004
KVC 1993	111	44	72	62	31	27	64	83	130	85	37	127	70
KVE 1993	74	21	56	47	9	11	14	18	23	36	16	86	40
KVEN 1993	109	45	72	62	36	49	63	80	99	79	52	112	70
Odbery+MQ	0,804	0,818	0,783	0,716	0,693	0,751	0,793	0,826	0,745	0,636	0,811	0,782	0,763

Tabuľka 6. Manipulácia na VN Nitrianske Rudno v roku 2003

6040No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	rok
N 2003	0,037	0,009	-0,011	0,009	0,011	0,189	0,295	0,348	0,058	-0,02	-0,01	-0,151	0,064
KVC 2003	208	38	57	69	57	39	31	26	59	57	33	29	60
KVE 2003	186	22	47	60	36	20	17	17	16	15	8	5	42
KVEN 2003	210	38	57	70	58	52	55	60	67	55	32	23	64
Odbery+MQ	0,613	0,605	0,583	0,521	0,580	0,658	0,647	0,617	0,552	0,607	0,603	0,583	0,598

Tabuľka 7. Manipulácia na VN Nitrianske Rudno v roku 2012

6040No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	rok
N 2012	-0562	-0,042	0,003	0,026	0,014	0	0,03	0,316	0,226	-0,34	-0,24	-0,003	-0,048
KVC 2012	48	24	112	38	36	35	34	16	27	67	75	32	52
KVE 2012	6	10	106	31	23	18	9	11	13	11	40	19	34
KVEN 2012	21	23	112	39	37	35	36	47	54	38	60	32	49
Odbery+MQ	0,478	0,532	0,461	0,482	0,480	0,475	0,498	0,537	0,518	0,483	0,493	0,498	0,494

Tabuľka 8. Manipulácia na VN Domaša v roku 1993

456BQ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	rok
N 1993	0,627	3,307	-14,934	-3,696	3,566	4,375	3,181	3,797	2,774	3,917	4,734	-1,919	0,777
KVC 1993	91	20	110	99	43	18	24	25	66	29	29	105	65
KVE 1993	93	41	45	77	72	60	51	71	109	87	83	73	67
KVEN 1993	99	46	47	78	82	71	59	83	123	97	89	85	73
Odbery+MQ (m3.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	1,607

Tabuľka 9. Manipulácia na VN Domaša v roku 2003

456BQ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	rok
N 2003	3,156	3,738	-13,546	-4,812	0,652	3,902	3,249	4,36	3,738	3,242	2,106	2,472	0,997
KVC 2003	47	19	100	78	70	34	26	9	28	37	33	32	53
KVE 2003	89	48	44	52	77	82	62	76	107	94	59	59	63
KVEN 2003	90	48	43	51	77	81	61	75	106	93	59	59	63
Odbery+MQ	1,028	1,013	0,944	0,946	0,913	0,96	0,95	0,929	0,92	0,918	0,947	0,914	0,948

Tabuľka 10. Manipulácia na VN Domaša v roku 2012

6040No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	rok
N 2012	-0,562	-0,042	0,003	0,026	0,014	0	0,03	0,316	0,226	0,34	-0,24	-0,003	-0,048
KVC 2012	48	24	112	38	36	35	34	16	27	67	75	32	52
KVE 2012	6	10	106	31	23	18	9	11	13	11	40	19	34
KVEN 2012	21	23	112	39	37	35	36	47	54	38	60	32	49
Odbery+MQ	0,478	0,532	0,461	0,482	0,480	0,475	0,498	0,537	0,518	0,483	0,493	0,498	0,494

Manipuláciou na VN sa zabezpečili všetky požiadavky na vodu, pričom priemerná vodnosť jednotlivých mesiacov pod VN (KVE), aj napriek nepriaznivej hydrologickej situácii v povodí nad VN Kunov, do konca hydrologického roka neklesla pod 40 %.

c) Rok 2012

Hydrologická situácia v roku 2012 bola ešte horšia ako roku 1993. Priemerné denné prietoky v Sobotišti prekročili dlhodobý priemer (Q_a) iba v januári a februári, a aj to iba ojedinele (Obrázok 10.). Priemerné mesačné prietoky počas celého roka boli menšie ako dlhodobé hodnoty. Priemerné denné prietoky v júli a potom súvisle v auguste až do polovice septembra podkročili Q_{355d} (Obrázok 11). Priemerná prirodzená kapacita (KVC) od marca až do konca roka bola menšia ako 40 % dlhodobých Q_{ma}, v auguste a septembri dokonca menšia ako 20 %.

Rozdielom oproti roku 1993 a 2003 boli výrazne nižšie požiadavky na vodu spôsobené zrušením niektorých odberov. V každom prípade manipulácia nádrže zlepšila hydrologickú situáciu pod vodnou nádržou.

VN Nitrianske Rudno

a) Rok 1993

Na Nitrici v Liešťanoch boli priemerné denné prietoky počas roka 1992 od tretej dekády mája po začiatok decembra menšie než hodnoty Q_a. Táto situácia pokračovala až do polovice marca roku 1993, kedy došlo k prerušeniu iba dvakrát krátkodobým nárastom priemerných denných prietokov. Zhruba od druhej dekády apríla 1993 klesli hodnoty priemerných denných prietokov až do polovice decembra 1993 znova pod hodnotu Q_a (Obrázok 12). Počas týchto dvoch rokov došlo k podkročeniu Q_{355d} počas 50 dní, z čoho 37 dní bolo v roku 1992 a 13 dní v roku 1993 (Obrázok 13).

Požiadavky na vodu v profile VN Nitrianske Rudno predstavovali v priemere až 0,763 $m^3.s^{-1}$, čo je vysoká hodnota najmä v období, keď vodnosť povodia nad VN bola dlhodobo pod dlhodobým priemerom (Obrázok 13). Práve manipulácia na VN Nitrianske Rudno a naakumulovaný objem vo VN v predchádzajúcom období umožnili v tomto hydrologicky nepriaznivom čase zabezpečiť požiadavky na vodu a zároveň zlepšiť hydrologickú situáciu v povodí pod VN.

b) Rok 2003

Hodnoty priemerných denných prietokov menších než $Q_{a1961-2000}$ sa na Nitrici nad VN Nitrianske Rudno v roku 2003 vyskytli od 12. januára a trvali až do konca roka okrem dvoch krátkych prerušení v mesiacoch marec a apríl (Obrázok 14). Hodnoty priemerných mesačných prietokov boli menšie než dlhodobé hodnoty v roku 2002 len počas troch mesiacov (marec, apríl, máj), kým v roku 2003 toto obdobie trvalo od februára až do konca roka bez prerušenia.

Hodnota Q_{355d} bola podkročená počas 59 dní (Obrázok 15), k podkročeniu Q_{364d} nedošlo.

Hydrologická situácia bola výrazne horšia pre činnosť nádrže, lebo trvala v podstate už od apríla 2002. Prirodzená vodnosť povodia nad VN bola dlhodobo pod dlhodobým priemerom (Obrázok 14) a pre činnosť VN nepriaznivejšie rozdelená v roku ako v roku 1993. Počas tohto obdobia nebolo veľa priestoru pre výraznú akumuláciu prietokov. Požiadavky na vodu v profile VN Nitrianske Rudno boli nižšie ako v roku 1993 a predstavovali v priemere 0,598 $m^3.s^{-1}$. Napriek týmto skutočnostiam sa manipuláciou nezhoršila aj tak už nepriaznivá hydrologická situácia pod VN a zabezpečili sa aj požiadavky na vodu. Všetky tieto skutočnosti spôsobili, že záverom roka objem vody v nádrži už nestačil na nadlepšovanie hydrologickej situácie pod VN a VN vypúšťala iba minimálny povolený prietok pod vodnou nádržou.

c) Rok 2012

Výskyt sucha v roku 2012 je podmienený vývojom hydrologického režimu v predchádzajúcom roku, 2011. Priemerné mesačné prietoky na Nitrici boli počas hodnotených dvoch rokov okrem troch mesiacov (január a júl 2011, marec 2012) výrazne menšie ako ich dlhodobé hodnoty. Priemerné denné prietoky menšie než $Q_{a1961-2000}$ boli zaznamenané na Nitrici v období od februára 2011 s jedným prerušením v marci až do júla a následne od augusta 2011 nepretržite do marca 2012. Po odznení jarného odtoku v roku 2012 hodnoty Q_d klesli pod úroveň $Q_{a1961-2000}$ počas celého letno-jesenného obdobia (Obrázok 16). Táto situácia trvala až do decembra. Prietoky menšie než Q_{355d} sa vyskytli v oboch rokoch počas augusta a septembra (Obrázok 17), dokonca v auguste 2012 na dobu 13 dní došlo k podkročeniu Q_{364d}.

Požiadavky na vodu v profile VN Nitrianske Rudno boli najnižšie z hodnotených rokov a predstavovali v priemere 0,494 $m^3.s^{-1}$. Priemerná prirodzená vodnosť povodia nad VN bola dlhodobo pod dlhodobým priemerom (KVC), ale v jarnom období, v mesiaci marec, zvýšená vodnosť umožnila naplniť VN Nitrianske Rudno, čo umožnilo v následnom nepriaznivom období mierne nadlepšiť prietoky (KVEN) pod VN a zabezpečiť požiadavky na vodu.

VN Domaša

a) Rok 1993

V období od mája do septembra 1993 boli prietoky na Ondave výrazne nižšie ako dlhodobé priemery.

Kritické mesiace boli jún a najmä august, kedy v období 19. 8.–23. 8. 1993 prietoky podkročili Q_{355d}, 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 $m^3.s^{-1}$ a v auguste 1,764 $m^3.s^{-1}$, pričom prirodzená kapacita toku predstavovala iba 18 % Q_{VIa}. 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 (KVE, KVEN).

b) Rok 2003

Obdobie marec až september 2002 bolo z hľadiska mesačných vodností výrazne pod dlhodobými priemermi, 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 (KVC) do konca roka bola menšia ako 40 %. Táto hydrologická situácia bola horšia ako v roku 1993. Kritickým bol mesiac august, kedy v období 7.8. až 29.8. boli prietoky nepretržite (okrem dvoch dní) menšie ako 364-denný prietok, čo znamenalo veľmi nepriaznivú situáciu pre prítok do VN Domaša.

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 $m^3.s^{-1}$, 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 (KVE, KVEN).

c) Rok 2012

V období apríl 2011 až február 2012 bola mesačná vodnosť takmer nepretržite výrazne pod dlhodobými priemermi. Po jarnom odtoku, ktorý bol v roku 2012 tiež nižší ako dlhodobý priemer, podpriemerné obdobie pokračovalo od konca leta až do konca roku 2012 (Obrázok 22).

Najkritickejším obdobím boli mesiace august a september, kedy 21.–22. 8. 2012 boli prietoky nižšie ako Q_{355d} a 1. 9.–19. 9. 2012 boli prietoky nižšie ako Q_{364d} (Obrázok 23), čo znamenalo veľmi nepriaznivú situáciu pre prítok do VN Domaša, ktorá sa v tomto období výrazne vyprázdňovala.

Hydrologická situácia bola horšia ako v roku 2003, lebo chýbal jarný odtok potrebný na dostatočnú akumuláciu prietokov vo VN Domaša. Nasledujúci trvalý malý prítok do nádrže spôsobil ďalšiu nízku akumuláciu prietokov, dokonca v júni sa na nádrži nemanipulovalo vôbec. Zabezpečenie vysokých požiadaviek na vodu, ktoré boli na Ondave v profile nad Topľou v roku 2012 síce nižšie ako v roku 1993, resp. 2002, bolo na úkor zhoršovania hydrologickej situácie vo VN a pod VN v júli až na úroveň zaručených prietokov pod VN. V tomto období bolo výrazne obmedzené jej využitie na rekreačné účely.

Záver

Sucho, boj o vodu, snaha o zachovanie kvality vody sú globálne problémy ovplyvňujúce svet; sú to problémy, ktoré spôsobujú svetové ekonomické výkyvy, problémy podporujúce celosvetovú migráciu obyvateľstva, problémy potravinovej dostatočnosti, problémy ťažko kontrolovateľných požiarov. Voda je strategickou surovinou nenahraditeľnou ako pre život, tak aj pre ekonomiku. V súvislosti s klimatickou zmenou a zvyšujúcimi sa nárokmi obyvateľstva i priemyslu sa jej nedostatok stáva kľúčovým problémom nielen rozvojových, ale aj mnohých rozvinutých štátov.

A čo s tým? To je otázka nielen pre vodohospodárov.

Vodné toky na Slovensku majú variabilný hydrologický režim, s relatívne častým výskytom extrémnych prietokov, a to aj 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 prívalové povodne. Na Slovensku sú suchom najviac ohrozené nížinné regióny s intenzívnym poľnohospodárstvom. V ostatnom období sa vyskytli extrémne suché obdobia, ktoré spôsobili nemalé problémy v zabezpečení potrieb vody. 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. V poslednom období sa sucho na Slovensku stáva významným negatívnym fenoménom. Významný prínos vodných nádrží aj v súčasnosti ukázali výsledky zhodnotenia rokov 1993, 2003 a 2012 na vybraných 3 nádržiach. Bez uvedených vodných nádrží by nebolo možné zabezpečiť požiadavky na vodu a hydrologická situácia v povodiach by bola horšia.

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.

Literatura

[1] ABAFFY, D. *Priehrady a nádrže na Slovensku. Bratislava*. Alfa, 1991. ISBN 80-05-00926-7.

[2] DANÁČOVÁ, Z., ŠIMOR, V., BLAŠKOVIČOVÁ, L., ŠKODA, P., POÓROVÁ, J. *River flow assessment, Chapter 3.3, Slovak case study report.* Integrated Drought Management Programme, Activity 2.1: Guidelines for Drought Management Plan, p. 67–85, 2014, GWP CEE.

[3] DANÁČOVÁ, Z., BLAŠKOVIČOVÁ, L., LOVÁSOVÁ, Ľ., POÓROVÁ, J., ŠIMOR, V, ŠKODA, P. *Hydrologické extrémy: modelovanie a predpovedanie.* Acta hydrologica Slovaca, Ročník 16, Tematické číslo, 2015, s. 13–22.

[4] Hydrologická ročenka, časť Povrchové vody za roky: 1992, 1993, 2002, 2003, 2011, 2012. Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava.

[5] Vodohospodárska bilancia SR: Kvantitatívna vodohospodárska bilancia množstva povrchových vôd za roky 1992, 1993, 2002, 2003, 2011, 2012. Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava.

RYBNÍKY JAKO HMWB – JAK PŘISTOUPIT K HODNOCENÍ JEJICH EKOLOGICKÉHO POTENCIÁLU?

Jan Potužák[1], **Jindřich Duras**[2], **Michal Marcel**[2]

[1]*Povodí Vltavy, státní podnik, Emila Pittera 1, 370 01 České Budějovice, jan.potuzak@pvl.cz*
[2]*Povodí Vltavy, státní podnik, Denisovo nábřeží 14, 304 20 Plzeň, jindrich.duras@pvl.cz*

Abstrakt

Rybníky jsou nejčastějším typem stojatých vod v ČR. Dle Rámcové směrnice o vodách (2000/60/ES) jsou rybníky řazeny do kategorie silně ovlivněných vodních útvarů (HMWB). Z pohledu české legislativy by pro hodnocení jejich ekologického potenciálu měla být využívána platná metodika MŽP pro silně ovlivněné a umělé vodní útvary – kategorie jezero. Na základě našeho několikaletého podrobného monitoringu rybničních lokalit v povodí Horní Vltavy je však zřejmé, že na rybníky nebude možné uplat**ňovat běžně využívané postupy** založené na posouzení stavu vybraných složek vodního prostředí (fytoplanktonu, makrofyta a ryb) pomocí různých typů indexů. Tento příspěvek má naznačit nový přístup hodnocení, který je založený na posouzení tzv. ekosystémových služeb rybníků. Ty zahrnují například retenci a recyklace živin (zejména pak fosforu a dusíku) na úrovni mikropovodí, retenci vody v krajině, pozitivní vliv na mikroklima, podporu biodiverzity aj.

Klíčová slova: *Rámcová směrnice o vodách; HMWB; ekologický potenciál; rybníky.*

Abstract

Fishponds are the most common type of stagnant water bodies in the Czech Republic. Under the Water framework directive (2000/60/EC) fishponds are classified as heavily modified water bodies (HMWB). Ratified methodology of Ministry of environment of heavily modified and artificial water bodies – category lake, could be used for evaluation of fish ponds ecological potential in the Czech republic. Common procedures used for evaluation of the ecological potential are based on assessment of status of various chemical and biological metrics (e.g. phytoplankton, macrophytes and fish). However, our long term monitoring of fish ponds in the Upper Vltava river basin shows, that these approach cannot be successfully applied on fishery managed ponds. The main aim of the presentation is to implicate a new possible method of fish ponds ecological potential evaluation which is based on estimation of their ecosystem services. There is for example retention and recycling of nutrients (esp. phosphorus) in small river basins, water retention in the landscape, influence on microclimate and biodiversity support.

Keywords: *Water framework directive; HMWB; ecological potential; fishponds.*

Evropská Rámcová směrnice o vodách [1] vyžaduje od členských států EU zlepšovat stav vodního prostředí tak, aby bylo dosaženo dobrého ekologického stavu (DES). Takové vodní útvary „vykazují mírnou úroveň narušení vzniklého lidskou činností". Toto vymezení DES znamená mnoho potíží už při snaze o nápravu přírodních vodních útvarů, natož pak u vodních útvarů, které už jako silně pozměněné lidskou činností vznikly (heavily modified water bodies – HMWB), tedy přehradní nádrže a rybníky. Proto v případě HMWB hovoříme o ekologickém potenciálu a chceme tedy dosáhnout dobrého ekologického potenciálu (DEP).

Pro vodní útvary stojatých vod, které v ČR všechny patří do kategorie HMWB (nebo dokonce mezi vodní útvary umělé – např. zatopený důl Barbora) už sice máme k dispozici metodiku hodnocení [2], ovšem jakkoli se tato metodika zdá být dobře použitelná pro přehradní nádrže, pro rybníky ale využitelná není.

Počet rybníků v ČR se odhaduje na více než 24 000 (s rozlohou větší než 1 ha). Z tohoto počtu bylo pouze 19 rybníků uznáno jako samostatné vodní útvary (12 z nich se nachází v povodí Vltavy).

Rybníky se oproti ostatním vodním útvarům z „kategorie jezero" vyznačují řadou specifik. Jedná se o řízené a relativně intenzivně obhospodařované vodní ekosystémy, z nichž naprostá většina je v rukách různých hospodářských subjektů. Hlavní znaky, které rybníky odlišují od ostatních HMWB stojatých vod jsou následující:

- rybí obsádka je založena často na dominanci jednoho druhu a její hustota je podstatně vyšší, než by odpovídalo přirozeným poměrům [3], což zásadním způsobem ovlivňuje další chování ekosystému;
- kromě vstupu látek (fosforu) z povodí dochází ještě k významnému vstupu z hospodářské činnosti (krmivo, hnojení), který se může plně vyrovnat vstupu z povodí [4, 5];
- na chovných rybnících (většina) se hospodaří v jednoletém (jednohorkovém) nebo dvouletém (dvouhorkovém) cyklu, který je zakončen výlovem, během něhož dochází mimo jiné k úniku živinami bohatých sedimentů do vodních útvarů ležících níže a který je bodem „resetování" rybí obsádky (diskontinuita vývoje);
- v rybničních ekosystémech zdomácněly zavlečené invazní druhy organismů, z nichž pro chování rybníků jako celku mají zásadní význam např. dva druhy ryb: střevlička východní (Pseudorasbora parva) a karas stříbřitý (Carassius auratus).

Vlivem uvedených faktorů a také v důsledku vysokého vstupu živin z povodí je dnes drtivá většina rybníků silně eutrofních až hypertrofních, zatímco rybníky slabě eutrofní nebo dokonce mezotrofní jsou velkou vzácností [6].

Na druhou stranu rybníky, ačkoli byly z velké části původně stavěny pro chov ryb, poskytují sérii dalších benefitů pro obyvatele buď přímo, nebo prostřednictvím zlepšování poměrů v krajině [7]. Jedná se zejména o:

- pozitivní vliv na režim podzemních vod – při dlouhodobém vypuštění rybníka mizí voda ve studních v jeho okolí;
- přínos pro mikroklima – spolu s doprovodnou zelenou infrastrukturou a skrze evapotranspiraci dochází ke klimatizaci krajiny;
- obrovský potenciál samočistících procesů, které se uplatňují i na organické mikrokontaminanty [8, 9], s jejichž všudypřítomností si jinak zatím nevíme rady;
- schopnost efektivně zadržovat sloučeniny fosforu (také dusíku) je důležitá pro modulaci látkových toků v povodích (tedy i pro zvládání eutrofizace jako takové), přičemž zároveň se nabízí také dosud zcela nedoceněná možnost recyklace živin a uzavírání látkového koloběhu v krajině;
- široké spektrum rekreačních aktivit;
- potenciál k podpoře biodiverzity v širokém slova smyslu.

Máme za to, že při hodnocení ekologického potenciálu rybníků bychom měli umět přihlížet právě k tomu, jak jsou plněny potenciální přínosy fyzicky přesahující rybník samotný, či jak vážně se projevují vlivy negativní: export bahna při výlovech, vlivy na hydromorfologii (a ekologický stav obecně) navazujících vodních útvarů. To považujeme za velkou výzvu.

Diskusi o přístupech k ekologickému potenciálu rybníků považujeme za vrcholně potřebnou, protože příprava vyhlášky o hospodaření na rybnících byla zastavena bez „politické vůle“ v ní pokračovat. Tím také logicky ustal dialog mezi rybářskými subjekty a „čistotáři“ a rybníky se aktuálně nacházejí v jakémsi ideovém a koncepčním vakuu. Jsme přesvědčeni, že nešťastně přerušený proces, kdy širší odborná veřejnost hledala konsensus v přístupu k rybníkům, je třeba obnovit.

Literatura

[1] Směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady ustanovující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky.

[2] BOROVEC, J., HEJZLAR, J., ZNACHOR, P., NEDOMA, J., ČTVRTLÍKOVÁ, M., BLABOLIL, P., ŘÍHA, M., KUBEČKA, J., RICARD, D., MATĚNA, J. (2014): *Metodika pro hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých vodních útvarů – kategorie jezero.* Certifikovaná metodika Ministerstvem životního prostředí České republiky 1828/ENV/15. Biologické centrum AV ČR, v.v.i., Hydrobiologický ústav, České Budějovice.

[3] ADÁMEK, Z., LINHART, O., KRATOCHVÍL, M., FLAJŠHANS, M., RANDÁK, T., POLICAR, T., MASOJÍDEK, J., KOZÁK, P. (2012): *Aquaculture in the Czech Republic in 2012: modern European prosperous sector based on thousand-year history of pond culture.* Aquacult Eur 37(2): 5–14.

[4] POTUŽÁK, J., DURAS, J. (2015): *Retence živin v rybnících – význam, hodnocení a možnosti jejího využití.* Vodní hospodářství 65(7): 7–15.

[5] POTUŽÁK, J.; DURAS, J.; DROZD (2016): *Mass balance of fishponds: are they sources or sinks of phosphorus?* Aquaculture International. 24(6): 1725–1745. DOI 10.1007/s10499-016-0071-4.

[6] DURAS, J., POTUŽÁK, J., MARCEL, M., PECHAR, L. (2015): *Rybníky a jakost vody.* Vodní hospodářství 65(7): 16–24.

[7] POTUŽÁK, J., DURAS, J. (2015): *Ecosystem services of fishponds – retention of nutrients and micropollutants.* Abstract Book, SEFS – Symposium for European Freshwater Sciences, July 5–10, 2015, Geneva, Switzerland, 526.

[8] DURAS J., POTUŽÁK J. (2016): *Rybníky a xenobiotika.* Sborník příspěvků odborné konference Rybníky – naše dědictví i bohatství pro budoucnost, ČSKI, Praze, 23.–24. června, 2016, 89–100, ISBN: 978-80-01-05978-4.

[9] DURAS J., POTUŽÁK J. (2016): *Is a fishpond able to retain modern pollutants from our settlement effectively?* Magdeburský seminář o ochraně vod 2016, 6.–7. října 2016, IKSE/MKOL, Dresden, 103–106.

MONITORING RYBNIČNÍCH SEDIMENTŮ V LETECH 2011–2017

Jana Šulcová✉, Marek Baxa, Lenka Kröpfelová, Iva Baxová Chmelová

ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň, tel. +420 724 154 829, sulcova@enki.cz
ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň, tel. +420 776 616 104, marek.baxa@prirodou.cz
ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň, tel. +420 724 154 828, kropfelova@enki.cz
ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň, tel. +420 602 148 868, iva.chmelova@atlas.cz

Abstrakt

Příspěvek předkládá výsledky z dlouholetých řad odběru vzorků, zejména rybničních, sedimentů a přináší návod na jeho zacházení. Vzorkování probíhá od roku 2011 na území celé ČR jako zakázková činnost. V současné době čítá výsledková databáze přibližně 170 lokalit. Analýzy jsou zaměřeny hlavně na toxické kovy a aromatické uhlovodíky. Naměřené hodnoty jsou konfrontovány s platnou legislativou a s historickými daty z let 1997–2002, získanými od Doc. Gergela (cca 400 lokalit). Výsledky ukazují, že limitní hodnoty dané legislativou, překračuje malé procento vzorkovaných lokalit. Tzn., že většina rybničních sedimentů (cca 90 %) splňuje limity pro uložení na ostatní plochu či zemědělskou půdu.

Klíčová slova: *rybník; sediment; toxické kovy; uhlovodíky.*

Abstract

The paper presents the results of long term fishpond sediment analyses and provides instructions for their effective use.

Sampling is realized since 2011 as a custom activity in the whole area of the Czech Republic. At present, the database with sampling results, takes approximately 170 locations. The analyses are mainly focused on toxic metals and aromatic hydrocarbons. The measured values are compared with the valid legislation and historical data from 1997–2002, obtained from ass. prof. Gergel (about 400 localities). The results show that the limit values, given by the legislation, are exceeded only by the small percentage of sampling sites. I.e. most fishpond sediments (about 90 %) meet the limits for their storage on other areas or on agricultural land.

Keywords: *pond; sediment; toxic metal; hydrocarbon.*

Úvod

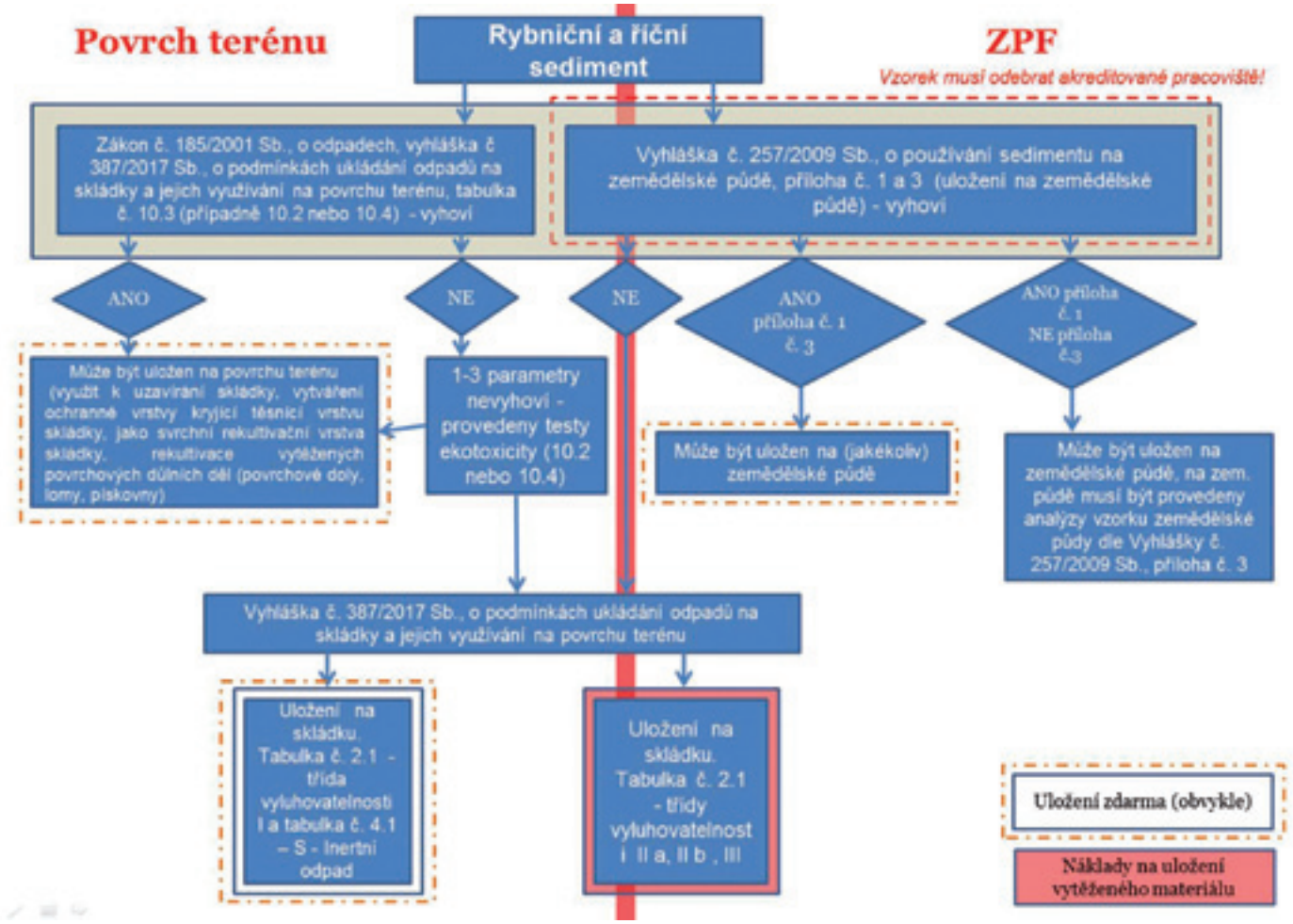
Zanášení nádrží, vytváření a ukládání sedimentů v nich je důsledkem přirozených erozních a transportních procesů, které probíhají v povodí nádrží. Působením dešťových srážek a následného povrchového odtoku dochází v povodí k uvolňování a pohybu půdních částic. Současně se dávají do pohybu látky, které jsou vázány na povrchu půdních částic, nebo které jsou vymývány z povrchu půdy přímo do povrchového odtoku. Pohyb pevných a rozpuštěných látek z místa vzniku do hydrografické sítě je složitým transportním procesem, který je proměnný v prostorovém i časovém měřítku. Intenzita zanášení je dána parametry a hydraulickou funkcí nádrže. Jde o přirozený děj, který je urychlován antropogenními zásahy do krajiny. Nevhodné hospodaření v povodí způsobuje nadměrnou erozi, pronikání a usazování rizikových prvků a rizikových látek v rybnících a v tocích. Vzniklý usazený materiál může mít povahu štěrkopísků a písků (v proudných úsecích toků) nebo až jílovito-hlinitých až jílovitých usazenin v rybnících. Rybniční a říční sediment většinou svým charakterem odpovídá charakteru zemědělské půdy v povodí. Surový sediment je značně zvodnělý – 60–80 % a může obsahovat i cizorodé látky v závislosti na průmyslové výrobě v povodí.

Sedimenty ovlivňují nepříznivě funkci všech prvků hydrografické sítě. Usazeniny v korytech toků vytvářejí překážky proudící vodě, jejichž důsledkem je zanášení drenážních výpustí, zmenšují prostor nádrží a tím se snižuje akumulace vody v území, dochází ke snížení doby zdržení, a tím ke zkrácení veškerých procesů probíhajících ve vodě (rychlejší oběh živin, šíření znečištění ve vodním prostředí). Při poklesu vody v nádrži (např. období sucha) se obnažují velké plochy dna s usazeným sedimentem, který na vzduchu rychle mineralizuje a práší a po opětovném zatopení významně eutrofizuje vodní prostředí. Z hlediska kvalitativního představují sedimenty obrovskou zásobu živin, které se mohou kdykoliv nekontrolovatelně vrátit do vodního prostředí. Tato živinná banka v usazeninách udržuje permanentně stav vysoké trofie rybniční vody, vyjádřený dynamickým rozvojem organické hmoty. Dále dochází velmi rychle ke snížení hloubky vody pod 60–40 cm, což je hranice, při které je rychlost nárůstu tvrdé vodní vegetace pro zazemnění nádrže kritická. Tím dochází k významnému nepoměru mezi katastrální a skutečnou plochou rybníků. V neposlední řadě se mění biologická hodnota rybníků, nárůst organické hmoty vede k rychlému vymělčování litorálního pásu, nastává dynamický rozvoj „tvrdé" vodní vegetace, z litorálního pásu se stává unifikovaný biotop s porosty zblochanu, skřípiny, kopřivy dvoudomé a chrastice s omezenými stanovištními podmínkami pro řadu živočišných druhů. V rybnících v ČR je uloženo cca 197 mil. m^3 hmoty (Gergel et. al[1]). O tento objem je snížena jejich akumulační schopnost a současně klesá i retenční účinnost v protipovodňové ochraně. Hmota sedimentů představuje trvalou zátěž pro rybniční ekosystém a vodohospodářskou soustavu jako celek.

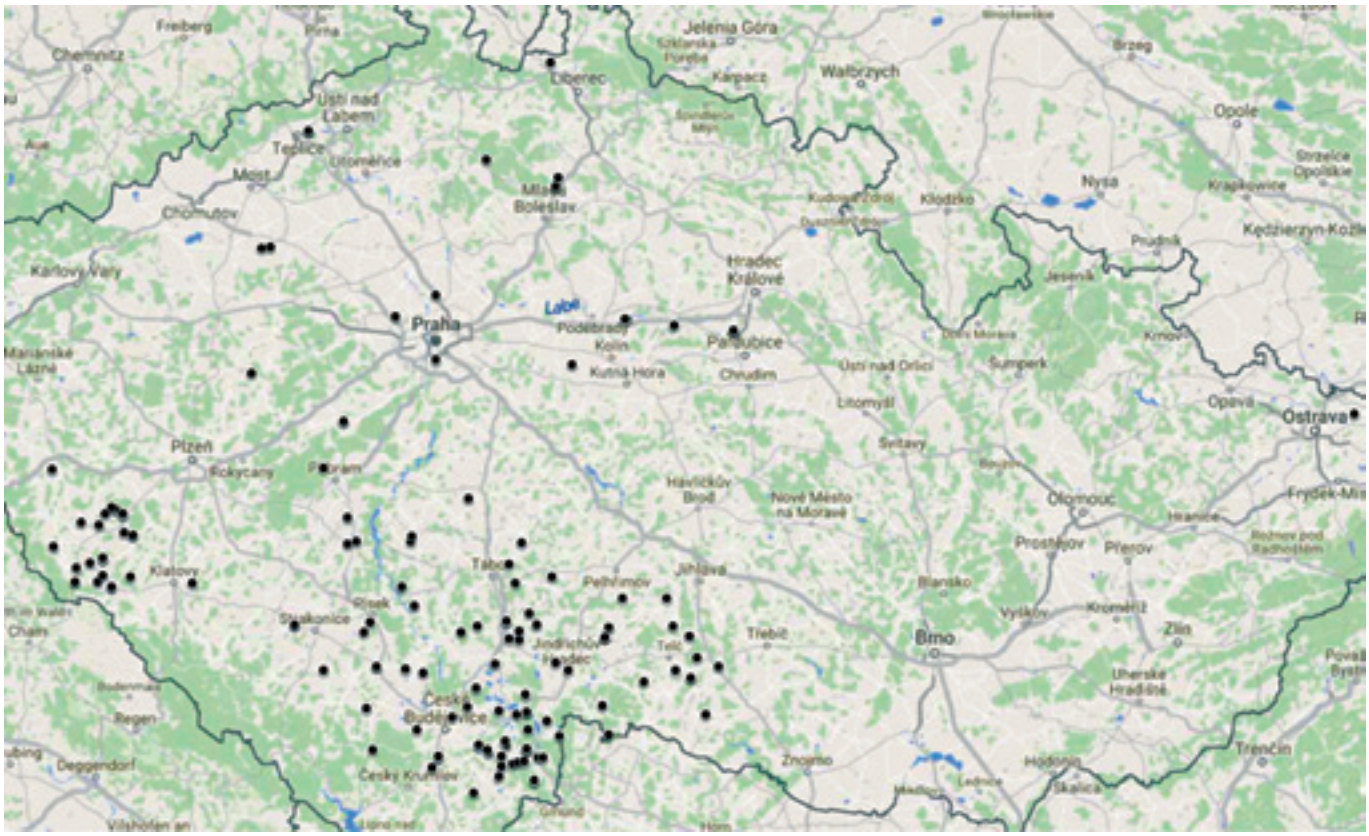
Legislativní rámec

Na rybniční a říční sedimenty je v současné době (z hlediska legislativy) pohlíženo jako na odpad. Vytěžený sediment je možno ukládat na povrchu terénu dle zákona č. 185/2001 Sb.[2], o odpadech ve znění pozdějších předpisů, vyhlášky č. 387/2016Sb.[2], o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu. Druhou možností uložení vytěženého materiálu je jeho využití na zemědělském půdním fondu a to dle zákona č. 156/1998 Sb.[2], o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), ve znění pozdějších předpisů, vyhlášky č. 257/2009 Sb.[2], o používání sedimentů na zemědělské půdě. Třetí možností využití sedimentů je jeho použití jako vstupní suroviny do kompostů dle ČSN 46 5735[3]. Schéma nakládání s vytěženým sedimentem je uvedeno na obrázku č. 1.

Rozhodujícím ukazatelem pro možnost využití sedimentů je míra jejich kontaminace rizikovými prvky a organickými polutanty.



Obrázek 1. Diagram nakládání s vytěženým sedimentem



Obrázek 2. Lokality odebrané v letech 2011–2017

Tabulka 1. Výčet sledovaných parametrů

Kovy	Organické sloučeniny	Fyz.-chem.	Testy toxicity
Zn	AOX	pH	Desmodesmus subspicatus I.
Ni	Uhl C10-C40	ZŽ (550)	Desmodesmus subspicatus II.
Pb	trichlorethylen	N celk.	Daphnia magna I.
As	tetrachlorethylen	NH_4-N	Daphnia magna II.
Cu	BTEX	NO_3-N	Poecilia reticulata I.
Hg	PAU	NO_2-N	Poecilia reticulata II.
Cd	PCB	Ca	Sinapis alba I.
V	DDT	Mg	Sinapis alba II.
Co		K	
Ba		P celk.	
Be		TC	
Cr		IC	
		TOC	
		Obsah popela	

Tabulka 2. Základní statistika toxických kovů v sedimentech z let 2011–2017

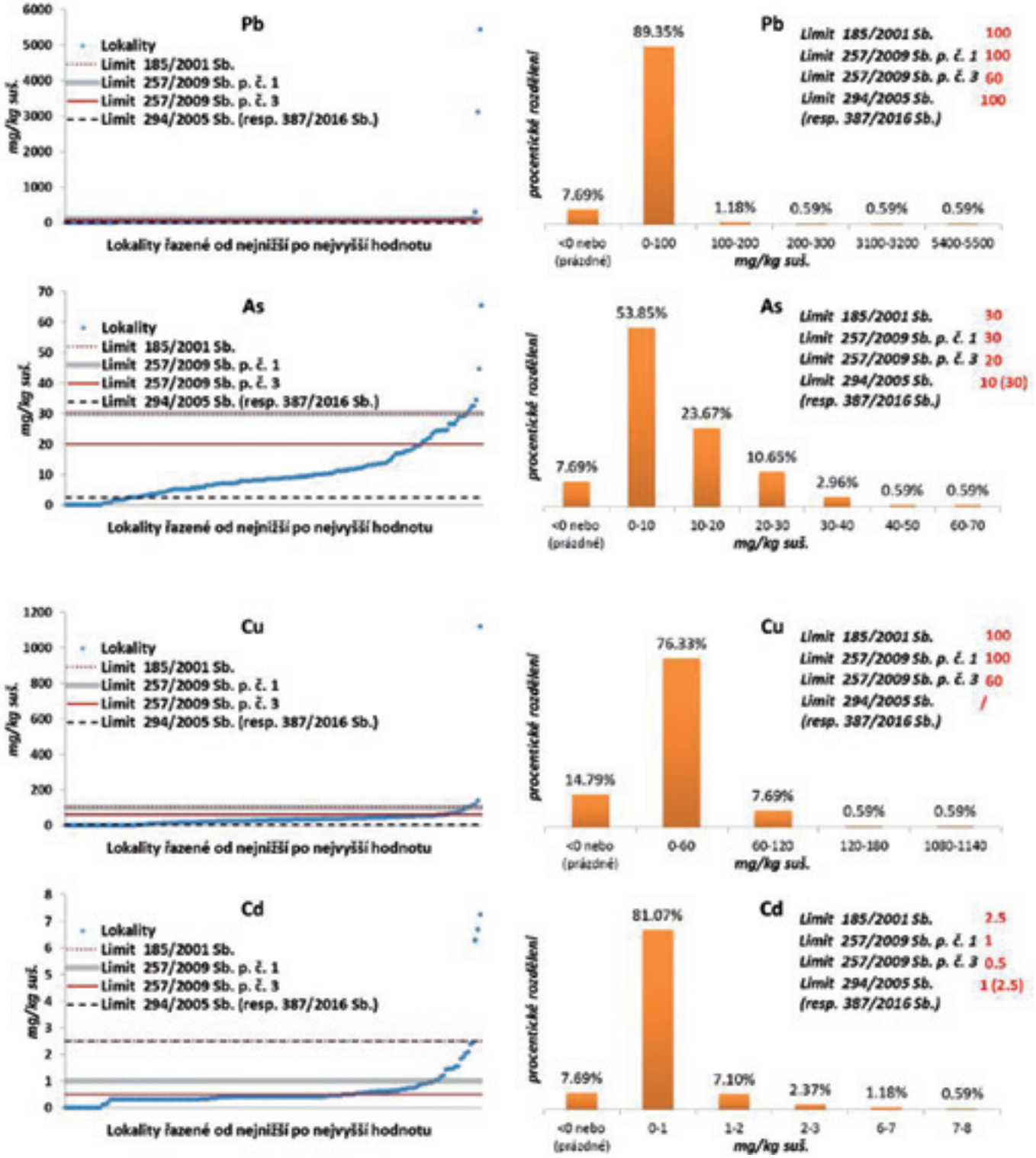
Data 2011–2017 (ENKI, o.p.s)	Zn	Ni	Pb	As	Cu	Hg	Cd	V	Co	Ba	Be	Cr
Průměr$_{(mg/kg\ suš.)}$	169.03	32.64	86.95	11.58	42.70	0.29	0.68	45.68	13.63	150.73	1.65	48.40
min$_{(mg/kg\ suš.)}$	0.0514	0.0064	0.0010	0.0027	0.0100	0.0010	0.0005	1.4300	0.5200	0.1820	0.0880	0.0010
max$_{(mg/kg\ suš.)}$	2450	297	5430	65.4	1120	1.3	7.25	107	83.8	562	11.7	271
N	144	156	156	156	144	156	156	155	143	63	143	126

Tabulka 3. Základní statistika toxických kovů v sedimentech z let 1997–2002

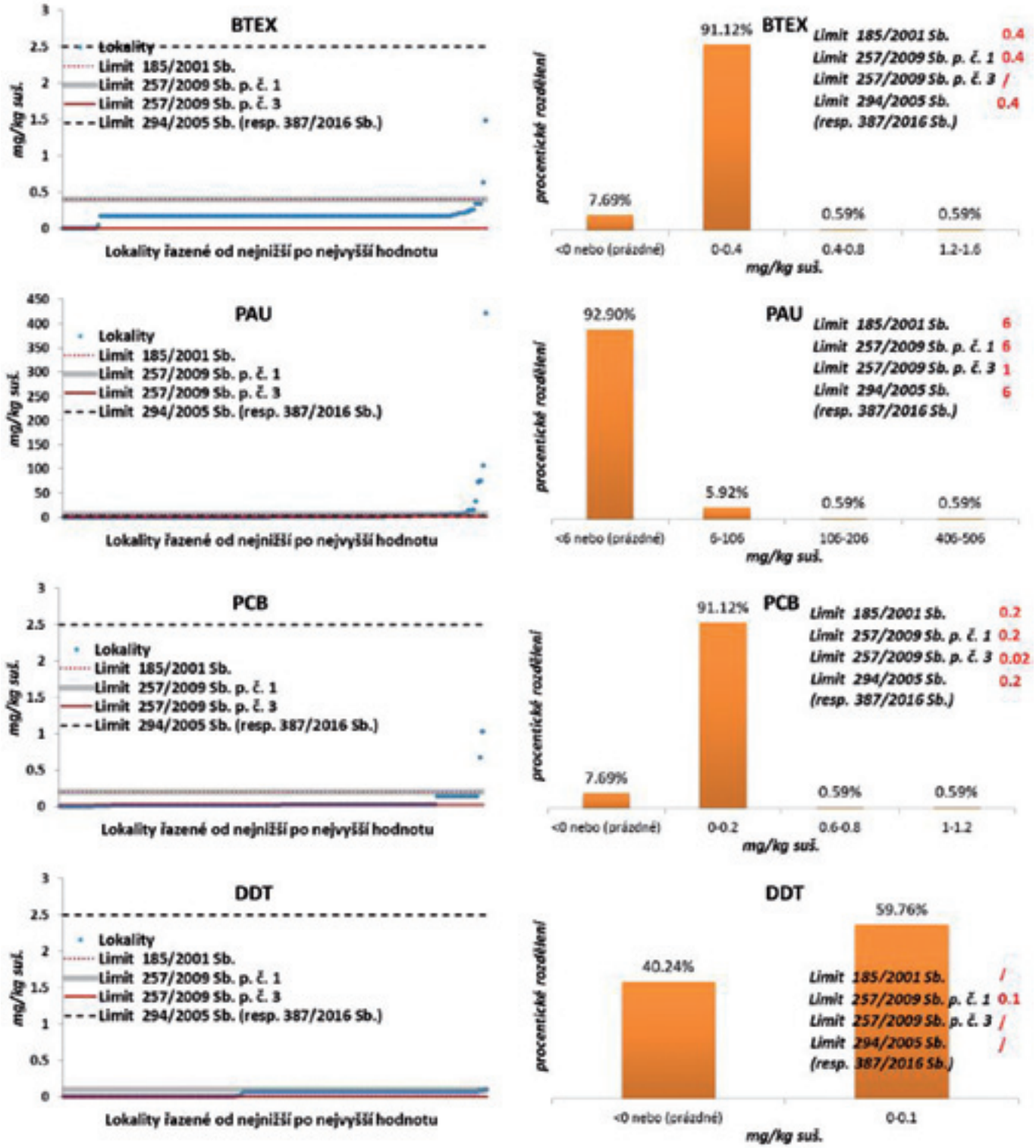
Data 1997–2002 (Gergel)	Zn	Ni	Pb	As	Cu	Hg	Cd	V	Co	Be	Cr	Mo
Průměr$_{(mg/kg\ suš.)}$	138.80	30.31	31.74	16.69	64.81	0.19	0.60	38.91	11.50	2.77	59.44	2.84
min$_{(mg/kg\ suš.)}$	0.00	1.25	0.11	0.04	2.58	0.03	0.01	0.26	0.00	0.01	0.00	0.30
max$_{(mg/kg\ suš.)}$	2133.11	222.75	189.05	381.14	845.00	1.92	11.60	202.80	91.20	11.12	895.50	9.46
N	410	404	410	280	408	107	408	230	272	229	410	83

Tabulka 4. Statistický přehled sledovaných uhlovodíků z let 2011–2017

Data 2011–2017 (ENKI, o.p.s)	AOX	Uhl C10-C40	trichlorethylen	tetrachlorethylen	BTEX	PAU	PCB	DDT
Průměr$_{(mg/kg\ suš.)}$	29.63	120.32	0.01	0.02	0.19	6.02	0.04	0.06
min$_{(mg/kg\ suš.)}$	1.00	2.00	0.01	0.02	0.04	0.12	0.01	0.01
max$_{(mg/kg\ suš.)}$	162	1390	0.01	0.033	1.48	421	1.02	0.097
N	67	156	49	49	156	156	156	101



Graf 1. Skupina toxických kovů



Graf 2. Organické polutanty

Pro využití sedimentů k aplikaci na zemědělskou půdu je důležitá i jejich „hnojivá hodnota“ tzn. zrnitostní složení, podíl organické hmoty, pH a obsah základních živin. Zrnitostní složení sedimentů může být značně rozdílné, což vyplývá ze zákonitostí sedimentačních procesů. S variabilitou zrnitostního složení do značné míry koreluje i jejich chemické složení. Cizorodé látky jsou poutány především na povrchu nejjemnějších půdních částic splavených z orniční vrstvy zemědělské půdy. Jako vhodný ukazatel pro hodnocení jejich přínosu k zúrodnění půd se jeví přístupný obsah živin, který je používán pro hodnocení úrodnosti v rámci agrochemického zkoušení zemědělských půd, proto byla v některých vzorcích zjišťována reakce sedimentů pH (stanovení v $CaCl_2$) a obsah základních živin P, K, Ca a Mg podle Melicha III a jednotlivých forem uhlíku [4].

Metodika

Sledované území

Zájmovým územím je celá Česká republika. Nejvíce lokalit je v současné době situováno na jihu a jihozápadě Čech, jak ukazuje mapa na obrázku č. 2 níže. Naměřená data jsou do souboru zařazována postupně, tak, jak dochází k vyřízení zakázky.

Způsob odběrů vzorků

Odběry vzorků byly prováděny odběrovou sondou holandského výrobce Eijkelkamp ze dna vypuštěných nebo napuštěných rybníků a nádrží. K odběru byla použita ocelová sonda o délce 1 metr s nástavnými tyčemi, která umožňuje odebrat vertikální profil sedimentu, aniž by došlo ke stlačení vzorku a k porušení jeho stratifikace. Byla zaznamenána též mocnost sedimentu, přičemž byl rozlišován tmavší (živinami bohatší sediment) a světlý (minerální sediment). Tmavší sediment je bohatší na živiny, uvolňuje do vodního sloupce fosfor, a tím podmiňuje rozvoj vodních květů a sinic ve vegetačním období. Množství černého sedimentu ukazuje na stupeň trofie (úživnosti, zatížení živinami) rybníka. V případě, že byl rybník napuštěn, byla k odběru využita vlastní loď. Odběrová sonda se zapíchne co nejhlouběji do sedimentu a otočením po směru hodinových ručiček se uzavře půlkruhová komora. Poté je sonda vytažena a opačným otočením je sediment ze sondy vyjmut. U takto získaného sedimentu je ihned na místě sledována a zapsána mocnost, struktura, zrnitost a případný zápach. Dle velikosti nádrže byl odebrán 1–5 směsných vzorků rybničního sedimentu. Směsný vzorek byl vytvořen z minimálně 15–30 dílčích vzorků, dle velikosti zkoumané plochy. Jednotlivé body odběru byly zaměřeny pomocí přístroje GPS.

Příprava vzorků k analýzám

Jednotlivé vzorky jsou homogenizovány na místě, či v laboratoři a metodou kvartace je vybrán laboratorní vzorek, který je následně odeslán do akreditované laboratoře k chemickým analýzám. V laboratoři jsou vzorky vysušeny a jsou provedeny analýzy dle platných postupů.

Sledované parametry

Rozsah možných sledovaných parametrů uvádíme v tabulce č. 1 níže.

Zpracování dat

Data byla zpracována v programu MS Excel 2010. Veškeré sledované parametry jsou řazeny ve sloupcích. Na data byl aplikován nástroj kontingenční tabulka a kontingenční graf pro automatické shrnutí a procentické vyjádření hodnot.

Průměrné hodnoty byly porovnávány s daty Gergela, který prováděl rozbory sedimentů na různých lokalitách v ČR, v letech 1997–2002. Porovnávány byly pouze hodnoty toxických kovů. Ostatní parametry nebyly, v tomto období sledovány.

Většina rozborů byla prováděna na základě objednávek projektantů nebo vlastníků jednotlivých nádrží. Proto byly u každého vzorku stanoveny jen určité parametry, závisející na požadavcích platné legislativy. Přesné počty vzorků, u kterých byl daný parametr změřen, jsou uvedeny v tabulkách č. 2 a 3 ve výsledcích.

Výsledky a diskuze

Toxické kovy

Porovnáním průměrů ze dvou sledovaných období (viz tab. č. 1 a 2) docházíme ke zjištění, že se od sebe výrazně liší pouze hodnoty u olova. Průměr jistě navyšuje maximální zjištěná hodnota 5430 mg/kg sušiny z období 2011–2017, zatímco v souboru vzorků z let 1997–2002 byla nejvyšší naměřená hodnota u Pb 189,05 mg/kg suš. Maximální zjištěná hodnota pro parametr Pb je mimo statistický soubor, jedná se o přímé znečištění z definovaného zdroje. U ostatních prvků lze prohlásit, že data ze dvou porovnávaných období jsou podobná a minimálně řádově se shodují.

V první skupině grafů níže (graf č. 1) je, jako příklad, vyobrazeno hodnocení čtyř, často problémových, prvků ze skupiny toxických kovů. První graf konkrétního prvku zobrazuje lokality seřazené od nejnižší po nejvyšší hodnotu s vyznačenými limity uvedenými v zákonech a vyhláškách. Druhý graf ukazuje, kolik procent ze sledovaných lokalit je v určitém intervalu hodnot (opět vztaženo k legislativě). Z grafů je patrné, že pouze několik málo procent ovzorkovaných nádrží nesplňuje žádný předepsaný limit. Na druhou stranu nejhorší výsledky překračují více jak desetinásobně stanovené limity, to je patrné zejména u Pb, Cu a Cd. Takto byly hodnoceny všechny toxické kovy uvedené v tabulce č. 2. U ostatních toxických kovů překračovaly nejvyšší zjištěné hodnoty, maximálně dvoj až troj násobně stanovený limit.

Organické polutanty

Totožně byly hodnoceny látky ze skupiny polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU), BTEX, PCB a DDT. Výsledky jsou znázorněny ve druhé skupině grafů (označeno hromadně jako graf č. 2). Základní statistická data všech sledovaných uhlovodíků dokresluje tabulka č. 4.

Tabulka 5. Horusický rybník – množství látek významných pro produkci zemědělských plodin v sedimentu

Sediment	Objem	Sušina	TP	TN	Ca	Mg	K	TOC
vrstva	m^3	t						
0,1 m	377402	90841	136,4	1094	745	265	374	18622
0,2 m	754804	181681	272,7	2188	1490	529	747	37245
Celý objem	3751924	903088	1356	10876	7405	2632	3716	185133

Ze všech sledovaných lokalit překračovalo limitní hodnoty pouze několik málo procent vzorků. Konkrétně u BTEX cca 1,2 %, PAU cca 7,2 % a u PCB cca 1,2 %. Množství DDT bylo vždy v podlimitních koncentracích.

Obsah živin

Obsah živin byl, z dosavadních lokalit, stanovován pouze v 18 případech. Legislativa jej pouze doporučuje, referát ŽP striktně nevyžaduje. Zmiňujeme zde tak pouze potenciál recyklace živin na zemědělskou půdu na příkladu rybníka Horusický, který byl předmětem výzkumného projektu TAČR[5]. Strukturou sedimentu se nejedná o standardní rybník, přibližně polovina dna je rašelinného charakteru. Množství látek je uvedeno v převzaté tabulce z výše uvedené odborné zprávy. Pro výpočet byly použity průměrné hodnoty z pěti směsných vzorků sedimentu, které byly odebrány na reprezentativní ploše rybníka v rámci zaměřování mocnosti usazenin v září 2016. Průměrná hodnota sušiny byla 24 % a průměrný obsah látek v sušině byl následující (g/kg sušiny): P – 1,50; N – 12,04; Ca – 8,2; Mg – 2,9; K – 4,1 a TOC – 205.

Hodnocení

Nejen rybniční sedimenty začínají být v poslední době čím dál více skloňovány. Důvod je prozaický – potřeba se sedimentem „něco udělat". Jak uvádí Gergel [1], v rybničních nádržích se nachází téměř 200 milionů m^3 usazenin. Toto množství výrazně snižuje retenční kapacitu rybníků a je zdrojem živin a organické hmoty. V současné zemědělské krajině dochází k silnému odnosu látek. Dle statistické ročenky VÚMOP [6] je u 24% ploch dlouhodobá průměrná ztráta půdy vodní erozí nad 10t z 1ha za rok a pouze u 26 % ploch je ztráta menší než 1t/ha/rok. Rybníky se tak stávají významným článkem v krajině, který cenný materiál zadrží. Nezadrží však zdaleka vše. Pokorný [7] uvádí, že Labem odtéká z Čech na milion tun Ca, K a Mg ročně v rozpuštěné formě. Hydrologická ročenka z roku 2015 uvádí roční odtok plavenin z povodí horní a střední Labe přibližně 80 000 tun [8].

Výsledky napovídají, že naprostá většina sedimentů splňuje legislativní limity pro další možné využití. V návaznosti na předchozí bod by tak monitoring, odtěžení a následné uložení sedimentů na zemědělskou půdu mělo být jedním ze stěžejních koncepčních politik pro hospodaření s půdou a vodou v krajině a mělo by být běžnou praxí. Bohužel se tak neděje. Důvodu může být několik. Hlavní uvádíme níže:

Neznáme hnojivé vlastnosti vytěženého materiálu

I když sediment vyhoví legislativním limitním hodnotám výše uvedené vyhlášky (pro používání sedimentu na ZPF), zemědělci o materiál nemají zájem.

Cenově nákladné analýzy, doprava, apod.

Složitá administrativa a zákony – zemědělští podnikatelé jsou povinni řádně vést evidenci o použití upravených kalů a sedimentů na zemědělské půdě, záznamy 7 let archivovat, záznam musí být v evidenci 1 měsíc od ukončení jeho použití (LPIS).

Poděkování

Výsledky uvedené v tomto příspěvku byly spolufinancovány projektem EK: HORIZON 2020

Sustainable Integrated Management FOR the NEXUS of water-land-food-energy-climate for a resource-efficient Europe, číslo projektu 689150 – SIM4NEXUS – H2020-WATER-2014-2015/ H2020-WATER-2015-two-stage. http://www.sim4nexus.eu/

Literatura

[1] GERGEL, J. KOLÁŘ, L., ŠEDIVÝ, V. a HŮDA, J. *Rybniční sedimenty, geneze, posuzování, odstraňování a další nakládání s nimi.* VaV/6304/02, MSM:J06/98:1222200002, 2002.

[2] Legislativa – Ministerstvo vnitra České republiky. [Online]. Dostupné z: http://www.mvcr.cz/web-legislativa.aspx. [Viděno: 17-kvě-2017].

[3] Československá státní norma 46 5735 – Průmyslové komposty. Federální úřad pro normalizaci a měření, 06-led-1991.

[4] KLEMENT, V. *Pracovní postupy pro agrochemické zkoušení zemědělských půd v České republice v období 2011 až 2016.* Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně, 02-bře-2011.

[5] KRÖPFELOVA, L. a kol., *Technologický postup recyklace živin z rybničních sedimentů s využitím sacího bagru, integrované stanice pro dávkování flokulantu a geotextilních vaků pro lokální aplikaci v mikropovodí.*, ENKI, o.p.s., Odborná zpráva TAČR TA04020123, 2016.

[6] Statistická ročenka Půdní služby. [Online]. Dostupné z: http://statistiky.vumop.cz/?core=account. [Viděno: 19-kvě-2017].

[7] POKORNÝ, J., ČEŘOVSKÁ, K., MACÁK, M., a PECHAROVÁ, E. *Matter losses from large catchment expressed as acidification – how much does acid rain cause, in Wetlands: nutrients, metals and mass cycling*, J. Vymazal, Ed. Leiden: Backhuys Publishers, 2003, s. 293–306.

[8] „Kompletní Hydrologická ročenka České republiky 2015". [Online]. Dostupné z: http://voda.chmi.cz/hr15/uvod.html. [Viděno: 19-kvě-2017].

VYUŽITÍ MATEMATICKÝCH MODELŮ PŘI BILANCI LÁTEK V POVODÍCH VODNÍCH NÁDRŽÍ

Pavel Tachecí[1], **Marek Maťa**[1], **Pavel Přibek**[1], **Antonia Metelková**[2]

[1]*DHI, a.s., Na Vrších 1490/5, Praha 10, tel. +420 267 227 145, p.tacheci@dhi.cz*
[2]*Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, Praha, Antonia.Metelkova@pvl.cz*

Abstrakt

Základním předpokladem pro návrh účinných opatření ke zlepšení stavu útvarů povrchových vod i jakosti vody ve vodních nádržích je dostatečně podrobná bilance látek vstupujících z plochy povodí do nádrže. Příspěvek presentuje použití bilančního modelu MIKE BASIN v měřítku vodních útvarů v rámci informační podpory procesu plánování v dílčím povodí Vltavy. Model je optimalizovaný pro simulace dopadů změn v bodových zdrojích znečištění na koncentrace v reprezentativních profilech vodních útvarů. Dále je presentován příklad modelu odtoku MIKE SHE v podrobném měřítku na podpovodí Kopaninského potoka v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce. Model je vhodný pro simulace dopadů lokálních opatření v ploše povodí.

Klíčová slova: *matematické modelování; MIKE BASIN; MIKE SHE; bilance látek v povodí; plánování v oblastech povodí; integrované modely.*

Abstract

Calculation of input flow, concentrations and matter fluxes is basic pre-requisite for design of efficient measures aiming to water quality improvement in water bodies and water reservoirs. A MIKE BASIN model application in the scale of individual water bodies is presented across Vltava river basin area. This model was established for water balance and water quality simulations in frame of planning process (part of WFD implementation). Model aims for simulations of impact caused by changes in point sources of pollution to concentrations in representative cross-sections of water bodies. Further on, example of detail rainfall-runoff model established for research microcatchment, part of Kopaninský potok (upstream of Želivka water reservoir) is presented. MIKE SHE model is suitable for simulations of impact of future local changes and planned measures in detailed scale.

Keywords: *mathematical modelling; MIKE BASIN; MIKE SHE; water quality simulation, water balance; WFD implementation; integrated water movement model.*

Úvod

V rámci projektu orientovaného na zajištění informační podpory procesu plánování v oblasti vod (implementace Rámcové směrnice o vodách) byly sestaveny simulační modely jednotlivých oblastí povodí (resp. dílčích povodí), jejichž prvotním cílem bylo vyhodnotit možný efekt programu opatření na fyzikálně-chemické parametry vod. Modely sestavené v software MIKE BASIN zahrnují ukazatele jakosti povrchových vod: BSK_5, CHSK, $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_3$, celkový fosfor (volitelně také celkový dusík). Modely pro první cyklus plánování v oblasti vod byly sestaveny pro jednotlivé oblasti povodí společnostmi DHI a.s., VRV a.s. a Aquatis a.s. podle jednotné metodiky. Modely byly doplněny o uživatelské rozhraní PLANOP, se kterým uživatel může pracovat v jednoduchém prostředí nevyžadujícím podrobnou znalost práce s modelem.

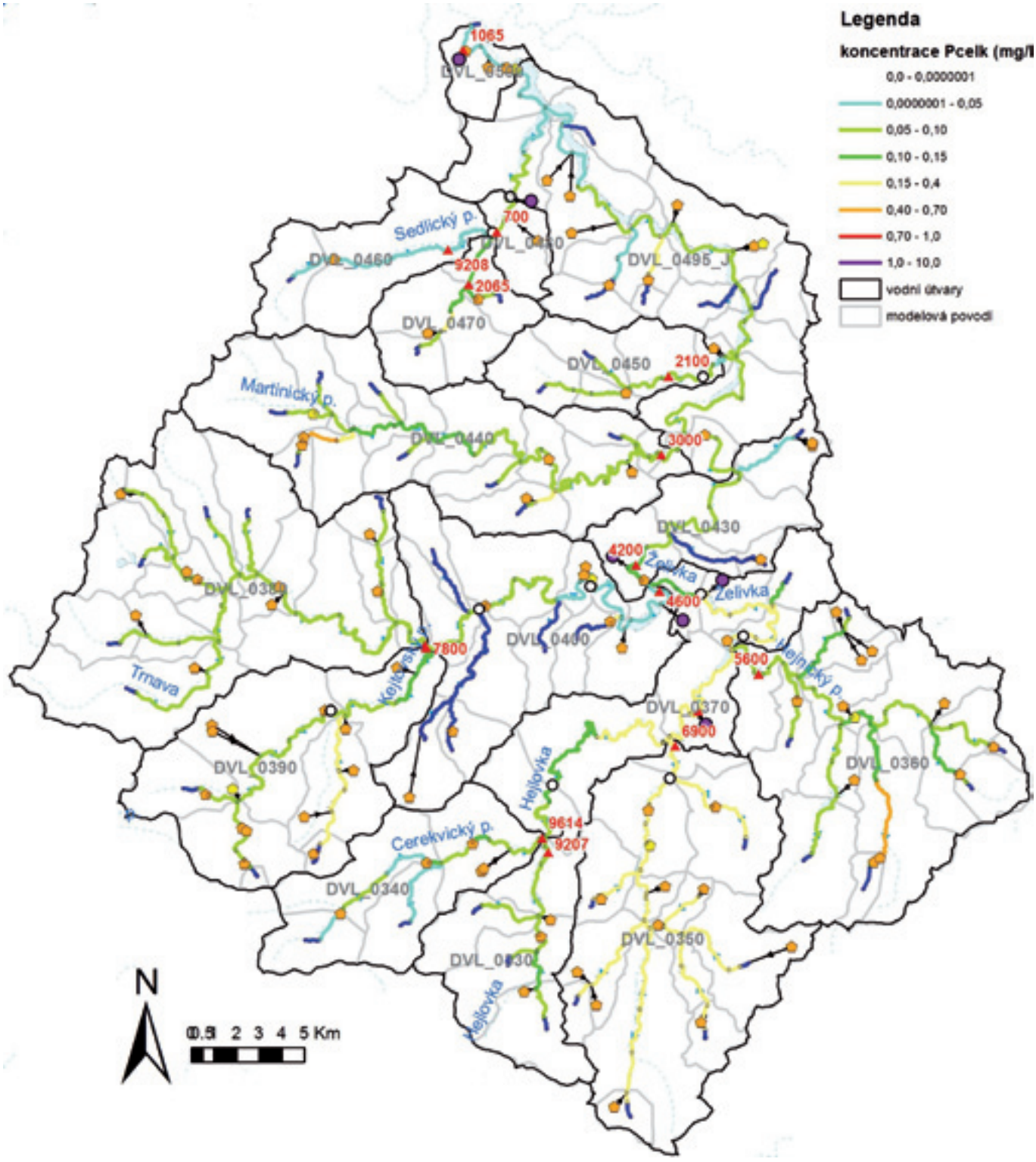
Pro dílčí povodí Berounky a Vltavy (ve správě Povodí Vltavy, státní podnik) byly tyto modely společností DHI a.s. aktualizovány pro druhý cyklus plánování (2006–2012) a dále znovu aktualizovány pro období 2010–2015 s cílem vyhodnocovat pomocí modelů předpokládané dopady změn především v bodových zdrojích znečištění (například intenzifikace ČOV, úpravy vypouštěného množství) na jakost vody v reprezentativních profilech vodních útvarů. Tomuto cíli odpovídá i podrobnost rozlišení modelů (zhruba povodí IV. řádu).

V rámci výzkumných projektů, realizovaných ve spolupráci DHI a.s. s výzkumnými organizacemi (především VÚMOP Praha v.v.i., Jihočeská Univerzita České Budějovice a České vysoké učení technické v Praze) byly vytvořeny podrobné prostorově distribuované modely odtoku (částečně také odnosu látek) pro několik výzkumných povodí na Českomoravské vysočině. Pro ně byl využit deterministický fyzikálně založený modelovací systém MIKE SHE. Velikost těchto povodí byla v řádu jednotek až prvních desítek hektarů, podrobnost rozlišení modelů činí jednotky až první desítky metrů.

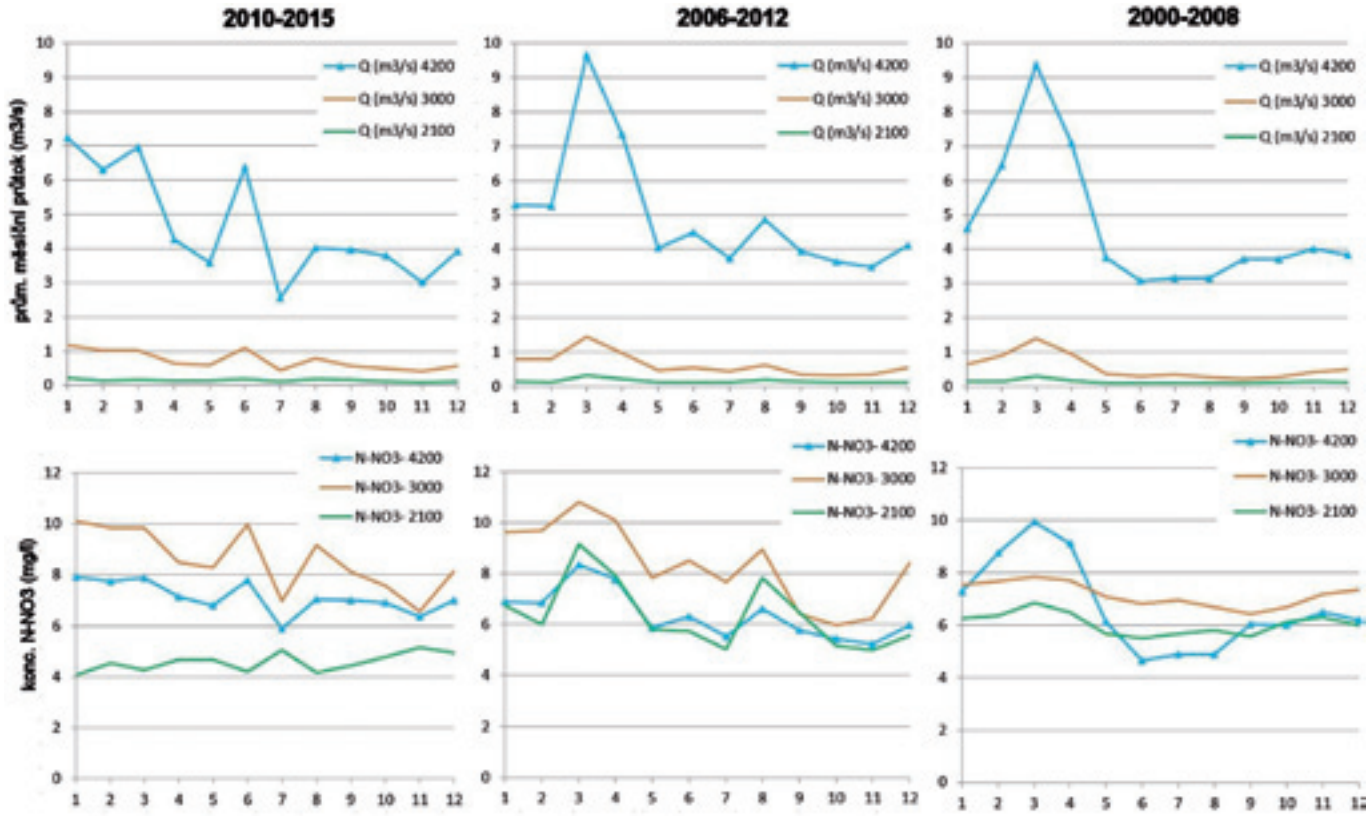
V obou případech jsou modelována různě velká území v povodích vodních nádrží (nejvýznamnější je Švihov na Želivce). Presentované modelovací přístupy lze přímo použít i pro bilanci vstupů látek do nádrží a pro kvantifikaci dopadu budoucích změn (například po realizaci opatření ke snížení vnosu látek do nádrží). Přístup pomocí bilančních modelů MIKE BASIN je vhodný spíše pro hodnocení bodových zdrojů znečištění, a pro větší povodí. Plošně distribuovaný přístup pomocí modelu MIKE SHE je vhodný spíše pro detailní vyhodnocení změn v ploše území. Oba přístupy jsou závislé na frekvenci a kvalitě dostupných dat (především měřených průtocích a koncentrací látek).

Modely MIKE BASIN v měřítku vodních útvarů

Pro výpočet bilance množství a jakosti vod ve vodních útvarech byla vytvořena metodika, založená na datech dostupných v profilech měření [1]. Vzhledem k relativně nízké frekvenci měření jakosti vody během roku jsou bilance provedeny pro 12 hodnot v roce (měsíční charakteristické hodnoty) a vycházejí se z víceletého



Obrázek 1. Výsledky modelu MIKE BASIN pro povodí Želivky. Barevná škála ukazuje simulované koncentrace fosforu pro měsíc srpen na základě dat v profilech měření (červeně).



Obrázek 2. Výsledky modelu MIKE BASIN pro povodí Želivky. Porovnání průměrných měsíčních průtoků a charakteristických koncentrací v profilech Blažejovice (2100), Senožaty (3000) a Poříčí (4200). Data zpracována pro tři období (2000–2008, 2006–2012 a 2010–2015). Na vodorovné ose jsou měsíce roku.

období. Model tak počítá dvanáct ustálených bilancí za „typický" rok (průtoky i koncentrace). Pro výpočet změny koncentrací látek je použita rovnice kinetiky prvního řádu. Plošné odtoky a odnosy látek jsou vypočteny pro každé mezipovodí.

Nejprve jsou v profilech měření průtoku vypočteny průměrné měsíční průtoky a pomocí modelu MIKE BASIN je provedena bilance, dopočteny plošné odtoky a vypočteny charakteristické průtoky v reprezentativních profilech vodních útvarů. Dále je provedena bilance proteklého množství jednotlivých látek a určení charakteristických koncentrací v reprezentativních profilech vodních útvarů. Pomocí vztahu mezi okamžitým průtokem a měřenou koncentrací v profilu je určena koncentrace, která odpovídá vypočtenému průměrnému měsíčnímu průtoku. Na základě bilance množství látek z bodových zdrojů je proveden odhad koeficientů zahrnujících veškeré procesy vedoucí k snižování koncentrací látek v tocích (decay rate). Po odečtení příspěvku z evidovaných bodových zdrojů v každém vodním útvaru je dopočten zbytek, připadající na ostatní zdroje znečištění.

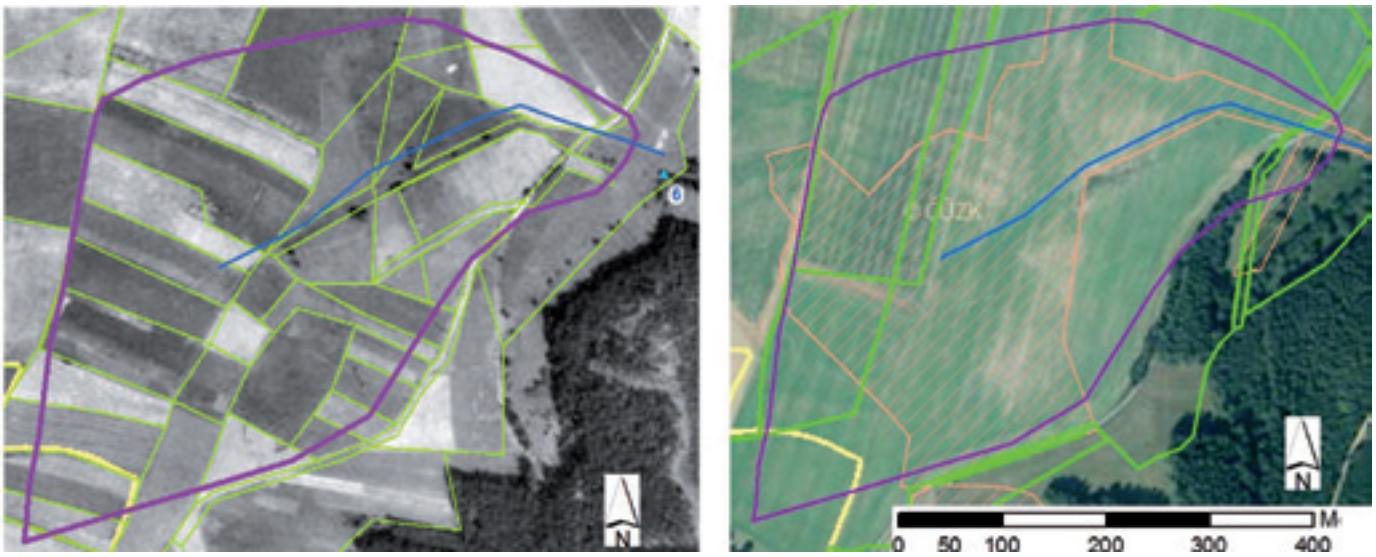
Tyto výpočty byly automatizovány s využitím funkcionality modelu MIKE BASIN 2009 a specificky vytvořených nástrojů. Modely jednotlivých dílčích povodí zahrnují jednotlivé vodní útvary, rozčleněné na podpovodí (přibližně IV. řádu), adekvátně podrobnou říční síť a veškeré bodové zdroje podle evidence. Každý prvek modelu je propojen s časovou řadou, zahrnující charakteristické průtoky a koncentrace. Veškerá data jsou uložena v databázi. S modelem lze pracovat přímo v mapovém editoru GIS prostředku ESRI ArcGIS 9.3.

Modely lze snadno upravovat (přidáním či odebráním zdrojů látek v povodí, změnou vypouštěných množství či koncentrací) přímo v grafickém rozhraní ArcGIS. Lze tak snadno simulovat odhad množství látek vstupujících do nádrží pro různé varianty a scénáře budoucího vývoje. Modelovací prostředek MIKE BASIN umožňuje také kontinuální simulace průtoku a koncentrací, pokud jsou taková data k dispozici. Na obrázku 1 je příklad výsledků simulace modelem (povodí Želivky, charakteristické hodnoty koncentrací celkového fosforu pro měsíc srpen). Obrázek 2 umožňuje porovnat vypočtené charakteristické hodnoty průtoku a vybraných ukazatelů (BSK_5, $N\text{-}NO_3$, celkový fosfor) pro jednotlivé měsíce roku za tři zpracovaná období v profilech nad nádrží Švihov.

Model MIKE SHE pro mikropovodí Kopaninského potoka

MIKE SHE [2] je plně distribuovaný deterministický matematický modelovací systém pro integrovanou simulaci pohybu povrchové a podzemní vody a toku látek. Pro jednotlivé části hydrologického cyklu uživatel může vybrat numerické aproximace pohybových rovnic nebo jednodušších schematizace. Zahrnuje také simulaci transportu a šíření látek prostředím na základě kinematiky I. řádu. Používá se pro řadu různých úloh od měřítka mikropovodí do měřítka povodí velkých řek. Jednou z typických úloh je i simulace dopadů změn v území na odtok a odnos látek (např. dopad změny klimatu, změny v obhospodařování, lesní polomy, odvodnění, změny využití území – např. [3]). V tomto příspěvku se zaměříme na simulaci dopadu změn hospodaření a výstavby trubní drenáže na odtok z malého zemědělského povodí [4].

Povodí Kopaninského potoka (přítok Jankovského potoka) je možno považovat za typického představitele podmínek zemědělských povodí v povodí Želivky [5]. Povodí leží v krystaliniku, v území s mělkým oběhem podzemních vod. Převažují zde kambizemě, kambizemě oglejené a glejové. Významná část



Obrázek 3. Mapa využití území, podpovodí P6. Zelená čára označuje hranice pozemků, fialová hranice modelovaného povodí, modrá potok, světle oranžová šrafovaná značí plochu s trubní drenáží podle dokumentace. Vlevo stav roku 1953, vpravo stav roku 2010 (současnost). Zdroj podkladních leteckých snímků: Cenia.

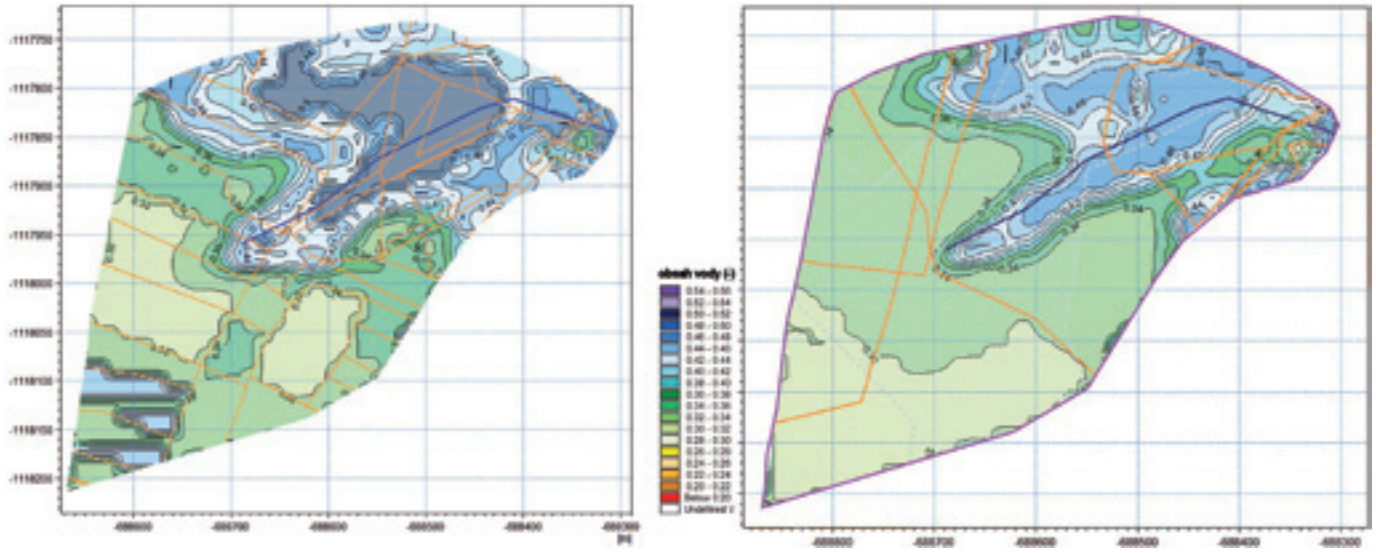
zemědělsky využívané plochy byla v osmdesátých letech odvodněna trubní drenáží. Plocha zde presentovaného mikropovodí P6 činí 0,157 km², z toho orná plocha 96 %. Průměrný sklon svahů činí 5.3%. Trubní drenáží je odvodněno 61 % plochy. Na výusti drenáže je měřen odtok. Dlouhodobý podíl rychlého odtoku je asi 4 až 7 % úhrnu srážek.

Model využívá jako vstupy především měřená data získaná v rámci výzkumných projektů. V roce 1953 je území rozdrobeno na řadu individuálně obhospodařovaných honů půdy, zatímco v současnosti jsou zemědělsky využívané plochy sceleny a instalována trubní drenáž.

Model byl kalibrován pro období 2004–2012. Posléze byly provedeny úpravy v modelu tak, aby vystihovaly podmínky roku 1953. Z výsledků modelu byly vyhodnoceny rozdíly v celkové bilanci, odtokové odezvě v epizodách, dynamice hladiny podzemní vody a v režimu vlhkosti půdy.

Z porovnání výsledků simulované bilance lze usuzovat, že asi 10 % srážkové vody, která je v současných podmínkách odváděna trubní drenáží do recipientu, je za podmínek roku 1953 z poloviny využita pro evapotranspiraci porostu, čtvrtina tvoří povrchový odtok a čtvrtina proudí pod povrchem dále po svahu dolů k hlavnímu recipientu – Kopaninskému potoku. Z rozboru simulací srážkoodtokových epizod různé intenzity je zřejmé, že pro podmínky roku 1953 jsou odtoky srovnatelné se současnými podmínkami jen pro nejnižší intenzity srážek, pro středně intenzivní jsou průtoky výrazně vyšší, pro nejvyšší intenzity srážek model simuluje odtoky během epizody v hodnotách násobků průtoků současného stavu.

Souhrnně lze na základě výsledků simulací vyslovit hypotézu, že zavedením trubní drenáže na povodí P6 se změnil mechanismus tvorby odtoku. Původní mechanismus byl kombinací mělkého podpovrchového (hypodermického) proudění s povrchovým prouděním na plochách nasycených díky mělké hladině podzemní vody blízko povrchu (podél lokální vodoteče a v severní části povodí). Po vybudování drenážního systému a scelení pozemků došlo k zaklesnutí hladiny podzemní vody, praktické eliminaci zamokřených ploch a také povrchového odtoku. Výsledky modelu současných podmínek ukazují, že současný odtokový mechanismus je výhradně podpovrchový, odtok je určován prouděním preferenčními cestami v půdě, částečně hypodermickým prouděním a přítokem mělké podzemní vody do trubní drenáže.



Obrázek 4. Mapa simulovaného obsahu vody v hloubce 15 cm během srážkové epizody vysoké intenzity (23. 5. 2005 16:30), podpovodí P6. Model podmínek roku 1953 vlevo, model současného stavu vpravo.

Přestože v dlouhodobé bilanci odtéká podle výsledků modelu v současných podmínkách asi o 8 % srážkového úhrnu více (než pro podmínky roku 1953), během epizod s intenzivními srážkami jsou maximální simulované průtoky díky drenáži výrazně redukovány. Dopad změn v mapě pozemků (tj. scelení do velkých, jednotně obhospodařovaných bloků) je méně významný než opad drenáže, ale není zanedbatelný – především je významný rozdíl obsahu vody v půdě na počátky srážky.

Závěry

V příspěvku jsou presentovány dva modelovací přístupy: jednak zjednodušený bilanční přístup modelem MIKE BASIN, adekvátní měřítku vodních útvarů; dále podrobný modelovací přístup, vhodný pro simulaci dopadů detailních lokálních úprav a opatření (MIKE SHE).

Vzhledem tomu, že odnos mnoha typů látek je těsně svázán s odtokovým režimem jednotlivých dílčích povodí, je dobré modelové vystižení mechanismů tvorby odtoku základním předpokladem pro následnou simulaci změn v odnosu látek a jejich koncentrací v povrchových tocích, ať už se jedná o území s umělou drenáží nebo bez ní. V podrobném měřítku mikropovodí je formování odtoku ovlivněno celou řadou (prostorově a časově proměnných) faktorů, takže je velmi obtížné poznatky generalizovat a aplikovat z jednoho povodí na jiná.

Oba modelovací přístupy se tak vhodně doplňují při kvantifikaci možných dopadů různých typů změn a opatření v ploše povodí vodních nádrží. Je možno kvantifikovat předpokládanou změnu vnosu látek (zlepšení stavu) před vlastní realizací úprav a opatření. Tyto simulace mohou sloužit jako podklad pro rozhodování o realizaci různých opatření a při výběru optimální varianty s nejvyšším účinkem. Z dosavadní zkušenosti lze usuzovat, že v současnosti je limitujícím faktorem dostatek kvalitních dat, odpovídajících řešenému problému, nikoliv dostupné nástroje pro matematické modelování a analýzu.

Poděkování

V příspěvku byla využita data podniku Povodí Vltavy, státní podnik, shromážděná a zpracovaná v rámci procesu plánování v oblastech povodí. Dále bylo využito dat z výzkumných povodí VÚMOP Praha, v.v.i., zpracovaných především v rámci výzkumných projektů MZe NAZV QH 82095; MZe NAZV QC 0242 a TAČR TA 01021844.

Literatura

[1] DHI a.s. *Metodika pro hodnocení dopadu uvažovaných opatření na kvalitu vody pomocí modelu MIKE BASIN.* Praha, 2008

[2] Graham D. N. a Butts M. B. *Flexible, integrated watershed modelling with MIKE SHE.* In Watershed Models (V.P. Singh & D.K. Frevert, Eds). CRC Press, 2005.

[3] Tachecí P., Korytář M. a Kaiglová J. *Simulace vlivu urbanizace v povodí horního Botiče na povodňový odtok pomocí distribuovaného matematického modelu.* In: Brych, K. a Tesař, M. (eds.): Hydrologie malého povodí 2014. Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, Praha 2014. ISBN 978-80-02-02525-2.

[4] Tachecí P., Kvítek T., Zajíček A., Duffková R. *Dopad změn využití území ve třech zónách malého zemědělského povodí simulovaný pomocí modelu MIKE SHE.* In: Brych, K. a Tesař, M. (eds.): Hydrologie malého povodí 2014. Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, Praha 2014. ISBN 978-80-02-02525-2.

[5] Kvítek, T. (ed.) *Modelování vlivu využívání půdy v geomorfologických zónách na odtok vody a koncentrace dusičnanů.* VÚMOP v.v.i., Praha 2012. ISBN 978-80-87361-17-7.

SEZNAM AUTORŮ

Adámek Zdeněk, Doc. RNDr. CSc.
Ústav biologie obratlovců AV ČR, v. v. i., Květná 8, 603 65 Brno,
tel. +420 543 422 523, *adamek@ivb.cz*

Badalíková Barbora, Ing.
Zemědělský výzkum, spol. s r.o., Zahradní 1, 664 41 Troubsko,
tel. +420 547 138 821, badalikova@vupt.cz

Balek Jan, Bc.
Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.,
Zemědělská 1665/1, Brno 613 00, jan.balek.83@seznam.cz

Bauer Miroslav, Ing.
ČVUT v Praze, Fakulta stavební,
Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství,
Thákurova 7, 166 29 Praha 6,
tel. +420 224 354 751, miroslav.bauer@fsv.cvut.cz

Baxa Marek, Ing.
ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň,
tel. +420 776 616 104, marek.baxa@prirodou.cz

Baxová Chmelová Iva, Ing.
ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň,
tel. +420 602 148 868, iva.chmelova@atlas.cz

Benedová Zdeňka, Ing.
ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň,
tel. +420 602 596 079, benedova@enki.cz

Beneš Jaroslav, Ing.
Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5,
tel. +420 221 401 409, jaroslav.benes@pvl.cz

Bíza Pavel, Ing.
Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno, tel. +420
541 637 308, biza@pmo.cz

Blaškovičová Lotta, Ing.
Slovenský hydrometeorologický ústav,
Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, Slovenská republika,
tel. +421 259 415 274, lotta.blaskovicova@shmu.sk

Borecký Kamil, Ing.
HG partner s.r.o., Smetanova 200, 250 82 Úvaly,
tel. +420 777 169 316, borecky@hgpartner.cz

Borovec Jakub, RNDr. Ph.D.
Biologické centrum AV ČR, v. v. i.,
Výzkumná infrastruktura SoWa,
Na sádkách 7, 370 05 České Budějovice,
tel. +420 387 775 877, jborovec@hbu.cas.cz

Caban Peter, Ing.
Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik,
Odštepný závod Piešťany, Správa povodia horného Váhu
Ružomberok, Jančeka 36, 034 01 Ružomberok, Slovenská republika

Čekal Radek, RNDr. Ph.D.
Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06
Praha 4, tel. +420 244 032 356, cekal@chmi.cz

Čtvrtlíková Martina, Mgr. Ph.D.
Biologické Centrum AV ČR, v. v. i., Hydrobiologický ústav,
Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice,
tel. +420 387 775 851, sidlatka@email.cz

Čudková Kateřina, Ing. Ph.D.
Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno,
tel. +420 541 637 542, cudkova@pmo.cz

Čulenová Zuzana, Ing.
Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik,
Odštepný závod Bratislava, Správa povodia Moravy Malacky,
Pri Maline 1, 901 01 Malacky, Slovenská republika

Dadejík Mojmír, Ing.
AW-DAD, s.r.o., Liberecká 778, 412 01 Litoměřice

Daňhelka Jan, RNDr. Ph.D.
Český hydrometeorologický ústav,
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4,
tel. +420 244 032 300, danhelka@chmi.cz

Devátý Jan, Ing.
ČVUT v Praze, Fakulta stavební,
Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství,
Thákurova 7, 166 29 Praha 6,
tel. +420 224 354 751, jan.devaty@fsv.cvut.cz

Dobiáš Jakub, Mgr.
Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5,
tel. +420 251 050 707, jakub.dobias@pvl.cz

Doležal Petr, Doc. Dr. Ing.
Agroprojekt PSO, s.r.o., Slavíčkova 840/1, 638 00 Brno,
tel. +420 533 033 999, info@agroprojektpso.cz

Dostál Tomáš, Doc. Dr. Ing.
ČVUT v Praze, Fakulta stavební,
Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství,
Thákurova 7, 166 29 Praha 6,
tel. +420 224 354 747, dostal@fsv.cvut.cz

Dubrovský Martin, RNDr. Ph.D.
Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.,
Bělidla 4a, 603 00 Brno, dub@ufa.cas.cz

Dumbrovský Miroslav, Prof. Ing. CSc.
VUT v Brně, Fakulta stavební,
Ústav vodního hospodářství krajiny, Žižkova 17, 602 00 Brno,
tel. +420 541 147 777, dumbrovsky.m@fce.vutbr.cz

Duras Jindřich, RNDr. Ph.D.
Povodí Vltavy, státní podnik, Denisovo nábřeží 14, 304 20 Plzeň,
tel. +420 602 429 682, jindrich.duras@pvl.cz

Faina Richard, RNDr.
ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň,
tel. +420 383 383 838, faina@enki.cz

Fiala Daniel, Mgr.
Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.,
Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6,
tel. +420 220 197 348, daniel.fiala@vuv.cz

Fiala Rostislav, Ing.
Český hydrometeorologický ústav – pobočka Brno, Kroftova 43,
616 67 Brno, tel. +420 541 421 027, rostislav.fiala@chmi.cz

Fína David, Ing.
Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno,
tel. +420 541 637 337, fina@pmo.cz

Fišer Jan, Ing.
Městský úřad Tábor, Odbor životního prostředí,
Husovo náměstí 2938, 390 02 Tábor 2,
tel. +420 724 192 515, jan.fiser@mutabor.cz

Foller Jan, Ing.
VAS, a.s., Soběšická 820/156, 638 00 Brno,
tel. +420 603 804 697, foller@vasgr.cz

Fučík Petr, Ing. Ph.D.
Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.,
Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5,
tel. +420 725 032 055, fucik.petr@vumop.cz

Gimun Vladislav, Ing.
Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno,
tel. +420 541 637 272, gimun@pmo.cz

Hadašová Lenka, Ing. Mgr.
Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta,
Ústav zoologie, rybářství, hydrobiologie a včelařství,
Zemědělská 1, 613 00 Brno, xhadasov@node.mendelu.cz

Hanák Roman, Ing.
AQUATIS, a.s., Botanická 834/56, 602 00 Brno,
tel. +420 541 554 229, roman.hanak@aquatis.cz

Hanel Martin, Ing. Ph.D.
Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.,
Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6,
tel. +420 220 197 404, martin.hanel@vuv.cz

Hejzlar Josef, Doc. Ing. CSc.
Biologické centrum AV ČR, v. v. i., Hydrobiologický ústav,
Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice,
tel. +420 387 775 876, hejzlar@hbu.cas.cz

Hladík Milan, RNDr. Ph.D.
Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s.,
Nábřežní 90/4, 150 00 Praha 5,
tel. +420 602 528 006, hladik@vrv.cz

Hlavinka Petr, Doc. Ing. Ph.D.
Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.,
Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno, phlavinka@centrum.cz

Holba Marek, Ing. Ph.D.
ASIO, spol. s r.o., Kšírova 552/45, 619 00 Brno,
tel. +420 606 610 347, holba@asio.cz

Hubáček Tomáš, Ing. Ph.D.
Biologické centrum AV ČR, v. v. i.,
Výzkumná infrastruktura SoWa,
Na sádkách 7, 370 05 České Budějovice,
tel. +420 387 775 844, hubacektom@gmail.com

Chuchma Filip, RNDr.
Český hydrometeorologický ústav – pobočka Brno, Kroftova 43,
616 67 Brno, tel. +420 541 421 031, filip.chuchma@chmi.cz

Jáchymová Barbora, Ing.
ČVUT v Praze, Fakulta stavební,
Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství,
Thákurova 7, 166 29 Praha 6,
tel. +420 224 354 751, barbora.jachymova@fsv.cvut.cz

Jan Jiří, Mgr. Ph.D.
Biologické centrum AV ČR, v. v. i.,
Výzkumná infrastruktura SoWa,
Na sádkách 7, 370 05 České Budějovice,
tel. +420 387 775 890, blondos@email.cz

Janál Petr, Ing. Ph.D.
Český hydrometeorologický ústav – pobočka Brno, Kroftova 43,
616 67 Brno, tel. +420 541 421 020, petr.janal@chmi.cz

Jarošík Jiří, Ing.
Biologické centrum AV ČR, v. v. i., Hydrobiologický ústav,
Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice,
tel. +420 387 775 876, jiri.jarosik@seznam.cz

Jurajda Pavel, Ing. Dr.
Ústav biologie obratlovců AV ČR, v. v. i., Květná 8, 603 65 Brno,
tel. +420 543 422 523, *jurajda@brno.cas.cz*

Jurek Lukáš, Ing.
Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta,
Ústav zoologie, rybářství, hydrobiologie a včelařství,
Zemědělská 1, 613 00 Brno, xjurek@node.mendelu.cz

Karásek Petr, Mgr.
Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.,
Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5,
tel. +420 702 008 893, karasek.petr@vumop.cz

Kočí Vladimír, Doc. Ing. Ph.D.
VŠCHT Praha, Fakulta technologie ochrany prostředí,
Technická 5, 166 28 Praha 6,
tel. +420 220 443 277, Vlad.Koci@vscht.cz

Kohut Mojmír, RNDr. Ph.D.
Český hydrometeorologický ústav – pobočka Brno, Kroftova 43,
616 67 Brno, tel. +420 541 421 031, mojmir.kohut@chmi.cz

Konečná Jana, Ing. Ph.D.
Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.,
Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5,
tel. +420 526 126 281, konecna.jana@vumop.cz

Kopáček Jiří, Prof. Ing. Ph.D.
Biologické centrum AV ČR, v. v. i., Hydrobiologický ústav,
Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice,
tel. +420 387 775 878, jkopacek@hbu.cas.cz

Kopp Radovan, Doc. Ing. Ph.D.
Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta,
Ústav zoologie, rybářství, hydrobiologie a včelařství,
Zemědělská 1, 613 00 Brno, tel. +420 545 133 268, fcela@seznam.cz

Kosour Dušan, Mgr.
Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno,
tel. +420 541 637 312, kosour@pmo.cz

Koželuh Milan, Mgr.
Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 8, 150 00 Praha 5,
tel. +420 377 307 385, milan.kozeluh@pvl.cz

Krása Josef, Doc. Ing. Ph.D.
ČVUT v Praze, Fakulta stavební,
Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství,
Thákurova 7, 166 29 Praha 6,
tel. +420 224 354 749, josef.krasa@fsv.cvut.cz

Krátký Michal, Ing.
Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 8, 150 00 Praha 5,
tel. +420 602 157 783, michal.kratky@pvl.cz

Kriška Michal, Ing. Ph.D.
VUT v Brně, Fakulta stavební,
Ústav vodního hospodářství krajiny, Žižkova 17, 602 00 Brno,
tel. +420 541 147 778, kriska.m@fce.vutbr.cz

Krolová Monika, RNDr.
Biologické Centrum AV ČR, v. v. i., Hydrobiologický ústav,
Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice,
tel. +420 387 775 865, krolovam@seznam.cz

Kröpfelová Lenka, Ing. Ph.D.
ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01Třeboň,
tel. +420 724 154 828, kropfelova@enki.cz

Kubečka Jan, Prof. RNDr. CSc.
Biologické Centrum AV ČR, v. v. i., Hydrobiologický ústav,
Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice,
tel. +420 387 775 891, kubecka@hbu.cas.cz

Kučerová Andrea, Mgr. Ph.D.
Biologické Centrum AV ČR, v. v. i., Hydrobiologický ústav,
Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice, tel. +420 387 775 851

Kvítek Tomáš, Prof. Ing. CSc.
Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 8, 150 00 Praha 5,
tel. +420 607 016 614, tomas.kvitek@pvl.cz

Liška Marek, RNDr. Ph.D.
Povodí Vltavy, státní podnik, Na Hutmance 5a, 158 00 Praha 5,
tel. +420 251 050 708, marek.liska@pvl.cz

Lovásová Ľubica, Ing.
Slovenský hydrometeorologický ústav,
Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, Slovenská republika,
tel. +421 259 415 439, lubica.lovasova@shmu.sk

Máca Vojtěch, JUDr. Ph.D.
Univerzita Karlova, Centrum pro otázky životního prostředí,
José Martího 2, 162 00 Praha 6,
tel. +420 220 199 478, vojtech.maca@czp.cuni.cz

Marcel Michal, Ing.
Povodí Vltavy, státní podnik, Denisovo nábřeží 14, 304 20 Plzeň

Martínková Zuzana, Mgr.
Univerzita Karlova, Centrum pro otázky životního prostředí,
José Martího 2, 162 00 Praha 6,
tel. +420 220 199 460, zuzana.martinkova@czp.cuni.cz

Marton Daniel, Ing. Ph.D.
VUT v Brně, Fakulta stavební,
Ústav vodního hospodářství krajiny, Žižkova 17, 602 00 Brno,
tel. +420 541 147 776, marton.d@fce.vutbr.cz

Maťa Marek, Ing.
DHI a.s., Na Vrších 1490/5, 100 00 Praha 10,
tel. +420 267 227 113, mrm@dhigroup.com

Melová Katarína, Mgr. PhD.
Slovenský hydrometeorologický ústav,
Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, Slovenská republika,
tel. +421 259 415 109, katarina.melova@shmu.sk

Metelková Antonia, Ing.
Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 8, 150 00 Praha 5,
Antonia.Metelkova@pvl.cz

Musil Martin, Ing. Ph.D.
ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň,
tel. +420 773 669 014, musil.78@seznam.cz

Mydla Dušan, Ing.
Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik,
Odštepný závod Košice,
Ďumbierska 14, 041 59 Košice, Slovenská republika,
tel. +421 556 008 113, dusan.mydla@svp.sk

Němcová Klára, Mgr.
Státní plavební správa, Jankovcova 4, 170 04 Praha 7,
tel. +420 234 637 100, nemcova.klara@plavebniurad.cz

Novák Jiří, Ing.
VAS, a.s., Soběšická 820/156, 638 00 Brno,
tel. +420 545 532 373, novak@vasgr.cz

Novotná Jaroslava, Ing., Ph.D.
Zemědělský výzkum, spol. s r.o., Zahradní 1, 664 41 Troubsko,
tel. +420 547 138 816, jaroslava.novotna@vupt.cz

Opatřilová Libuše, Mgr.
Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5,
tel. +420 221 401 970, libuse.opatrilova@pvl.cz

Oppeltová Petra, Ing. Ph.D.
Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta,
Ústav aplikované a krajinné ekologie, Zemědělská 1, Brno, 613 00,
tel. +420 545 132 471, oppeltova@mendelu.cz

Osafo Nana, MSc.
Biologické centrum AV ČR, v. v. i., Výzkumná infrastruktura
SoWa, Na sádkách 7, 370 05 České Budějovice

Paseka Stanislav, Ing.
VUT v Brně, Fakulta stavební,
Ústav vodního hospodářství krajiny, Žižkova 17, 602 00 Brno,
tel. +420 541 147 774, paseka.s@fce.vutbr.cz

Pavlík Ivo, Ing.
GEOtest, a.s., Šmahova 1244/112, 627 00 Brno

Pavlík Jiří, Ing. CSc.
GEOtest, a.s., Šmahova 1244/112, 627 00 Brno,
tel. +420 724 062 723, pavlik@geotest.cz

Pechar Libor, Doc. RNDr. CSc.
ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň, tel. +420 384 724 346

Pešta Jan, Bc.
VŠCHT Praha, Fakulta technologie ochrany prostředí,
Technická 5, 166 28 Praha 6

Petráš Daniel, MSc.
Biologické centrum AV ČR, v. v. i.,
Výzkumná infrastruktura SoWa,
Na sádkách 7, 370 05 České Budějovice, daniel.petras@bc.cas.cz

Polák Marek, Ing.
GEOtest, a.s., Šmahova 1244/112, 627 00 Brno,
tel. +420 606 732 513, polak@geotest.cz

Poórová Jana, Ing. Ph.D.
Slovenský hydrometeorologický ústav,
Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, Slovenská republika,
tel. +421 259 415 228, jana.poorova@shmu.sk

Potužák Jan, Ing.
Povodí Vltavy, státní podnik,
Emila Pittera 1, 370 01 České Budějovice,
tel. +420 724 308 205, jan.potuzak@pvl.cz

Přibek Pavel, Ing.
DHI a.s., Na Vrších 1490/5, 100 00 Praha 10, tel. +420 267 227 111

Rosendorf Pavel, Mgr.
Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.,
Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6,
tel. +420 220 197 413, pavel.rosendorf@vuv.cz

Rožnovský Jaroslav, RNDr. Ing. CSc.
Český hydrometeorologický ústav – pobočka Brno,
Kroftova 43, 616 67 Brno,
tel. +420 541 421 020, roznovsky@chmi.cz

Ryšavý Stanislav, Ing.
AQUATIS, a.s., Botanická 834/56, 602 00 Brno,
tel. +420 541 554 233, stanislav.rysavy@aquatis.cz

Semerádová Daniela, Ing. Ph.D.
Ústav výzkumu globální změny, AV ČR, v. v. i., Zemědělská 1665/1,
613 00 Brno, dany357@yahoo.com

Starý Miloš, Prof. Ing. CSc.
VUT v Brně, Fakulta stavební,
Ústav vodního hospodářství krajiny, Žižkova 17, 602 00 Brno,
tel. +420 541 147 770, stary.m@fce.vutbr.cz

Sýkora Lukáš, Ing.
AQUATIS, a.s., Botanická 834/56, 602 00 Brno,
tel. +420 541 554 277, lukas.sykora@aquatis.cz

Ščasný Milan, Mgr. Ph.D.
Univerzita Karlova, Centrum pro otázky životního prostředí,
José Martího 2, 162 00 Praha 6,
tel. +420 220 199 477, milan.scasny@czp.cuni.cz

Šípka Branislav, Ing.
Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik,
Odštepný závod Piešťany, Správa povodia horného Váhu
Ružomberok, Jančeka č. 36, 034 01 Ružomberok, S
lovenská republika, Branislav.Sipka@svp.sk

Špatka Jan, Ing.
DHI a.s., Na Vrších 1490/5, 100 00 Praha 10,
tel. +420 267 227 111, j.spatka@dhi.cz

Štěpánek Petr, Mgr. Ph.D.
Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.,
Bělidla 4a, 603 00 Brno,
tel. +420 511 192 214, stepanek.p@czechglobe.cz

Šulcová Jana, Ing.
ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň,
tel. +420 724 154 829, sulcova@enki.cz

Tachecí Pavel, Ing. Ph.D.
DHI a.s., Na Vrších 1490/5, 100 00 Praha 10,
tel. +420 267 227 145, p.tacheci@dhi.cz

Tanajewski Michal, Ing.
Povodí Ohře, státní podnik, Bezručova 4219, 430 03 Chomutov,
tel. +420 474 636 305, tanajewski@poh.cz

Tomková Iva, Ing.
Biologické centrum AV ČR, v. v. i.,
Výzkumná infrastruktura SoWa,
Na sádkách 7, 370 05 České Budějovice,
tel. +420 387 775 844, iva.tomkova@seznam.cz

Torrijos Javiera, MSc.
Biologické centrum AV ČR, v. v. i.,
Výzkumná Infrastruktura SoWa,
Na sádkách 7, 370 05 České Budějovice

Trnka Miroslav, Prof. Mgr. Ing. Ph.D.
Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.,
K Zámečku 1215, 593 01 Bystřice nad Pernštejnem,
tel. +420 725 950 927, mirek_trnka@yahoo.com,

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

Tůna Leoš, Bc.
VAS, a.s., divize Třebíč, Kubišova 1172, 674 11 Třebíč,
tel. +420 568 899 111, tuna@vastr.cz

Vítek Jiří, Ing.
JV PROJEKT VH s.r.o., Kosmákova 1050/49, 615 00 Brno,
tel. +420 545 423 381, vitek@jvprojektvh.cz

Vizina Adam, Ing. Ph.D.
Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.,
Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6,
tel. +420 220 197 404, adam.vizina@vuv.cz

Vlasák Tomáš, Mgr. Ph.D.
Český hydrometeorologický ústav – pobočka České Budějovice,
Antala Staška 1177/32, 370 07 České Budějovice 7,
tel. +420 386 102 256, tomas.vlasak@chmi.cz

Vrzák Jaroslav, Ing.
HG partner, s.r.o., Smetanova 200, 250 82 Úvaly,
tel. +420 777 161 198, vrzak@hgpartner.cz

Vykroč Ján, Ing.
Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik,
Odštepný závod Piešťany, Správa povodia horného Váhu
Ružomberok, Jančeka 36, 034 01 Ružomberok, Slovenská republika

Vymyslický Tomáš, Mgr. Ph.D.
Zemědělský výzkum, spol. s r.o., Zahradní 1, 664 41 Troubsko,
tel. +420 547 138 824, vymyslicky@vupt.cz

Vystavna Yuliya, Ph.D.
Biologické centrum AV ČR, v. v. i., Hydrobiologický ústav,
Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice,
tel. +420 778 500 337, yuliya.vystavna@hbu.cas.cz

Zahradníček Pavel, Mgr. Ph.D.
Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.,
Bělidla 4a, 603 00 Brno,
tel. +420 511 192 215, zahradnicek.p@czechglobe.cz

Zajíček Antonín, Mgr. Ph.D.
Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Žabovřeská 250,
156 27 Praha 5, tel. +420 604 444 971, zajicek.antonin@vumop.cz

Zapletal Tomáš, Ing. Ph.D.
Povodí Labe, státní podnik,
Víta Nejedlého 951, 500 03 Hradec Králové,
tel. +420 495 088 668, zapletalt@pla.cz

Zumr David, Ing. Ph.D.
ČVUT v Praze, Fakulta stavební,
Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství,
Thákurova 7, 166 29 Praha 6,
tel. +420 224 354 774, david.zumr @fsv.cvut.cz

Zvěřinová Iva, Mgr.
Univerzita Karlova, Centrum pro otázky životního prostředí,
José Martího 2, 162 00 Praha 6,
tel. +420 220 199 479, iva.zverinova@czp.cuni.cz

Žalud Zdeněk, Prof. Ing. Ph.D.
Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.,
Bělidla 4a, 603 00 Brno, tel. +420 725 950 925, zalud@mendelu.cz

AQUATIS

ZÁKAZNÍKŮM NABÍZÍME ZEJMÉNA:
• konzultační, poradenskou a posudkovou činnost • nabídkovou dokumentaci • studie, generely • dokumentaci pro územní rozhodnutí , stavební povolení a hodnocení vlivů na životní prostředí (EIA) • dokumentaci realizační a skutečného stavu • zajištění vypsání veřejných soutěží • inženýrskou činnost při přípravě staveb, výstavbě a uvádění do provozu • manipulační a provozní řády • uvádění staveb do provozu a zkušební provoz • žádosti o subvence z podpůrných fondů EU (Fond soudržnosti, Strukturální fondy aj.) • veškeré průzkumné práce.

INŽENÝRSKÁ A PROJEKTOVÁ ČINNOST VE VŠECH OBORECH VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ

SAFICHEM group

ÚSTŘEDÍ:
Brno Botanická 834/56, 602 00 Brno
tel.:+420 541 554 111
fax: +420 541 211 205
e-mail: info@aquatis.cz
www.aquatis.cz

POBOČKY:
Praha: Třebohostická 14, 100 31 Praha 10
tel.: +420 241 440 414

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

AQUATIS Balkans d.o.o. : Vladimira Gaćinovića 2
11 040 Beograd, Srbija
tel.: (+381) 114 230 720

hawido

ÖZKAN

hawle

SINCE 1932
Nova Siria®

krammer

HAWLE. **MADE FOR GENERATIONS.**

Umění spolupráce

Kvalita, přesnost a důslednost v každém detailu. Společná koordinovaná práce lidí desítek oborů a profesí. Schopnost řešit náročná zadání a odvaha hledat nová řešení. Je tohle umění? Možná ne. Jen to dobře umíme.

Metrostav a.s. Koželužská 2450/4 Praha 8

METROSTAV

www.metrostav.cz

Weber-váš partner

při rekonstrukci vodohospodářských staveb

divize WEBER
Saint-Gobain Construction Products CZ a.s.
Radiová 3, 102 00 Praha 10 - Štěrboholy
www.weber-terranova.cz
www.weber-panel.cz
www.weber-eshop.cz
www.profiklub.cz

weber
SAINT-GOBAIN

SMP CZ

Přístup všech k dostatečnému množství pitné vody výstavbou čistíren odpadních vod, úpraven vody, protipovodňových opatření. Provádění oprav a výstavba vodních a kanalizačních systémů, úpravy vodních toků. To jsou stavby, na kterých má společnost SMP CZ značný podíl.

Modernizace plavební komory,
Brandýs nad Labem

Modernizace plavební komory,
Velký Osek

Odstranění povodňových škod,
Česká Kamenice

Probíhající rekonstrukce Labské přehrady,
Špindlerův Mlýn

Probíhající rekonstrukce skluzu přehrady,
Klabava

Rekonstrukce koruny a oprava návodního líce vodního díla Kružberk

Sportovní přístav,
Hluboká nad Vltavou

Doplnění technologie v úpravně vody,
Plzeň

Probíhající rekonstrukce vodního díla,
Opatovice

Vyskočilova 1566, 140 00 Praha 4, www.smp.cz |

společně @ VINCI

VODÁRENSKÁ
AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a. s.

VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a.s.
Soběšická 820/156
638 00 Brno - Lesná
tel.: 545 532 111
e-mail: sekretariat@vasgr.cz

VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a. s., je v České republice největší ryze česká firma provozující vodohospodářskou infrastrukturu. Jejími vlastníky jsou prostřednictvím společnosti Svaz VKMO s.r.o. města, obce nebo jejich svazky. Veškerý zisk tak zůstává v tuzemsku a je využit na obnovu vodohospodářské infrastruktury.
VAS dodává pitnou a čistí odpadní vodu pro více jak 540 tisíc obyvatel v 700 obcích okresů Brno-venkov, Blansko a Znojmo na jihu Moravy, na Vysočině pak v okresech Jihlava, Třebíč a Žďár nad Sázavou. Celkem VAS provozuje 7 % celé vodárenské sítě České republiky. Její odborníci zajišťují provoz 90 úpraven vod a 150 čistíren odpadních vod.

Naše služby

- *Komplexní provozování vodovodů a kanalizací*
- *Realizace vodovodních a kanalizačních přípojek včetně řadů*
- *Vyvážení jímek, septiků a tukových lapolů*
- *Čištění kanalizačního potrubí*
- *Vyhledávání a lokalizace úniku vody z potrubí, měření tlaků a průtoků kapalin v potrubí*
- *Akreditované analýzy pitných, odpadních a povrchových vod včetně poradenství*
- *Prodej vodohospodářského materiálu*
- *Projekčně inženýrské služby*

SPOLEČENSKÁ ODPOVĚDNOST - UDRŽITELNOST
NÁRODNÍ CENA ČR

Jsme vítězem Národní ceny za společenskou odpovědnost a udržitelný rozvoj 2016

WWW.VODARENSKA.CZ

Tradice, profesionalita, solidnost

Inženýrské, projektové a konzultační služby

Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s.

Nábřežní 90/4 • 150 56 Praha 5
vrv@vrv.cz • www.vrv.cz

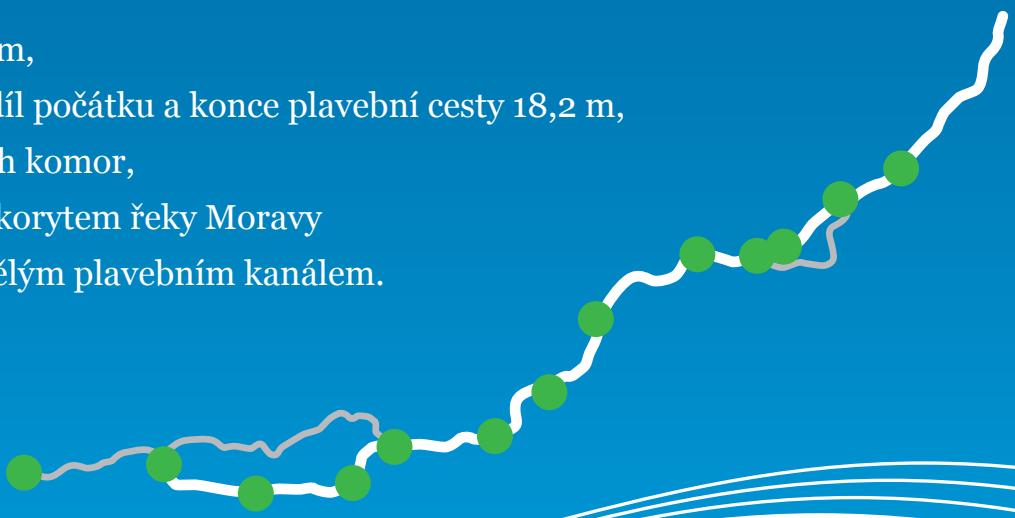
BAŤŮV KANÁL

ZAJIŠŤUJEME SPRÁVU VODNÍCH CEST NA MORAVĚ

„Vodní tok Moravy od ústí vodního toku Bečvy po soutok s vodním tokem Dyje, včetně průplavu Otrokovice – Rohatec (Baťův kanál)“ představuje multifunkční koridor, který byl zbudován jako závlahový a plavební, dnes je ceněný pro svůj turistický přínos. Využití Baťova kanálu zaznamenává rok od roku vzrůstající tendenci.

Povodí Moravy, s.p. zajišťuje veškerou správu a provoz Baťova kanálu, který

- má délku 53,8 km,
- má výškový rozdíl počátku a konce plavební cesty 18,2 m,
- má 13 plavebních komor,
- vede z poloviny korytem řeky Moravy
- a z poloviny umělým plavebním kanálem.



www.pmo.cz

POVODÍ MORAVY

120 let vodního díla Jevišovice

na řece Jevišovce v km 55,358

- je nejstarší moravskou přehradou a zároveň jednou z nejstarších přehrad ve střední Evropě
- výstavba vodního díla proběhla v letech 1894–1897
- během stavby se nepoužívaly jeřáby, pouze kladkostroje
- veškerý materiál se dopravoval kolečky nebo koňskými potahy
- nedostatek zkušených dělníků vedl k tomu, že stavbu prováděli dělníci z Itálie
- gravitační hráz je zděná, v mírném oblouku proti vodě
- výška hráze nad dnem je 13,8 m a objem nádrže 0,55 mil. m^3

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

www.pmo.cz

POVODÍ MORAVY