VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

VTEI/2018/3

12/ Vláhová bilance – ukazatel vody v krajině

27/ Jak se projevuje úroveň zákonných a technických předpisů na aplikaci modrozelené infrastruktury

38/ Rozhovor s ředitelem Českého hydrometeorologického ústavu Mgr. Markem Riederem

Nejstarší veřejná říční plovárna ve střední Evropě

Plovárna pod Letnou byla zřízena v prostoru zahrady, kterou staroměstští jezuité získali v roce 1600 darem od význačné španělské šlechtičny – Marie Manrique de Lara y Mendoza (manželky Vratislava z Pernštejna, která mj. přivezla do Čech sošku, později nazvanou Pražské Jezulátko). Pravděpodobně již v roce 1810 (nejpozději 1811) Ernst von Pfuel založil (nedaleko od později postavené Strakovy akademie) vojenskou plovárnu. Tento pruský důstojník (který se mj. ve své rodné zemi stal následně dokonce generálem pěchoty a ministrem) v roce 1810 sloužil v Praze jako setník pěšího pluku. V té době velmi často běžný voják plavat neuměl, což při válečných přechodech vodních toků mělo za následek mnohdy značné ztráty na životech. Ernst von Pfuel proto na Vltavě zavedl povinnou výuku plavání branců (Militär Schwimmschule).

Plovárnu lze plným právem označit za nejstarší ve střední Evropě (ve Vídni došlo k založení obdobného zařízení až v roce 1812, v Berlíně dokonce až v roce 1817) – po roce 1817 plovárna sloužila rovněž civilním osobám (samozřejmě jen mužům). Později byla vedle vojenské postavena ještě další, která byla s ohledem na její návštěvníky nazvána Občanskou. Zde pak v roce 1840 význačný architekt Josef Ondřej Kranner navrhl vybudovat klasicistní stavbu (z té se s ohledem na povodně do dnešní doby zachovala jen její střední část). Od roku 1906 patřilo celé zařízení královskému hlavnímu městu Praze – sloužilo nepřerušeně k rekreaci Pražanů až do 90. let minulého století.

Občanskou plovárnu navštěvoval i celosvětově známý pražský spisovatel Franz Kafka (patřil ve své době mezi velmi dobré plavce) – dokonce v předvečer své smrti si zavzpomínal jak na toto místo svého mládí, tak na krásné letní dny, které zde prožil.

Ing. Arnošt Kult

Obsah

3 Úvod

4 Posouzení efektivity navržených opatření v ploše povodí hydrologickým modelem
Kamila Osičková, Jana Uhrová

12 Vláhová bilance — ukazatel vody v krajině
Jaroslav Rožnovský, Filip Chuchma, Rostislav Fiala, Mojmír Kohut

18 Vliv dostupnosti kyslíku a dusičnanů na cyklus fosforu v sedimentu — příklad nádrže Vranov
Jiří Jan, Jakub Borovec, Daniel Petráš, Nana Osafo, Iva Tomková, Tomáš Hubáček

27 Jak se projevuje úroveň zákonných a technických předpisů na aplikaci modrozelené infrastruktury
Jiří Vítek

37 Autoři

38 Rozhovor s ředitelem Českého hydrometeorologického ústavu Mgr. Markem Riederem
Oddělení hydrologie

40 Masový úhyn velevruba tupého v EVL Ohře
Jitka Svobodová, Karel Douda, Eva Svobodová

43 Odborný seminář Vyhodnocení stavu povrchových vod za období 2013—2015
Petr Tušil, Tomáš Mičaník

Vážení čtenáři,

máme tady opět jaro! Pokud si odmyslíme dubnové počasí, které přišlo trochu dříve, tak bychom mohli říct: máme tady opět sucho! Těžko říct, zda se jedná o evergreen, protože všechny předpovědi nasvědčují tomu, že sucho bude zase o trochu větší než předchozí roky. Nedávno jsme vedli v ústavu diskusi ohledně zveřejňování nových aktualit na našem webu a velmi jsme se zamýšleli nad tím, zda se v případě sucha skutečně jedná o aktualitu nebo o setrvalý stav. Samozřejmě zvítězila myšlenka, že je to aktuální téma, neboť nám přináší mnoho nových pohledů a způsobů, jak se se suchem vypořádávat, ale určitá pochybnost v nás zůstala. Druhé aktuální téma totiž bylo umělé zasněžování. Je až s podivem, že v době, kdy jsme již začali chodit v tričku, byl z pohledu médií, ať již se jedná o noviny či o televizi (přesněji řečeno několikerá periodika a několikeré televizní stanice), největší zájem o technický sníh. Bylo velmi půvabné sledovat, že diskuse vždy probíhala mezi stejnými experty na obou stranách barikády (jedna strana byla naše), takže po pátém duelu již asi neměli žádnou novou munici. Přesto však nikdy nedošli k závěru, zda zrušit výjimku a zda zavést poplatky za odběr vody pro zasněžování či ne. To by totiž mohlo denní permanentku zdražit až o závratných pět korun, odradit lyžaře a způsobit bankrot vlekařů.

Uvedená témata jsou jen připomenutím, že i v tomto čísle VTEI se dozvíte mnoho novinek, a přestože můžete mít dojem, že některá z nich nemusí být zrovna aktuální, tak Vaše okolí nebo i zástupci mediální sféry mohou být zcela opačného názoru. Doufám, že Vám informace, které dnes získáváte, pomohou správně nastavit priority ve Vašem pracovním, potažmo i soukromém životě. Pokud se však nebudete moci rozhodnout, tak doporučuji se kromě sucha připravit na přívalové srážky, kroupy a bleskové povodně, ale hlavně sledovat web www.suchovkrajine.cz

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

Posouzení efektivity navržených opatření v ploše povodí hydrologickým modelem

KAMILA OSIČKOVÁ, JANA UHROVÁ

Klíčová slova: povodí Litavy — srážko-odtokový model — hydrologický model — schematizace — plošná ochranná opatření — liniová biotechnická ochranná opatření — HEC-HMS

SOUHRN

Příspěvek prezentuje část výstupů čtyřletého projektu Nové postupy optimalizace systémů integrované ochrany území v kontextu jejich ekonomické udržitelnosti. Jeho cílem je posouzení efektivnosti komplexního systému opatření navržených v ploše části povodí Litavy (136,85 km^2) s použitím hydrologického modelu, vytvořeného v programu HEC-HMS (Hydrology Engineering center – Hydrologic modeling system) [1]. Hodnocení efektivnosti bylo provedeno díky simulaci s aplikací čtyř přívalových srážkových epizod. Pro stanovení a výpočet hydrologických ztrát a transformace v modelu byla zvolena metoda SCS CN. Návrhy biotechnických liniových opatření ovlivnily vstupní schematizaci povodí a v případě bezodtokých opatření byla stanovena jejich retenční kapacita.

ÚVOD

Realizací komplexní ochrany a organizace povodí je možno výrazně zvýšit retenční schopnost povodí, obzvláště infiltraci srážkové vody do půdy a zadržení a postupné zasáknutí části povrchového odtoku v ploše povodí. Komplex ochranných opatření v ploše povodí plní v krajině řadu funkcí (protierozní, protipovodňovou, ochranu před suchem, ale i ekologickou) podporujících ochranu krajinných systémů. V dnešní době je jedním z hlavních způsobů jak provést analytické vyhodnocení hydrologie povodí hydrologické modelování. Modelování obecně představuje zjednodušený popis reality, který slouží k lepšímu pochopení modelovaného systému a k předpovědi jeho chování [2].

Cílem příspěvku je posouzení efektivnosti komplexního systému opatření navržených v ploše části povodí Litavy s použitím hydrologického modelu, vytvořeného v programu HEC-HMS (Hydrology Engineering center – Hydrologic modeling system) [1]. Hodnocení efektivnosti bylo provedeno díky simulaci s aplikací čtyř přívalových srážkových epizod.

Pro vyhodnocení byla vybrána východní topograficky velmi členitá, zemědělsky využívaná část povodí Litavy, a to z důvodu velkého počtu lokalit mimořádně silně ohrožovaných nebezpečnými odtoky z přívalových srážek, které vedou k četným povodňovým situacím, doprovázených intenzivní vodní erozí a transportem splavenin. Ty mají zásadní vliv na ekologickou nestabilitu některých ploch.

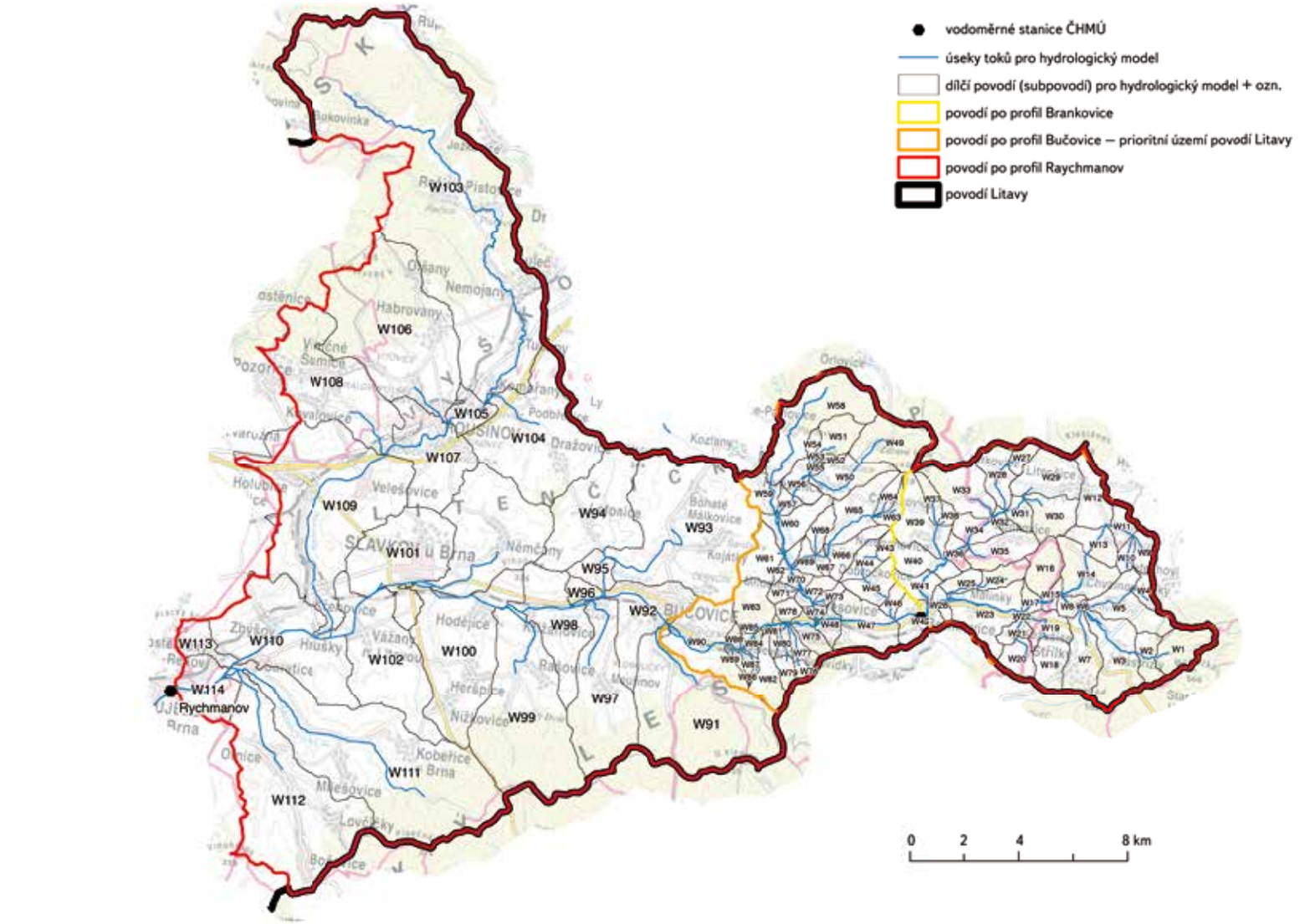
MATERIÁLY A METODA HODNOCENÍ EFEKTIVITY OPATŘENÍ

Základem při posouzení efektivity opatření bylo vytvoření hydrologického srážko-odtokového (S-O) modelu, v němž byl následně modelován vliv navržených opatření na velikost kulminačního průtoku a objemu povrchového odtoku. K jeho vytvoření bylo třeba stanovit orientační specifické odtoky, tedy průtok vztažený na jednotku plochy za určitý časový úsek, které s růstem plochy povodí klesají, a objemové průtoky pro zájmový nemonitorovaný závěrový profil povodí v katastru obce Bučovice (o ploše povodí 136,86 km^2). Získané hodnoty byly stanoveny ze sestaveného zjednodušeného modelu povodí Litavy (*obr. 1*) s označením míst s dlouhodobým měřením průtoků ve stanicích Brankovice (hlásný profil ČHMÚ č. 381 o ploše povodí 71,79 km^2) a Rychmanov (hlásný profil ČHMÚ č. 382 o ploše povodí 495,38 km^2) [3]. Výpočet specifických odtoků pro jednotlivé stanice a čtyři vybrané povodňové epizody vycházel z ploch povodí a objemů povrchových odtoků, získaných z reálných naměřených dat z těchto stanic. Závěrový profil zájmové oblasti se pak nachází mezi těmito dvěma stanicemi, tzn., že hodnoty vypočítaného objemu povrchového odtoku i hodnota specifického odtoku se nacházejí v intervalu hodnot těchto parametrů mezi měrnými stanicemi.

Vypočítané specifické odtoky se pohybovaly v rozmezí 4,4–13,6 l/s/km^2 pro profil Brankovice, 3,0–9,3 l/s/km^2 pro profil Rychmanov a 4,1–12,9 l/s/km^2 pro zájmový profil Bučovice.

TVORBA SRÁŽKO-ODTOKOVÉHO MODELU

Pro řešené území části povodí Litavy bylo nutné vytvoření S-O modelu ve dvou krocích. Nejdříve byl vytvořen S-O model se závěrovým profilem Brankovice, kde probíhá kontinuální měření. Zde byla provedena podrobná kalibrace a parametry tohoto modelu byly následně aplikovány do modelu se závěrovým profilem Rychmanov, který byl pro kalibraci rozdělen do šesti kalibračních částí (*obr. 2*), které mají rozdílné kalibrační koeficienty. Koeficienty v horní části povodí byly stanoveny právě v prvním modelu. Cílem tohoto rozdělení bylo zachytit rozdílnost chování různých částí (dílčích povodí přítoků) povodí Litavy. Prvním nezbytným krokem pro vytvoření S-O modelu řešeného území je schematizace povodí, tj. rozdělení na dílčí povodí, z nichž každé má své specifické vlastnosti. V zájmovém území povodí Litavy byla provedena podrobná schematizace se zohledněním návrhů biotechnických opatření. Pro část povodí v úseku Bučovice–Rychmanov byla provedena schematizace hrubšího charakteru. Ve schematizaci části povodí po profil Brankovice bylo povodí rozděleno na 42 subpovodí, po profil Bučovice bylo vytvořeno 90 subpovodí a v povodí po profil Rychmanov bylo vymezeno 114 subpovodí (*obr. 1*).



Obr. 1. Schematizace pro HEC-HMS
Fig. 1. Schematization to HEC-HMS

Do programu HEC-HMS vstupuje schematizované povodí, tj. úseky a jejich charakteristiky (délky, průměrné sklony, rozměry, drsnosti) a k nim zavěšené plochy a jejich charakteristiky (plocha, sklon aj.) podle zvolených výpočtových metod. Pro naše podmínky byla pro výpočet hydrologických ztrát a transformace zvolena metoda SCS CN. Pro transformaci přímého odtoku byl využit jednotkový hydrogram podle Clarka (Clark unit hydrograph), pro výpočet podzemního odtoku byla využita recesní metoda (recession) a odtok v korytě byl stanoven s využitím metody Muskingum-Cunge, která je založena na aproximaci kombinace rovnice kontinuity a difúzní formy momentové rovnice [4] a podrobněji je popsána např. Feldmanem [5].

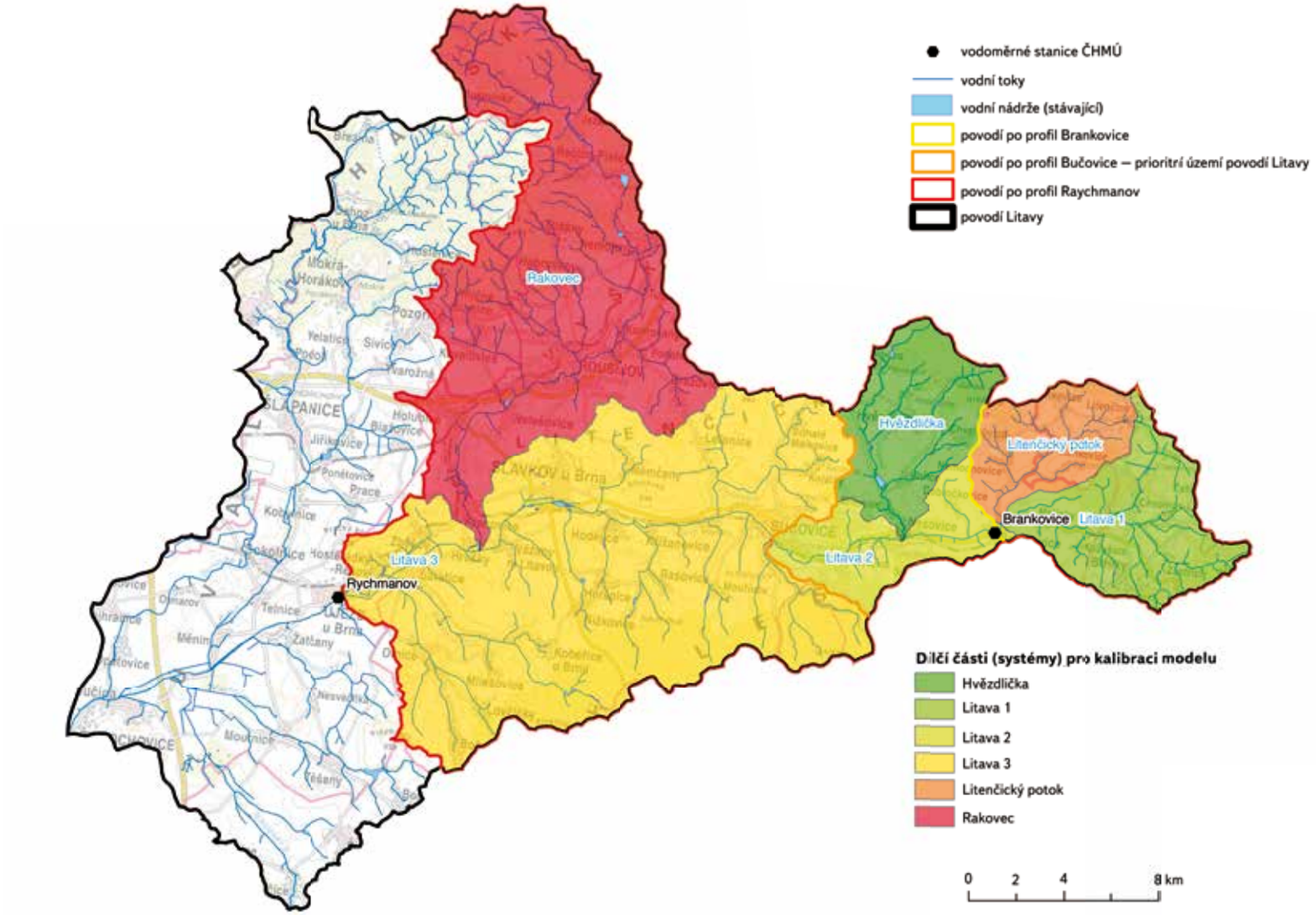
Kalibrace modelu (*obr. 3*) při současném využití krajiny proběhla na vybrané reálné povodňové epizodě z roku 2014 (3.–8. 8. 2014), kdy dosáhla kulminace v profilu Brankovice 4,76 m^3/s a v profilu Rychmanov 9,35 m^3/s a celkový úhrn srážek ve srážkoměrné stanici Nemochovice byl 67,3 mm. Hlavními ukazateli úspěšnosti kalibrace modelu jsou Nash-Suttleffe kritérium shody (shoda je dostatečná, pokud $E \geq 0,5$) [6] a objem povrchového odtoku W (model je považován za přijatelný, pokud rozdíl modelovaného povrchového odtoku a požadovaného objemového odtoku nepřekročil 10 %). Hodnoticí kritéria kalibrace modelu jsou následující:

- E = 0,939, ΔW = +6,02 % (Brankovice), ΔW = +0,06 % (Bučovice), ΔW = +3,63 % (Rychmanov).

Verifikace modelu pak proběhla na dalších třech reálných povodňových epizodách, které byly vyvolány přívalovými srážkami:

- 12.–17. 6. 2012: E = 0,906; ΔW = +0,07 % (Brankovice), ΔW = +0,20 % (Bučovice), ΔW= + 7,16 % (Rychmanov),
- 11.–20. 9. 2014: E = 0,706; ΔW = +0,40 % (Brankovice), ΔW = -0,16 % (Bučovice), ΔW = -6,77 % (Rychmanov),
- 1.–5. 10. 2014: E = 0,893; ΔW = -0,85 % (Brankovice), ΔW = +0,22 % (Bučovice), ΔW = -7,50 % (Rychmanov).

Větší rozdílnost povrchových objemů v profilu Rychmanov je dána především hrubší schematizací a menší podrobností srážkových dat. Data z profilu Rychmanov sloužila zejména k ověření správnosti modelu a stanovení objemových průtoků v závěrovém profilu zájmové oblasti. Rozdíl modelovaných objemů však ani v profilu Rychmanov není větší či menší než 10 %. Model byl tedy vyhodnocen jako dostatečně přesný a použitelný pro další účely.



Obr. 2. Kalibrační systémy povodí Litavy
Fig. 2. Calibration systems od Litava basin

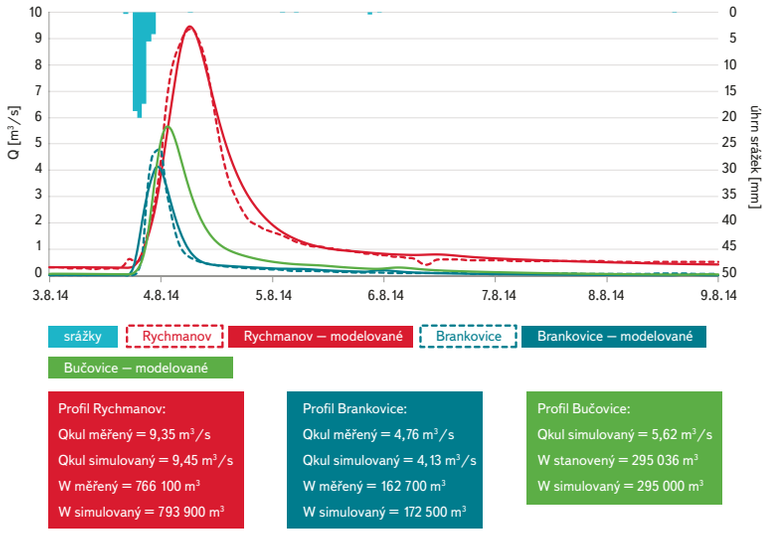
NÁVRHY OPATŘENÍ V PLOŠE POVODÍ

Návrhy opatření v ploše povodí byly vyhotoveny podle běžných postupů realizujících se v návrzích plánů společných zařízení v rámci pozemkových úprav. Celková plocha zemědělské půdy v zájmovém povodí činí 81,262 km^2, tedy zhruba 59,38 % a plocha samotné orné půdy 77,625 km^2, tedy zhruba 56,72 %. Na této ploše došlo k vytvoření expertního návrhu plošných a liniových ochranných opatření na blocích zemědělsky využívané půdy evidované v registru LPIS v celém řešeném povodí. Plochy vedené jako zatravněné do návrhu již nevstupovaly. Navrhováno bylo několik typů plošných opatření. Agrotechnická opatření (AGT) mírnější (výsevu do ochranné plodiny, strniště, mulče nebo posklizňových zbytků), intenzivnější AGT (kdy se kukuřice zásadně seje vrstevnicově do krycí plodiny (např. do vymrzlé svazenky), obiloviny a řepka se sejí také vrstevnicově a v osevním postupu je také větší zastoupení ozimých obilovin, luskovin a víceletých pícnin). Ochranné sady a vinice mají zatravněná meziřadí a jsou situovány ve směru vrstevnic. Opatření formou vyloučení erozně nebezpečných plodin z osevní rotace nebo jeho intenzivnější forma, kdy vedle vyloučení kukuřice, slunečnice a řepky se vrstevnicově sejí také obiloviny a v osevním postupu je větší zastoupení ozimých obilovin, luskovin a víceletých pícnin.

Výskyt plošných ochranných opatření na zemědělské půdě je závislý na způsobu využití půdy v jednotlivých katastrech. Návrh plošných opatření zaujímá 93,91 % ploch orné půdy, výměry jednotlivých druhů opatření uvádí *tabulka 1*.

Návrh byl dále zaměřen na návrh liniových ochranných opatření typu zasakovací mez, zasakovací pás a dráha soustředěného odtoku. Při lokalizaci liniových opatření byl brán v potaz návrh prvků ÚSES. Docházelo ke sloučení těchto krajinotvorných, ochranných prvků tak, aby byla dodržena jejich funkčnost. Lokalizace jednotlivých typů opatření je znázorněna na *obr. 4*. Jejich počty a součty délek uvádí *tabulka 2*, u všech opatření byla použita šířka 30 m.

Návrh prošel řadou vývojových stádií a řadou úprav ovlivněných stávajícími prvky v krajině, návrhy vedenými v územně plánovací dokumentaci a v ukončených pozemkových úpravách, terénním šetřením, opakovaným vyhodnocením účinnosti ochrany a projednáním s uživateli i vlastníky půdy a zástupci dotčených obcí. Vznikl tak návrh ochranných opatření ve smyslu návrhů realizovaných v procesech pozemkových úprav, který nahlíží na celé zájmové povodí jako na hydrologicky uzavřený celek.



Obr. 3. Kalibrace S-O modelu

Fig. 3. Calibration of precipitation-runoff model (red/dashed red – profile Rychmanov simulated/observed, blue/dashed blue – Brankovice simulated/observed, green – Bučovice simulated, no observed data)

SCHEMATIZACE OPATŘENÍ V S-O MODELU

Efektivitu těchto opatření lze stanovit například jejich promítnutím do hydrologického S-O modelu. Je však složité schematizovat všechny typy opatření v modelu tak, aby jejich modelovaný vliv odpovídal co nejvíce realitě a nebyly opomenuty hlavní účinky jednotlivých typů opatření.

Plošná organizační či agrotechnická opatření, stejně jako zasakovací pásy či zatravněné údolnice a meze i příkopy, byly do modelu promítnuty změnou pokryvu, tedy změnou (snížením) čísla CN. Jde o metodu hojně užívanou a dostatečně vypovídající.

Pro znázornění vlivu čísla CN na velikost kulminačního průtoku i povrchového odtoku byla provedena analýza na dvou vybraných subpovodích, které jsou z větší části tvořeny ornou půdou. Pro tuto analýzu byla vybrána subpovodí W43 (*obr. 1*) – malé povodí (0,49 km^2) s vysokým průměrným sklonem (23,97 %) a podílem orné půdy 98,31 % a subpovodí W61 – větší povodí (2,28 km^2) s mírnějším průměrným sklonem (5,15 %) a podílem orné půdy 96,43 %. Výsledkem této analýzy byl graf závislosti čísla CN na Q_{kul} a W, z něhož vyplývá, že závislost obou veličin má pro jednotlivé povodí obdobný nebo téměř shodný polynomický průběh (*obr. 5*).

Tabulka 1. Výměry plošných ochranných opatření v zájmovém povodí
Table 1. Size of the area erosion control measures in the basin

Typ opatření	**Plocha** [ha]
agrotechnická (AGT) mírnější	3 324,066
agrotechnická (AGT) přísnější	648,858
ochranné sady a vinice	265,616
trvalé zatravnění	1 294,351
vyloučení erozně nebezpečných plodin	389,595
vyloučení erozně nebezpečných s AGT	1 366,968
interakční prvek	1,497
Celkem	**7 289,454**

VÝSLEDKY A DISKUSE

Vliv a efektivita opatření

Na verifikovaném hydrologickém modelu byly provedeny simulace příznivého scénáře využití území, včetně navrhovaných liniových opatření, pro všechny čtyři modelované epizody (*obr. 6–9*), které byly způsobeny přívalovými srážkami.

Jak již bylo zmíněno výše, změna využití území a navrhovaných opatření byla do modelu promítnuta změnou čísla CN v dílčích povodích, které se v průměru snížilo o téměř 6 % (maximálně o 11,25 %).

Zjištěný vliv navržených opatření na velikost kulminačního průtoku i objemu povrchového odtoku v závěrovém profilu zájmového povodí není zanedbatelný a je uveden v *tabulce 3*. Aplikací navrhovaného scénáře do vytvořeného modelu došlo v závěrovém profilu Bučovice ke snížení kulminačních průtoků o 4,8 % (E1), 5,3 % (E2), 18,4 % (E3), 17,2 % (E4) a snížení objemu povrchového odtoku o 11,5 % (E1), 5,29 % (E2), 16,2 % (E3), 16,35 % (E4). Míra snížení sledovaných veličin je tedy přímo úměrná velikosti původní povodňové epizody. Procentuální změna odtoku odpovídá zatížení srážek s vysokými úhrny za krátký časový interval.

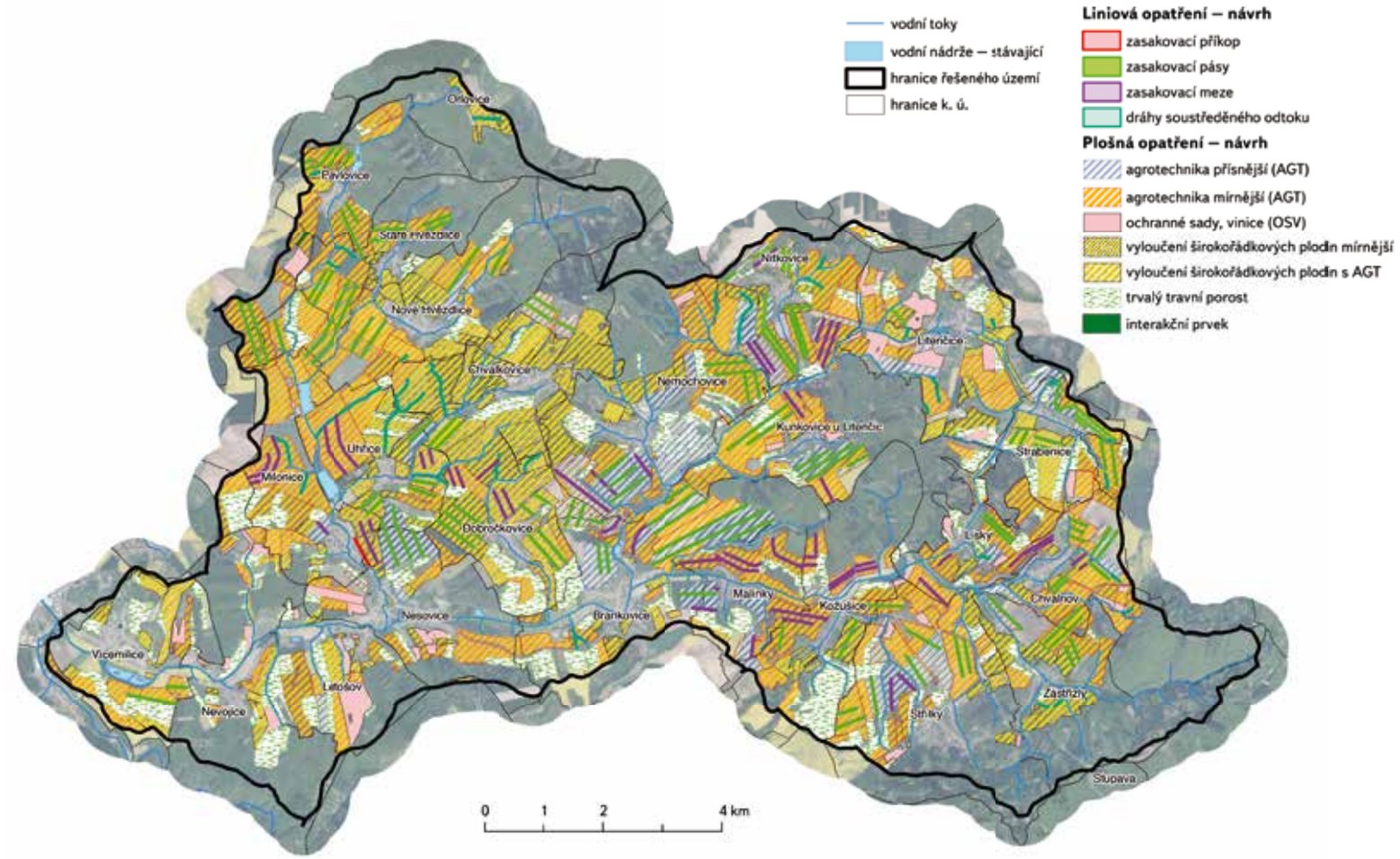
I pokud by biotechnická opatření (příkopy, průlehy, meze apod.) vstupovala do modelu ne ve formě změny čísla CN, ale jako nekonečně malá vodní nádrž bez funkčních objektů, což model HEC-HMS umožňuje, byl by vzhledem k jejich malé rozloze jejich význam pro hodnocení snížení povrchového odtoku v závěrovém profilu povodí téměř nulový. Celková kapacita navržených zasakovacích prvků byla stanovena na zhruba 10 tis. m^3 při uvažovaných modelových parametrech (šířka ve dně = 0,4 m, hloubka = 0,5 m, sklony svahů = 1 : 2).

Pracujeme však s myšlenkou dalšího výzkumu s použitím komponenty vodní nádrže „reservoir" pro modelování vlivu zasakovacích bezodtokových navrhovaných liniových prvků, právě jako nekonečně malé nádrže bez funkčních objektů. Problematice vyhodnocení liniových opatření se v poslední době u nás věnovali již publikované práce např. Feltl [7] a Strouhal [8]. Každé jednotlivé opatření je však třeba posoudit individuálně a stanovit přesné parametry jednotlivých opatření s ohledem na morfologii terénu a lokální podmínky. Tento postup je ale u rozsáhlejších území zdlouhavý, a proto bude cílem následného zpracování i zjednodušení efektivního návrhu liniových opatření již s jistým efektem.

Problém však nastává u liniových biotechnických opatření, která ovlivňují povrchový odtok jinak, než opatření plošná. Jedná se zejména o příkopy a průlehy, které soustřeďují povrchový odtok a podle funkce odvádí nebo zadržují vodu, popř. vodu převádí do vedlejšího povodí. Zachytit tyto funkce v hydrologickém modelu HEC-HMS je složitější. Podle prováděných rešerší (např. Kovář a kol. [9]) bývá schematizace liniových opatření nejčastěji řešena také změnou čísla CN, tedy se do modelu promítne jen např. zatravnění nebo jiná změna povrchu u daného opatření. Záměrem dalšího výzkumného řešení dané problematiky je propojení hydraulického modelu HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) [1] a hydraulického modelu HEC-HMS.

Tabulka 2. Počty a délky liniových ochranných opatření v zájmovém povodí
Table 2. Quantity and lengths of the line erosion control measures in the basin

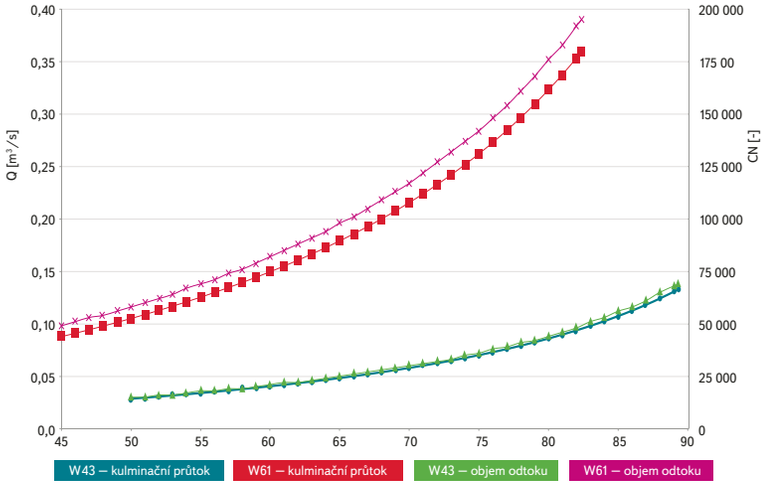
Typ opatření	**Počet** [ks]	**Délka** [m]
zasakovací mez	58	27 528
stabilizace dráhy odtoku	40	69 219
zasakovací příkop	1	533
zasakovací pás	113	13 410
Celkem	**212**	**110 690**



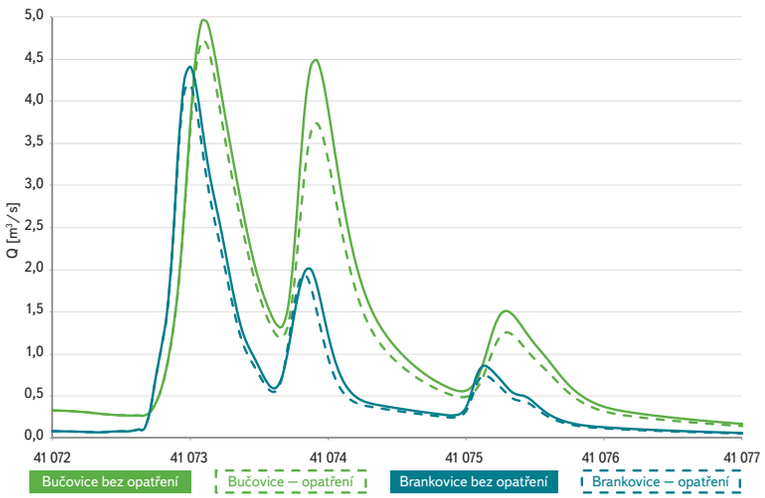
Obr. 4. Návrh plošných protierozních opatření v zájmovém povodí
Fig. 4. Design of erosion control measures

Tabulka 3. Vliv navrhovaných opatření na velikost kulminačních průtoků a objemy povrchového odtoku
Table 3. Influence of designed measures on peak flow (Q_{kul}) and runoff volume (W)

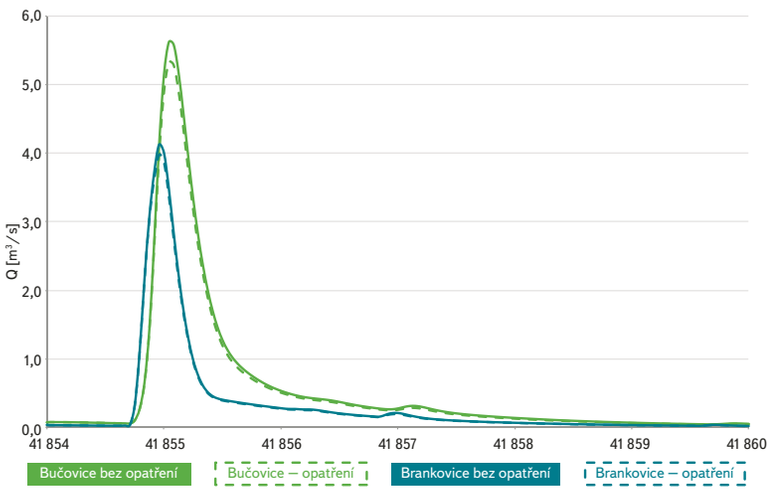
Epizoda	Profil	Bez opatření		Návrhy opatření	
		W [m³]	Q_{kul} [m³/s]	W [m³]	Q_{kul} [m³/s]
E1	Brankovice	301 900	4,4128	280 200	4,2027
	Bučovice	559 400	4,9493	494 900	4,7123
E2	Brankovice	172 500	4,1268	167 600	3,9798
	Bučovice	295 000	5,6225	279 400	5,325
E3	Brankovice	682 300	7,548	586 100	6,3011
	Bučovice	1 262 800	12,2332	1 058 600	9,9781
E4	Brankovice	500 300	11,5115	426 100	9,6654
	Bučovice	914 400	17,2649	764 900	14,3029



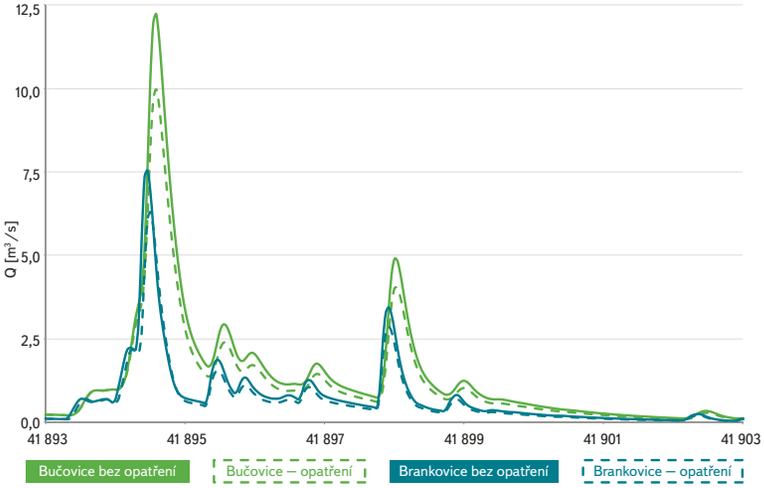
Obr. 5. Graf závislosti změny čísla CN na kulminačním průtoku a objemu odtoku
Fig. 5. Graph of CN number, peak flow (blue and red) and runoff volume (green and purple)



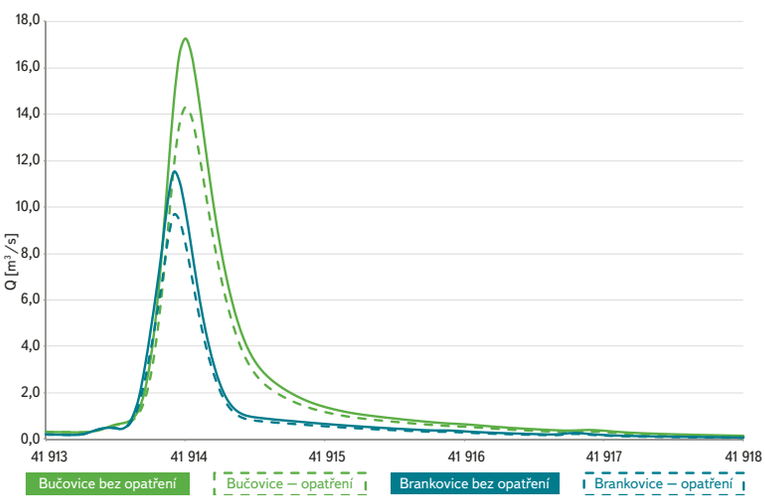
Obr. 6. Porovnání hydrogramů pro epizodu E1 ve dvou sledovaných profilech
Fig. 6. Comparsion of hydrographs in two profiles (flood episode E1)



Obr. 7. Porovnání hydrogramů pro epizodu E2 ve dvou sledovaných profilech
Fig. 7. Comparsion of hydrographs in two profiles (flood episode E2)



Obr. 8. Porovnání hydrogramů pro epizodu E3 ve dvou sledovaných profilech
Fig. 8. Comparsion of hydrographs in two profiles (flood episode E3)



Obr. 9. Porovnání hydrogramů pro epizodu E4 ve dvou sledovaných profilech
Fig. 9. Comparsion of hydrographs in two profiles (flood episode E4)

V modelech lze schematizovat příkopy či průlehy jako samostatné úseky vodních toků, bude tak možné co nejpřesnější vystihnutí proudění v otevřeném korytě průlehu či příkopu. Oba programy využívají pro výpočet proudění v otevřeném korytě v rámci zvolených metod stejné principy výpočtu. Tyto výpočty jsou založeny na Saint Venantovy rovnici, tedy kombinaci rovnice kontinuity a větě o hybnosti [1].

ZÁVĚR

Stanovení vlivu a efektivnosti ochranných opatření v ploše povodí je aktuální problematika, která nemá sjednocené metodické řešení. Přitom efektivita jednotlivých opatření by měla být jedním z hlavních parametrů pro posouzení vhodnosti a ekonomické výhodnosti. Dosavadní praxe navrhování ochranných opatření však obvykle nezahrnuje vyhodnocení ekonomické efektivnosti návrhu a z těchto důvodů často dochází k prosazování takových řešení ochrany území, která nejsou efektivní. Z tohoto zjištění vyplývá potřeba zpracovat metodiku pro hodnocení technicko-ekonomické účinnosti prvků protipovodňové a protierozní ochrany a následně ji implementovat do metodických postupů pro navrhování ochranných opatření v povodí. Negativní finanční

a ekonomická návratnost opatření často pak vede k tomu, že se zemědělci jako uživatelé zemědělské půdy, popř. její vlastníci zdráhají zavádět protierozní opatření bez patřičných náhrad.

Jedním z vhodných nástrojů pro hodnocení vlivů opatření na rozsáhlejších územích mohou být právě hydrologické srážko-odtokové modely, které dokáží vystihnout nejen změny kulminačních průtoků, posuny kulminací či změny v objemu povrchového odtoku, tedy veličiny, které jsou ochrannými opatřeními cíleně snižovány, ale i další parametry podle zvoleného modelu a softwaru. Zobrazení jednotlivých ochranných opatření však v mnoha modelech není jednoduché a např. v HEC-HMS lze samostatně řešit pouze vodní nádrže. Naším cílem je tedy dále rozvíjet schematizaci a promítání jednotlivých opatření do srážko-odtokového modelu tak, aby jejich vliv na sledované veličiny co nejvíce odpovídal reálnému stavu za použití výše zmíněných metod.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory projektu QJ1520268 „Nové postupy optimalizace systémů integrované ochrany území v kontextu jejich ekonomické udržitelnosti" řešeného v rámci programu KUS Ministerstva zemědělství ČR.

Literatura

[1] HEC – Hydrologic Engineering Center. US Army Corps of Engineers [online]. 2010 [cit. 2018-02-13]. Dostupné z: http://www.hec.usace.army.mil/

[2] BANKS, J. Principles of Simulation. In: BANKS, J., (ed.) *Handbook of simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice.* John Wiley & Sons, Inc., New York, 1998, s. 547–570. ISBN 0-471-13403-1.

[3] ČHMÚ – Hlásná a předpovědní služba [online]. 2018 [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_bklist.php

[4] ŠERCL, P. *Vliv Fyzicko-geografických faktorů na charakteristiky teoretických návrhových povodňových vln*. Praha, 2009. ISBN 978-80-86690-62-9.

[5] FELDMAN, A.D. (ed.). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual*. Washington: US Army Corps of Engineers, 2000. 149 s. Dostupný z www: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation.html

[6] JENÍČEK, M. *Modelování průběhu extrémních povodní v kontextu krajinných změn a integrované protipovodňové ochrany.* Praha, 2009.

[7] FELTL, J. *Posouzení efektivity protipovodňové a protierozní ochrany malých povodí.* Disertační práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny, 2017. s. 26.

[8] STROUHAL, L. *Kvantifikace vlivu liniových opatření na povodňové odtoky.* Disertační práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, 2016. s. 77.

[9] VKOVÁŘ P. a kol. *Certifikovaná metodika optimalizace vodního režimu krajiny ke snižování dopadů hydrologických extrémů,* Praha: Katedra biotechnických úprav krajiny, Fakulta životního prostředí na České zemědělské univerzitě v Praze, 2015. s. 36–42.

Autoři

Ing. Kamila Osičková
✉ kamila.osickova@vuv.cz

Ing. Jana Uhrová, Ph.D.
✉ jana.uhrova@vuv.cz

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

Příspěvek prošel lektorským řízením.

EFFECTIVENESS ASSESSMENT OF THE DESIGNED MEASURES IN THE BASIN

OSICKOVA, K.; UHROVA, J.

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

Keywords: Litavy basin — precipitaion-runoff model — hydrological model — schematization — area erosion control measures — line erosion control measures — HEC-HMS

This article describes part of results of the project "QJ1520268 The new procedures of optimization systems integrated protection area in the context of their economic sustainability". The aim is effectiveness assessment of the designed measures in the Litava basin in hydrological model created in software HEC-HMS (Hydrology Engineering center – Hydrologic modeling system) [1]. For computing hydrologic loss and flood transformation was used SCS CN method. Designing of the measures affected schematization of the basin (fig. 1) and for flowless measures was computed retention capacity. The east part of Litava basin (area 136.85 km^2) was chosen for morphological fragmentation, large agricultural use and many locations threatened by flash floods. This article also describes the creation of runoff model in HEC-HMS, including calibration (fig. 3), verification and simulation of the designed land use with line measures in the model. There are only two flow measurements in Litava basin in Brankovice and Rychmanov, so the hydrological model was created for large part of the Litava basin and next the priority part was calculated. In the priority part is about 59.38% agricultural used land and about 56.72% is fertile ground. The area erosion control measures were designed on the 93.91% of the fertile ground. Localization and design of erosion control measures is shown on fig. 4, types, areas and numbers of all measures are shown in table 1 and table 2. The most used method to schematization of the measures to the precipitaion-runoff model is projection to CN number. Graph of CN number, peak flow and runoff volume is shown on figure 5. We want to achieve by further research better schematization of the measures in the model. The flowless measures could be inserted to HEC-HMS as component "reservoir" as infinitely small tank without functional objects and drainage measures could be inserted to the model as reaches of the river. This would be connected with hydraulic model HEC-RAS to project hydraulic flowing in the reach. On figure 6–9 is shown comparsion of hydrographs in two profiles for 4 real flood episodes with and without the measures. The runoff volume was reduced by 5.3–16.3% and the peak flow was reduced by 4.8–18.4%. So the effectiveness assessment of the designed measures in the basin is not insignificant.

Vláhová bilance – ukazatel vody v krajině

JAROSLAV ROŽNOVSKÝ, FILIP CHUCHMA, ROSTISLAV FIALA, MOJMÍR KOHUT

Klíčová slova: vláhová bilance – úhrny srážek – potenciální evapotranspirace – sucho

SOUHRN

Průběh počasí v posledních letech dokládá, že proměnlivost našeho počasí roste, a tím se také zvyšuje frekvence výskytu povodní, ale také sucha. Sucho bez ohledu na to, o jaký druh se jedná, znamená, že v naší krajině je nedostatek vody. Jde o to, jak nejlépe množství vody v krajině vyjádřit. Na brněnském pracovišti Českého hydrometeorologického ústavu v rámci výpočetního modelu AVISO v týdenním kroku vypočítáváme základní vláhovou bilanci (dále jen ZVB) pro travní porost, která je dána rozdílem mezi úhrny srážek a potenciální evapotranspirací. Výpočet je prováděn z denních hodnot doby slunečního svitu, teploty a vlhkosti vzduchu a rychlosti větru. Základem pro výskyt mimořádného sucha jsou nízké úhrny srážek a delší bezesrážková období, svůj vliv však mají i zvyšující se teploty vzduchu. Z analýzy vybraných roků s výskytem mimořádného sucha vyplývá, že deficitní hodnoty vláhové bilance se projevují v jednotlivých letech rozdílně, koncem vegetačního období dosahuje deficit i více jak 200 mm.

ÚVOD

Podnebí České republiky je typické svou vysokou proměnlivostí, která se v posledních dvou desetiletích ještě zvyšuje. Výsledkem jsou také výskyty povodní i sucha, které se na našem území projevují nepravidelně. Změnám klimatu je přičítáno, že se zvyšují četnosti výskytu 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. V roce 2010 byly zaznamenány vysoké srážkové úhrny a výskyt mnoha lokálních povodní z přívalových dešťů. V posledních dvou desetiletích převažují stavy sucha, které jsou vyvolány nízkými úhrny srážek, hlavně během teplého půlroku (duben až září) s trváním od několika týdnů až po několik měsíců. Výskyty mimořádného sucha takřka na celém území ČR jsme zaznamenali v letech 2000, 2003, 2012, 2015 a 2017. Na jižní Moravě také v roce 2007. 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 přicházejí neočekávaně v různých ročních obdobích.

Údaje o srážkách jsou zaznamenávány na srážkoměrných stanicích Českého hydrometeorologického ústavu (dále jen ČHMÚ), v posledních letech převážně na automatických stanicích [1]. Průměrné úhrny srážek se z části liší podle období zpracování. V Atlasu podnebí Československa (1958) a Podnebí ČSSR – Tabulky (1960) jsou uvedeny výstupy zpracování za období 1901 až 1950. Mapy úhrnů srážek v Atlasu podnebí Česka [2] vyjadřují období 1961 až 2000. Střeštík a kol. [3] vyhodnotili úhrny srážek na území ČR za období 1961 až 2010 s výsledkem, že v dlouhodobém pohledu se průměrné roční úhrny srážek statisticky prokazatelně nemění, ale roste jejich dynamika. K hodnocení srážek za různá období, zvláště za roky s výskyty povodní či sucha najdeme vysoký počet publikací.

Srážkový deficit ve vegetačním období bývá velmi často doprovázen vysokými teplotami, včetně výskytu tropických dnů (maximální denní teplota vzduchu dosáhne či překročí 30 °C), nižší relativní vlhkostí vzduchu, zmenšenou oblačností a vyšším počtem hodin slunečního svitu. 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.

Výskyty sucha jsou dány také hodnotami výparu [4]. Jde o složitý fyzikální proces a právě to je příčinou, proč na rozdíl od mnoha meteorologických prvků je měření výparu náročné [5]. Údaje o výparu, ovšem jen z vodní hladiny, máme ze sítě stanic Českého hydrometeorologického ústavu. Mimo tuto síť je jen několik stanic, většinou s účelovým zaměřením [6]. Ze srovnání např. s hodnotami evapotranspirace metodou FAO [7] vyplývá, že vztah není jednoznačný [8]. Pravidelné měření výparu z vodní hladiny zařízením GGI-3000 bylo v síti měřicích stanic zahájeno v roce 1968, podobně na Slovensku [9]. V podstatě do roku 2011 byly přístroje GGI-3000 nahrazeny automatickými výparoměry EWM [10]. Z vyhodnocení vyplývá, že úhrny výparu a jejich časová proměnlivost se v jednotlivých lokalitách dost liší, což je dáno proměnlivostí dalších meteorologických prvků [11]. Průměrný denní výpar z celé oblasti České republiky z období 1971–2000 činil 2,6 mm a průměrný úhrn za vegetační sezonu V–IX se rovnal 393,7 mm. Průměrný denní výpar z oblasti jižní Moravy z období 1981–2010 činil 3,0 mm a průměrný úhrn za vegetační sezonu V–IX se rovnal 462,3 mm [10, 12].

Bylo zjištěno, že roční dynamika výparu významně klesá s růstem nadmořské výšky, podobně jako dlouhodobé průměrné úhrny výparu, i když z tohoto pravidla existují výjimky způsobené dalšími činiteli, jako zeměpisná šířka nebo konkrétní lokální podmínky geografického prostředí. Během třicetiletí 1971–2000 pouze na dvou lokalitách sezonní úhrny výparu mají statisticky významné růstové trendy, a to v Kroměříži a v Holovousech. Zvyšování výparu se v těchto lokalitách projevuje v nárůstu 50 až 60 mm za 10 let, což je výrazná změna pro procesy v krajině [10]. Tento poznatek zcela neodpovídá zjištění, že průměrné teploty vzduchu mají statisticky prokazatelný nárůst [13].

S ohledem na náročnost a nákladnost měření výparu a jeho jednotlivých druhů jsou celosvětově používány výpočty evaporace a evapotranspirace [14, 15]. Právě evapotranspirace tím, že blíže vyjadřuje výpar z porostů, lépe vyjadřuje celkový výpar z krajiny [16], ale je také součástí výpočtů závlahových dávek [15]. Pro určení výskytu či intenzity sucha využíváme zjednodušenou, v podstatě meteorologickou, vodní bilanci vyjádřenou vzájemným rozdílem úhrnů srážek a potenciální evapotranspirace. Označujeme ji jako základní (potenciální) vláhovou bilanci pro travní porost (dále jen ZVB_TP), která svými hodnotami umožňuje hodnotit také výskyty sucha v krajině [17]. Rozdíl mezi potenciální evapotranspirací a srážkami je ukazatelem pro hodnocení podoblastí v rámci agroklimatické rajonizace [18]. Taktéž je součástí výnosových modelů [19].

Obecně lze říci, že množství vody v naší krajině je v prvním kroku dáno průběhem počasí, ale o jejím dalším výskytu významně rozhodují vlastnosti našich půd, zvláště jejich retenční kapacita [20].

MATERIÁL A METODY

Meteorologické prvky naměřené na klimatologických stanicích jsou základem pro výpočty prováděné pomocí agrometeorologického modelu AVISO („Agrometeorologická Výpočetní a Informační Soustava") na ČHMÚ, pobočce Brno. Model je svou podstatou určen pro analýzu případů s převládajícím nedostatkovým množstvím srážek. Neřeší tedy problematiku nadbytku srážek a s tím spojenou otázku odtoku. Z tohoto pohledu se naskýtá jeho uplatnění pro analýzu existujících suchých období, resp. období, kdy se vyskytují minimální úhrny srážek.

Evapotranspirace je modelově počítána v denním kroku modifikovaným postupem podle algoritmů Penman-Montheith [21, 22]. Ve své potenciální podobě je prakticky shodná s maximálně možnými hodnotami výparu při optimálních vláhových podmínkách, s nimiž se v přírodním prostředí většinou nesetkáváme ve vegetačním období, resp. v teplém půlroce, ale podstatně častěji v zimě nebo v obdobích přechodných (jaro a podzim).

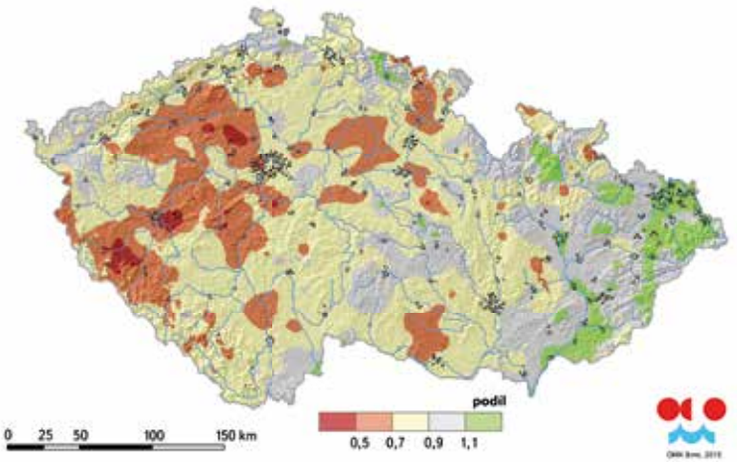
ZVB_TP jednoduchým způsobem vyjadřuje vláhové poměry v krajině za určitý časový interval. Počítá se jako aritmetický rozdíl srážek a evapotranspirace (potenciální, aktuální, referenční) za určité časové období, přičemž obě složky pro lepší vzájemné srovnání se vyjadřují v mm. Pro zjednodušení se neberou v úvahu žádné ze složek odtoku, stejně tak pro výpočet výparu v základní bilanční rovnici uvažujeme výrazné zjednodušení ve formě homogenního vypařujícího povrchu, který je svými fyziologickými vlastnostmi velmi blízký standardnímu travnímu porostu. Pokud bychom nepřistoupili k těmto zjednodušením, problematika vláhových bilancí, která je v přírodních podmínkách velmi náročná a složitá, by z pohledu krajiny jako celku byla prakticky neřešitelná. S ohledem na přístupnost vody v půdě pro rostliny vyjadřujeme zásobu využitelné vody v metrové vrstvě půdy s travním porostem (dále jen ZVVP), která je vypočtena přepočtem VVK v % [23].

VÝSLEDKY

Průběh sucha v jednotlivých letech na našem území není zcela stejný. Již bylo uvedeno, že v našich podmínkách jde o sucho nahodilé. Pokud jde o rok 2012, výrazně negativní potenciální vláhová bilance byla zvláště v měsících vegetačního období roku 2012. Srovnáním s dlouhodobým obdobím let 1961–2010 navíc docházíme k závěrům zvýšené negativní potenciální vláhové bilance. Tato skutečnost byla zaznamenána i při hodnocení pomocí kumulovaných úhrnů. Prokazatelné je to hlavně na moravských stanicích (Brno-Tuřany, Kuchařovice) a v Doksanech, kdy proti dlouhodobým měsíčním hodnotám je situace v roce 2012 o více než 50 mm horší (květen). Bereme-li v úvahu kumulované úhrny po měsících, pak ve vegetačním období je situace ještě horší, neboť oproti dlouhodobým poměrům do vyrovnané potenciální vláhové bilance schází i více než 200 mm (jižní Morava).

Zvláště pro zemědělské porosty bylo negativní, že v posledním týdnu května 2012 byl rozdíl oproti dlouhodobé hodnotě -100 mm a byl nižší na více jak 30 % území ČR. Nejvíce jsou opět postiženy jižní a střední Morava, dále Polabí, část Poohří a také plošně velké oblasti jihozápadních Čech a Šumavy. Vláhovou bilanci pod -100 mm už je možno považovat za mimořádné sucho. Pod -150 mm je na 3,5 % území, nejvíce na jižní Moravě, části Šumavy a na Přerovsku. Suchem v roce 2012 byla nejvíce zasažena jižní a střední Morava a výrazné negativní rozdíly přetrvávaly i v Polabí a na Šumavě. Na většině území byla negativní vláhová bilance ještě koncem září a místy překračovala hodnoty -200 mm.

Bylo by chybou posuzovat sucho samostatně jen v určitých měsících. Jeho vývoj je ovlivňován i průběhem počasí v zimě. Dokladem je výskyt sucha v roce 2015. Zima 2014/2015 jako celek byla oproti průměru na celém území teplejší, a to o 1,5 až 3,5 °C. Deficit srážek dosahoval až 50 %, na některých částech jižní Moravy a na větší části Čech. Jen na částech severní a východní Moravy byl



Obr. 1. Podíl srážkového úhrnu za zimu 2014/2015 vzhledem k dlouhodobému průměru 1961–2000

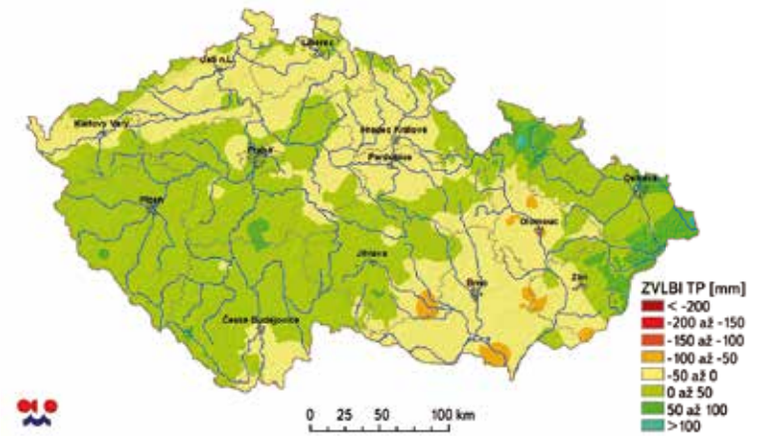
Fig. 1. Ratio between precipitation amount and long-term average (1961–2000) for the 2014/2015 winter

o něco vyšší než průměr (*obr. 1*). V průběhu měsíců dubna až června byly úhrny srážek na většině našeho území podnormální, takže koncem května v pásu od Karlových Varů přes střední Čechy až k Českým Budějovicím se jejich úhrn pohybuje mezi 50 až 75 % průměru. Obdobně je to na jižní a části střední Moravy. Tento stav se v červnu mění tak, že v Podkrušnohoří dochází k dorovnání průměru, naopak na Moravě se zvyšuje plocha území s deficitem srážek mezi 25 až 50 %. Mimořádně nízké úhrny srážek v červenci způsobují, že na většině našeho území byl deficit 25 až 50 %. Na několika místech, hlavně v oblasti jižní Moravy, je srážkový deficit více jak 50 %. Ovšem díky bouřkám jsou na těchto územích lokality, kde deficit srážek poklesl. Prohlubující se deficit v srpnu zastavily až srážky od 16. srpna. Na *obr. 2* je srovnání úhrnů srážek od 1. 1. do 13. 12. 2015 s průměrem za roky 1961 až 2000 v procentech.

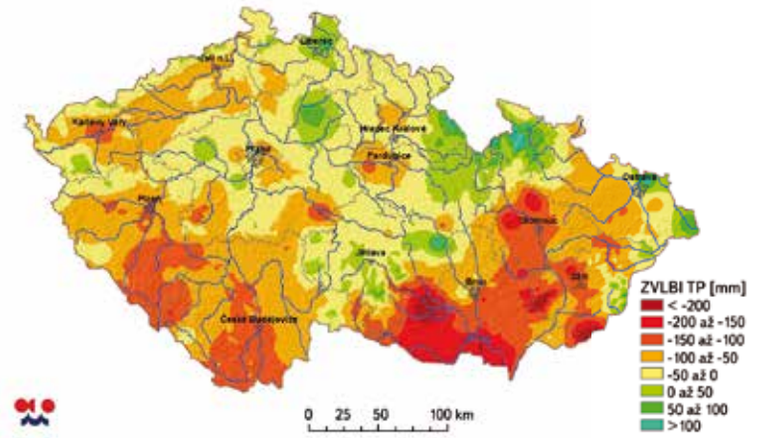
Díky těmto podmínkám dosahovaly hodnoty základní vláhové bilance v březnu průměrných hodnot, tomuto odpovídala i ZVVP v půdním horizontu. Průběh teplot vzduchu v dubnu vyvolával zvýšení hodnot evapotranspirace asi na polovině území Čech o 20 %, ale místy až o více než 40 %. Výskyt tropických veder zvyšuje deficit tak, že ke dni 12. 7. jsou místa, kde základní vláhová bilance má hodnoty pod -150 mm. Tento stav je po celý červenec s tím, že nehomogenitu tohoto pole způsobují lokální bouřky. Ovšem jejich ojedinělý výskyt neovlivňuje celkovou vláhovou bilanci, takže v polovině srpna překračuje na asi čtvrtině našeho území deficit hodnoty -200 mm. Přes výskyt srážek byly projevy zemědělského sucha na převážné části našeho území ještě v říjnu. Na severní Moravě potom až do konce roku 2015.

Jako mimořádně suchý se opět projevil na mnoha místech našeho území i rok 2017. Jak již bylo mnohokrát uvedeno, základem obsahu vody v půdě pro počátek vegetačního období jsou stavy počasí v průběhu zimy. Pokud jde o srážky, byly tyto za měsíce leden až březen na převážné části území Moravy, jižních a východních Čech v rozpětí 50 až 75 % dlouhodobého průměru, tedy podprůměrné. Na převážné části Čech potom činily 75 až 90 %, na některých místech odpovídaly dlouhodobému průměru. Ovšem díky nadprůměrným hodnotám teploty vzduchu dosahuje potenciální evapotranspirace v březnu na takřka celém území Moravy a Slezska přes 140 % oproti dlouhodobému průměru a v Čechách je to na více jak polovině území, jde převážně o střední a východní část Čech. ZVB_TP je za březen takřka na celém území v rozpětí od nuly po -50 mm.

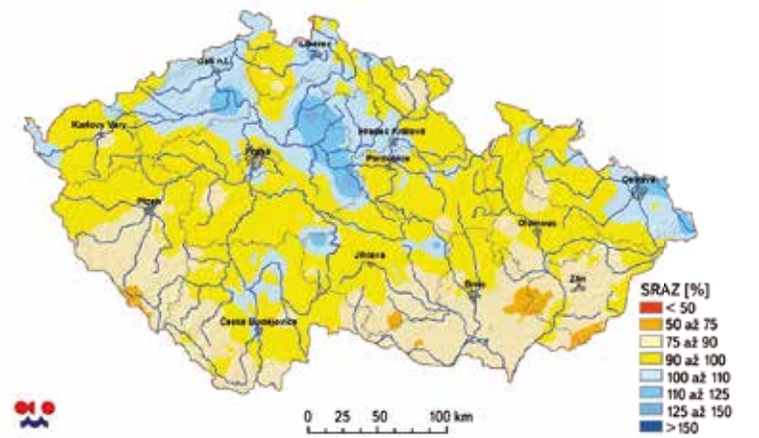
Obr. 2. Mapa srovnání úhrnů srážek za období 1. 1. až 13. 12. 2015 s průměrem za roky 1961–2000 vyjádřeného v % (zdroj: ČHMÚ)
Fig. 2. Map comparing precipitation amount from Jan 1 to Dec 13, 2015 with the long-term average (1961–2000) expressed in % (source: CHMI)



Obr. 3. Základní vláhová bilance území ČR (%), srovnání stavu od 1. 3. do 21. 5. 2017 k dlouhodobému průměru 1961 až 2010 (http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/sucho#)
Fig. 3. Basic water balance in the Czech Republic (%), comparison of values from Mar 1 to May 21, 2017 with the long-term average (1961–2010) (http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/sucho#)



Obr. 4. Základní vláhová bilance území ČR (%), srovnání stavu od 1. 3. do 30. 7. 2017 k dlouhodobému průměru 1961 až 2010 (http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/sucho#)
Fig. 4. Basic water balance in the Czech Republic (%), comparison of values from Mar 1 to Jul 30, 2017 with the long-term average (1961–2010) (http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/sucho#)



Obr. 5. Rozložení úhrnů srážek na území ČR za období 1. ledna až 1. října 2017 (http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/sucho#)
Fig. 5. Precipitation distribution in the Czech Republic from Jan 1 to Oct 1, 2017 (http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/sucho#)

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. Díky nepravidelnému rozložení srážek, místy velmi nízkému, dochází v průběhu května k velkým rozdílům v hodnotách ZVB_TP. Je to dáno oproti průměru vyšší potenciální evapotranspirací na převážné části našeho území, místy přesahující 140 % dlouhodobého průměru. Nacházíme místa se srážkami k 150 % a naopak pouze k 50 % procentům oproti průměru.

Přitom dostatek vody má pro většinu zemědělských plodin rozhodující význam. Jak vidíme na *obr. 3*, dochází v prvních třech týdnech května 2017 k deficitu ZVB_TP až k -100 mm na některých místech jižní a severní Moravy. V Čechách je od Podkrušnohoří přes severní oblasti až po východní Čechy stav mezi průměrem až -50 mm. Naopak od Prahy na jih a na severní Moravě je bilance kladná.

Nadprůměrné teploty v průběhu června a velmi rozdílné, ale převážně podprůměrné úhrny srážek však způsobují, že koncem června jsou místy hodnoty ZVB_TP na jihu Moravy, ale i Čech pod -100 mm, lokálně pod -150. Na jižní a střední části Moravy mají hodnoty pod 25 %, podobně jako dílčí území v Podkrušnohoří. Naopak střední Čechy v pásu až ke Krkonoším mají hodnoty průměrné, místy až několik desítek nad dlouhodobým průměrem. V červenci jsou srážky srovnatelné s průměrem na většině území. Teploty vzduchu jsou vyšší od 1 °C až přes 2 °C na jihu Moravy. Tím je dáno, že na většině území jsou hodnoty ZVB pod -100 mm. Na převážné části jižní a střední Moravy a v jižních Čechách jsou nižší jak -150, lokálně na jižní Moravě pod -200 mm. Ovšem v některých oblastech, zvláště na severu Moravy je ZVB_TP v hodnotách průměru. Lokálně jsou tyto hodnoty i v Čechách (*obr. 4*).

Srpen má úhrny srážek významně rozdílné v Čechách, kde jsou např. na západě, ale i v jižních Čechách až o 50 % vyšší než průměrné, ovšem na většině území Moravy a Slezska je to jen mezi 50 až 70 %. Ale teploty vzduchu jsou zde vyšší o více než 2 °C nad průměrem, kdežto na západě Čech je to jen do +1,5 °C. Výsledek je jasný. Hodnoty potenciální evapotranspirace jsou na převážné části republiky nadprůměrné.

Mínusové hodnoty ZVB se prohlubují, takže deficit nižší než 200 mm je na větších plochách, mají ho lokality na střední i severní Moravě. Hodnoty pod -150 mm nacházíme v celé jižní části republiky, ale také na Karlovarsku. Pokud jde o ZVVP, je víceméně stejná situace jako v červnu, tedy na jižní a střední

Moravě jsou hodnoty stále pod 25 %, podobně jako dílčí území v Podkrušnohoří a na jihovýchod od Plzně. Mírně se zmenšila oblast s průměrnou hodnotou ve středních Čechách, ale v pásu u Podkrkonoší zůstávají místa s hodnotami ZVVP u středních půd až několik desítek % nad dlouhodobým průměrem. Podobně je tomu v oblasti Jeseníků a severovýchodních Beskyd.

Výskyt vydatných srážek na počátku září z části snížil vláhový deficit. Takřka na třetině území Čech byl v polovině září dosažen, popř. i překročen, dlouhodobý průměr srážkových úhrnů k 1. 10. 2018 (*obr. 5*). Na Moravě pouze v jižní a střední části byly oblasti s úhrny mezi 50 až 75 % průměru. Dochází tak ke zlepšení ZVB, když na severní části Čech a Moravy má hodnoty dlouhodobého průměru. Ovšem na jižní a střední Moravě, ale i v jižních Čechách jsou stále katastry, kde chybí více jak 200 mm. V těchto je i ZVVP nízká, pohybuje se mezi 25 až 50 %. Tyto hodnoty nacházíme i v okolí Prahy. Pokračující výskyty srážek pozvolna vylepšují množství vody v půdě v konci vegetačního období, tedy koncem září. Jen na Moravě se nachází několik míst, kde je výskyt srážek mezi 50 až 75 % průměru. V Čechách je na sever od Prahy výskyt přes 100 %, podobně na severovýchodě Moravy. Ovšem ZVB_TP se zlepšuje jen nepatrně, v podstatě se od poloviny září výrazně nemění.

ZÁVĚR

Při hodnocení množství vody v naší krajině musíme brát v úvahu, že extrémy ve výskytu srážek jsou v posledních letech stále dynamičtější. Prokazatelný je růst teploty vzduchu za období 1961 až 2010, ale naopak je statisticky potvrzený setrvalý stav ročních úhrnů srážek. Z těchto poznatků vyplývá, že se může zvyšovat četnost výskytů sucha, což uvedená hodnocení dokládají.

Potvrzuje se, že hodnoty základní vláhové bilance a zásoby využitelné vody v metrové vrstvě půdy s travním porostem jsou vhodným ukazatelem určení výskytu sucha a hodnocení jeho intenzity. Předložené výsledky potvrdily, že území ČR je z hlediska vláhové bilance velmi rozdílné. Vliv na toto rozložení má proměnlivý výskyt srážek, ale také hodnoty teploty vzduchu, které jsou v suchých letech, hlavně v letním období, mimořádně vysoké. Sucho má určitý kumulativní charakter, v nepříznivých podmínkách se jeho intenzita a dopady s každým dnem zvyšují. Následky potom mohou trvat dlouhou dobu po jeho ukončení.

Nástupy sucha i místa výskytu jsou v závislosti na srážkách proměnlivé, ale přesto můžeme uvést, že se sucho nejčastěji vyskytuje v našich nejteplejších oblastech s nejnižšími ročními úhrny srážek. Z hlediska udržení srážkové vody v naší krajině jsou důležité vlastnosti našich půd jak zemědělských, tak lesnických, na kterých hlavně probíhá vsakování. Proto je důležité přijetí opatření pro zlepšení infiltrační schopnosti a zvýšení retenční kapacity těchto půd do původního stavu.

Souvisí s tím i opatření pro snížení eroze půdy, protože orniční horizont má tuto kapacitu významně vyšší než na erodovaných půdách, kde horní vrstvu tvoří podorničí. Zvýšení členitosti naší krajiny přispěje ke snížení odtoku vody.

Podle výsledků klimatologických modelů by mohlo dojít ke vzrůstu průměrných ročních teplot koncem tohoto století až o více než dva stupně, ale srážkové úhrny budou víceméně shodné se současnými. Z toho plyne jeden významný poznatek, že na našem území by se mohly významně snižovat hodnoty vláhové bilance, a to znamená zvyšování jak intenzity, tak četností výskytu sucha. Pro snížení negativních dopadů změn klimatu bychom měli konat preventivní kroky, aby se nedostatek vody nestal bezpečnostním rizikem.

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".

Tento článek byl zpracován na základě příspěvku, který byl publikován ve sborníku konference Vodní nádrže 2017, ISBN 978-80-905368-5-2.

Literatura

[1] ŽIDEK, D. a LIPINA, P. *Návod pro pozorovatele meteorologických stanic ČHMÚ*. Metodický předpis č. 13, Ostrava: ČHMÚ, 2003. 90 s.

[2] TOLASZ, R. a kol. Atlas podnebí Česka. ČHMÚ, Univerzita Palackého v Olomouci, 2007, 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1 (CHMI), 978-80-244-1626-7 (UP).

[3] STŘEŠTÍK, J., ROŽNOVSKÝ, J., ŠTĚPÁNEK, P. a ZAHRADNÍČEK, P. Změna ročních a sezonních srážkových úhrnů v České republice v letech 1961–2012. In: *Extrémy oběhu vody v krajině*, Mikulov, 2014 b. (CD-ROM).

[4] BRUTSAERT, W. *Evaporation into the Atmosphere*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Co., 1982, p. 299.

[5] KŘÍŽ, H. Výpar v povodí Moravy a Horní Odry. In: *Sborník prací Hydrometeorologického ústavu Československé socialistické republiky*. Praha: ČHMÚ, 1966, sv. 8, s. 34–58.

[6] BUCHTELA, Š. Výparoměrná stanice Hlasivo. In: ROŽNOVSKÝ, J. a LITSCHMANN, T. *Seminář „Evaporace a evapotranspirace" [online]*. [cit. 16. 8. 2011]. 2005. Dostupné z: http://cbks.cz/sbornik05/prispevky.htm

[7] ALLEN, R.G. and PRUITT, W.O. FAO-24 reference evapotranspiration coefficients. *Journal Irrig. and Drainage Engineering*, ASCE vol. 117, No. 5, 1991, p. 758–773.

[8] KNOZOVÁ, G., ROŽNOVSKÝ, J. a KOHUT, M. Srovnaní časových řad výparu naměřeného výparoměrem GGI-3000 a vypočítaného podle metodiky FAO. In: ROŽNOVSKÝ, J. a LITSCHMANN, T. (ed): *Bioklimatologie současnosti a budoucnosti*. Křtiny 12.–14. 9. 2005. Dostupné z: http://www.cbks.cz/sbornik05b/KnozovaRoznovskyKohut.pdf

[9] LAPIN, M. Zhodnocení výparu GGI–3000 na Slovensku za období 1969–1973. *Meteorologické Zprávy*, 1977, roč. 30., č. 6, s. 168–174. ISSN 0026-1173.

[10] KOHUT, M., ROŽNOVSKÝ, J., KNOZOVÁ, G. a BRZEZINA, J. *Měření výparu z vodní hladiny automatizovaným výparoměrem EWM v České republice*. Práce a studie. Praha, 2016.

[11] MONTEITH, J.L. and UNSWORTH, M.H. *Principles of Environmental Physics*. London: Edward Arnold, 1990. 2nd ed., p. 291.

[12] KOHUT, M., ROŽNOVSKÝ, J. a KNOZOVÁ, G. *Měření výparu z vodní hladiny výparoměrem GGI–3000 v České republice*. Práce a studie 35. Praha: ČHMÚ, 2013, 95 s. ISBN 978-80-87577-16-5. ISSN 1210–7557.

[13] STŘEŠTÍK, J., ROŽNOVSKÝ, J., ŠTĚPÁNEK, P., and ZAHRADNÍČEK, P. Increase of annual and seasonal air temperatures in the Czech Republic during 1961–2010. In: ROŽNOVSKÝ, J. and LITSCHMANN, T. eds. *Mendel and Bioclimatology. Conference proceedings, Brno, 3rd-5rd Sep. 2014 [CD-ROM]*. Brno: 2014. ISBN 978-80-210-6983-1.

[14] ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., and SMITH, M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Food and Agriculture Organization. *FAO Irrigation and Drainage Papers*, 1998, No. 56, p. 301.

[15] BOS, M.G., VOS, J., and FEDDES, R.A. CRIWAR 2.0. *A simulation model on Crop Irrigation Water Requirements*. Wageningen: ILRI publication 46, 1996, p. 117.

[16] PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London*. Series A, 1948, vol. 193, No. 1032, p. 120–145.

[17] ROŽNOVSKÝ, J. a kol. Agroklimatologická studie o výskytu sucha na území ČR v roce 2012 a za období srpen 2011 až srpen 2012. *Zpráva pro Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy*. Brno: ČHMÚ, pobočka Brno, 2012, 67 s.

[18] KURPELOVÁ, M., COUFAL, L. a ČULÍK, J. Agroklimatické podmienky ČSSR. Bratislava: Hydrometeorologický ústav, 1975. 270 s.

[19] DOORENBOS, J. and PRUITT, W.O. Guidelines for Predicing Crop Water Reqiurements. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper 24, 2nd ed. FAO, 1977, p. 156.

[20] VOPRAVIL, J. a kol. *Půda a její hodnocení v ČR*. Díl I. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i., Praha, 2. vydání, 2010. 147 s. ISBN 978-80-87361-05-4.

[21] BURMAN, R. and POCHOP, L.O. *Evaporation, Evapotranspiration and Climatic Data*. Amsterdam: Elsevier Science B. V., 1994. p. 275.

[22] ŠTĚPÁNEK, P. and ZAHRADNÍČEK, P. Experiences with quality control and homogenization of daily series of various meteorological elements in the Czech Republic, 1961–2007. In: *Proceedings of the Sixth seminar for homogenization and quality control in climatological databases (Budapest, 25.–30. May 2008)*, WCDMP, WMO, Genova. 2008.

[23] NOVÁK, V. Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovania. Bratislava: SAV, 1995. 260 s.

Autoři

RNDr. Ing. Jaroslav Rožnovský, CSc.[1,2]
✉ roznovsky@chmi.cz

RNDr. Filip Chuchma[1]
✉ filip.chuchma@chmi.cz

Ing. Rostislav Fiala[1]
✉ rostislav.fiala@chmi.cz

RNDr. Mojmír Kohut, Ph.D.[1]
✉ mojmir.kohout@chmi.cz

[1]Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno
[2]Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta

Příspěvek prošel lektorským řízením.

WATER BALANCE – EXPRESSION OF THE AMOUNT OF WATER IN LANDSCAPE

ROZNOVSKY, J.[1,2]**; CHUCHMA, F.**[1]**; FIALA, R.**[1]**; KOHUT, M.**[1]

[1]Czech Hydrometeorological Institute, Brno Branch
[2]Mendel University in Brno, Faculty of Horticulture

Keywords: water balance – precipitation amount – potential evapotranspiration – drought

Course of the weather in the last years shows that variability of the weather increases and this also leads to a higher frequency of floods, as well as drought. Drought, regardless of its type, means that there is a lack of water in landscape. The question is how to express the amount of water in landscape in the most suitable way. The Brno branch office of the Czech Hydrometeorological Institute uses the AVISO model to calculate basic water balance in weekly steps for grassland, expressed by the difference between precipitation amount and potential evapotranspiration. The calculation uses daily values of sunshine duration, air temperature and humidity and wind speed. The basic assumption of extraordinary drought is low precipitation amount and longer periods without rain. However, high air temperatures also have an effect. Analysis of years with extraordinary drought shows that the course of water balance deficit is different in each year. By the end of vegetation period the deficit is even over 200 mm.

Vliv dostupnosti kyslíku a dusičnanů na cyklus fosforu v sedimentu – příklad nádrže Vranov

JIŘÍ JAN, JAKUB BOROVEC, DANIEL PETRÁŠ, NANA OSAFO, IVA TOMKOVÁ, TOMÁŠ HUBÁČEK

Klíčová slova: sediment – kyslík – fosfor – železo – eutrofizace

SOUHRN

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 pět týdnů ve třech různých variantách, které simulovaly: i) anoxický vodní sloupec se současným vyčerpáním NO_3^-, ii) saturovaný vodní sloupec s 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 určili vliv železa (Fe) v tomto sedimentu.

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.

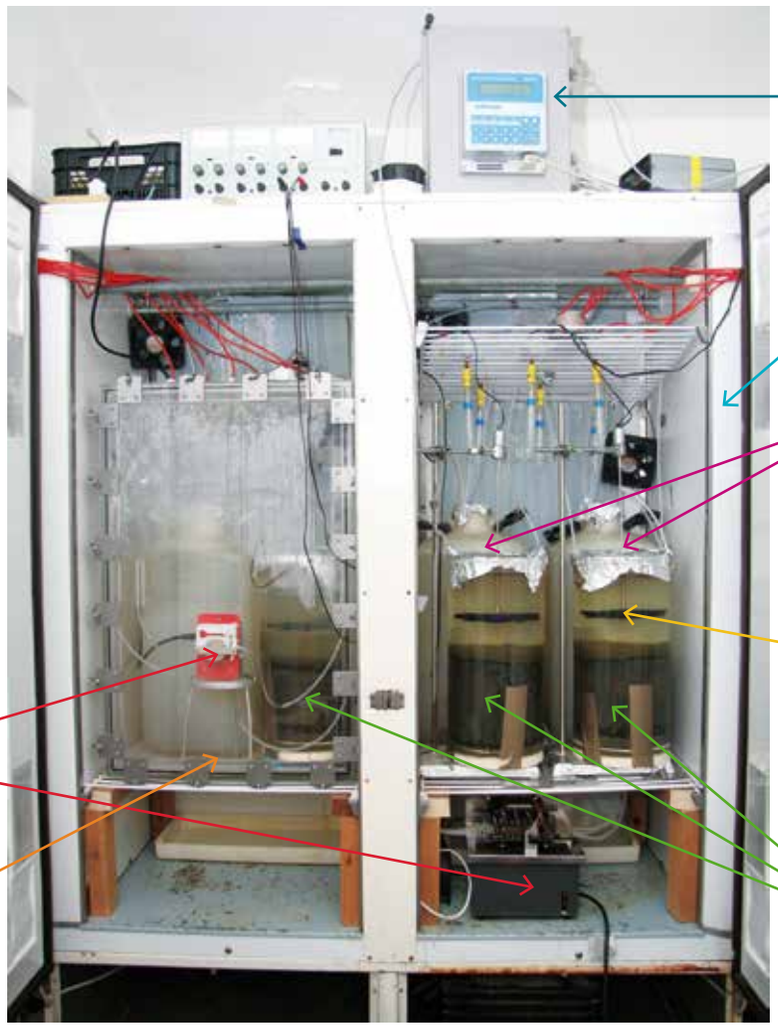
Přítokové části nádrží obvykle zachycují největší objemy sedimentů, jejich množství a kvalita se však liší nejen v podélném, ale i v příčném profilu nádrže v závislosti na hydraulických vlastnostech vodního sloupce. V přítokových zónách rovněž dochází k nejmasovějšímu rozvoji řas a sinic, jejichž biomasa 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 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 rozrušování 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. Fe^{III} sloučeniny a zejména jeho (hydr)oxidy jsou hlavním vazebným partnerem pro P, proto 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.



Obr. 1. Inkubační 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)
Fig. 1. Incubation box allowing parallel incubation of sediment samples (kori with intact vertical profile) to monitor the effect of water composition over sediment (O_2, NO_3^- concentration); the system includes a water reservoir which increases the volume of water above the sediment involved in circulating circulation provided by peristaltic pumps, a stirring system over the sediment (a stirring propeller with a uniform mixing rate) and a box allowing simulation of oxygen free conditions (a plexiglass chamber with a flow of pure N_2 gas)

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 paralelní vzorky sedimentů z identické lokality byly odebrány inovovaným gravitačním odběrákem do plexiskloových trubic o průměru 20 cm a výšce 40 cm. Takto odebrané vzorky umožnily zachování svrchní vrstvy sedimentu s neporušeným vertikálním profilem, který odpovídal stavu sedimentů v nádrži (vzorky z průběhu inkubace viz *obr. 1*). Současně byla z vodního sloupce nade dnem odebrána voda do 25 l 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 nad plochu sedimentu vzorků v trubicích.

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 tři 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

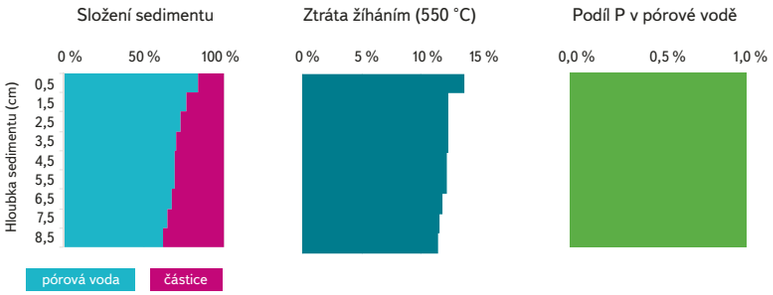
Každý týden byl monitorován ve všech variantách vývoj koncentrací rozpuštěných látek v pórové vodě vertikálního profilu sedimentu. Pro vzorkování pórové vody byla použita upravená technika DET (Diffusive Equilibrium in Thin Film). Minipeeper s aktivní gelovou částí o celkové délce 9 cm byl zasunut do 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. V těchto vrstvách byl stanoven obsah (105 °C, 2 hod) a ztráta žíháním, která odpovídá obsahu organické složky v částicích sedimentu (550 °C, 2 hod). Vzorky z jednotlivých vrstev byly analyzovány pomocí frakcionace podle Jan a kol. [5], ke stanovení forem P a jeho vazebných partnerů (*tabulka 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".

Tabulka 1. Označení jednotlivých extrahovaných frakcí a popis nejdůležitějších forem P, Mn, Fe a Al extrahovaných v jednotlivých extrakčních krocích
Table 1. Labeling of individual extracted fractions and description of the most important forms of P, Mn, Fe and Al extracted in individual extraction steps

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 $CaCO_3$ s adsorbovaným P Fe ve formách sulfidů, uhličitanů a křemičitanů
7.	zbytek	nedostupné formy s extrakčními činidly



Obr. 2. 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
Fig. 2. Basic characteristics of the composition of the studied sediment from the inlet part of the Vranov reservoir; left – percentage weight of porous water and particles, middle – loss of particle annealing at 550 °C, right – percentage of content of P in pore water to total P content in individual layers of sediment

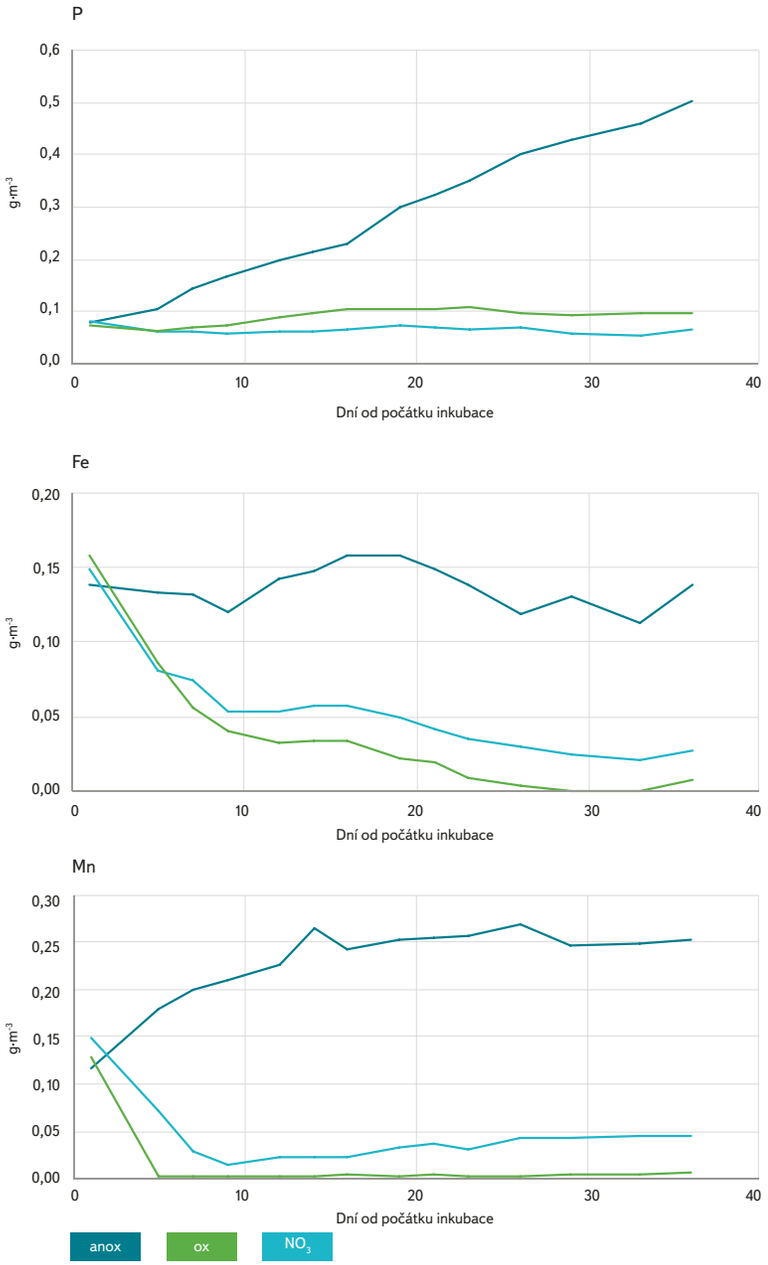
VÝSLEDKY A DISKUSE

Obecné vlastnosti sedimentu

Základní parametry sedimentu před zahájením inkubací jsou vyobrazeny na *obr. 2*. Sediment obsahoval 86 % vody v 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 způsoben nasedimentovanou organickou hmotou v průběhu produkční sezony 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

Výsledky monitoringu vody nad sedimentem v průběhu inkubačního pokusu ukázaly výrazný vliv podmínek během inkubace (*obr. 3*). 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 m^2 tak v anoxii uvolnil celkem 435 mg P během 35 dní inkubace, vyjádřeno na koncentrace, zatímco počáteční stav byl 70 mg·m^3 P, koncový stav 505 mg·m^3 P, což znamená, že 1 m^2 sedimentu každý den obohatil 1 l 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 *obr. 3*, a koncentrace rozpuštěného Fe zůstala na stabilní nízké koncentraci. V oxických variantách došlo k dalšímu poklesu koncentrace Fe, tedy k 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.



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

Fig. 3. The course of variations in P, Fe and Mn concentrations in water above the sediment area of 1 m^2 and the height of the water column 1 m, expressed in units of g·m^{-3}

Analýza pórové vody

Z analýz pórových vod (*obr. 4*) je patrné, že na počátku inkubace (den 0) byl vysoký obsah celkového rozpuštěného P v jednotlivých vrstvách sedimentu včetně nejsvrchnější vrstvy 0-0,5 cm (c = 3,3±0,5 mg·l^{-1} P). Tato koncentrace byla téměř 50× 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 obsahujících 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 byl ještě výraznější u inkubovaného sedimentu s vyšší koncentrací NO_3^- ve vodním sloupci (NO_3). Nízký obsah P tak zapříčinil, že sedimenty P neuvolňovaly.

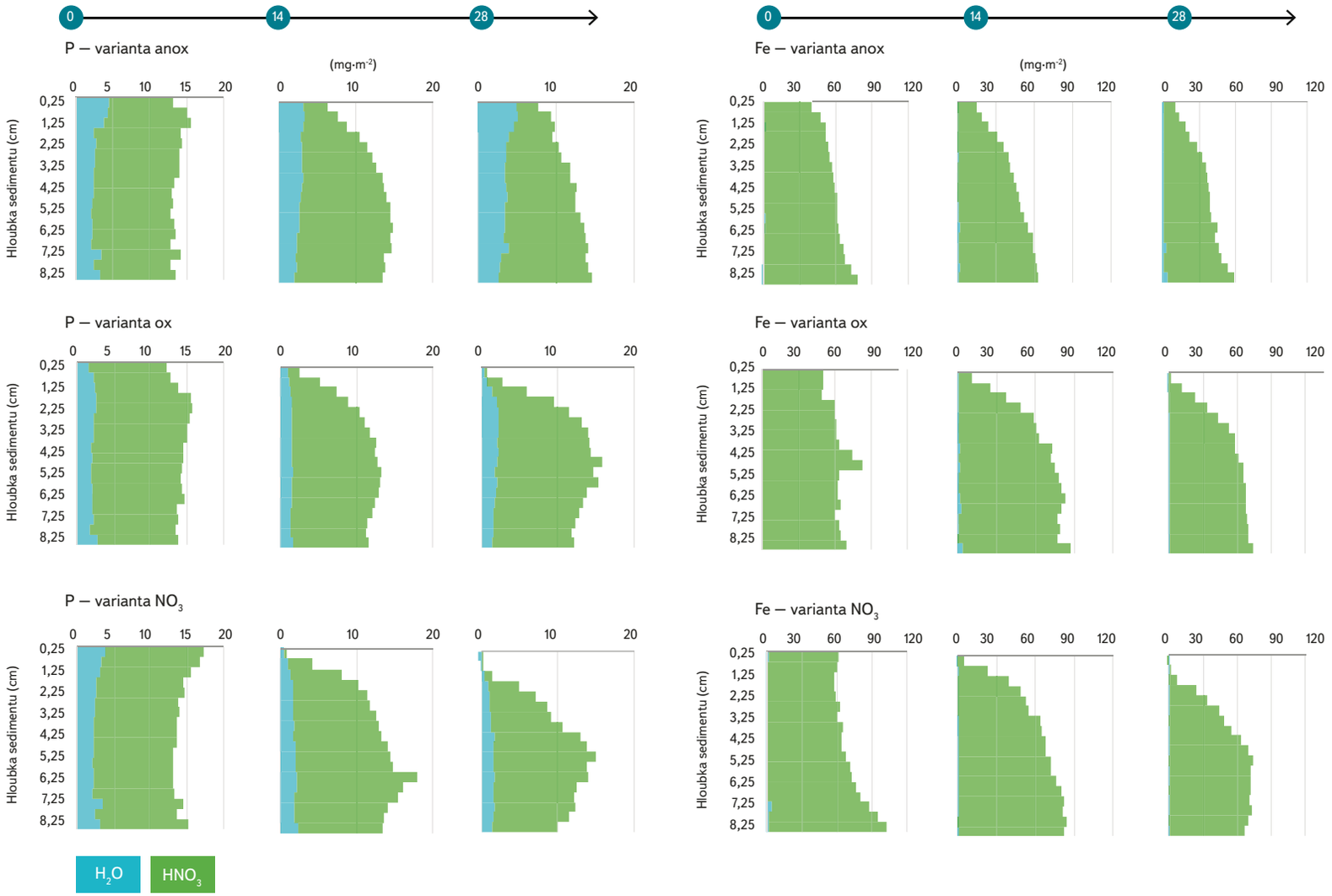
Pokud se zaměříme na profily rozpuštěného Fe v pórové vodě (*obr. 4*), je patrné, že mají stejný průběh, jako u P. Znamená to, že v sedimentu nedocházelo k rozpouštění železitých sloučenin s P, naopak díky přítomnosti oxické vody nade dnem docházelo k postupnému „prooxidovávání" svrchní vrstvy sedimentu 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) H_2O frakce (modrá složka) 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 pocházejícím ze stejné pórové vody a vytvořit nové částice a ii) HNO_3 frakce (oranžová část), která je s tímto rozpuštěným Fe potencionálně srazitelná v oxických podmínkách. H_2O 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 dostupným.

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 na *obr. 5*. Průměrně 29±3 % P bylo vázáno ve vysoce redukčně labilních sloučeninách Fe a Mn (frakce BD-I), 30±3 vázáno 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 (*obr. 6*). 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 P o 48 %, pokles Fe o 38 %, viz *tabulka 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 poměrem S : Fe – 1 : 1). Naopak v obou oxických variantách došlo k nabohacení P v BD-I frakcích,



Obr. 4. Analýza změn koncentrací P a Fe v pórové vodě jednotlivých inkubovaných variant sedimentů v průběhu inkubace (den 0, den 14 a den 28); jsou zde zvýrazněny nejaktivnější první 3 cm sedimentu vykazující změny v koncentracích

Fig. 4. Analysis of changes in P and Fe concentrations in the porous water of individual incubated sediment variants during incubation (day 0, day 14 and day 28); there are highlighted the most active first 3 cm of sediment exhibiting changes in concentrations

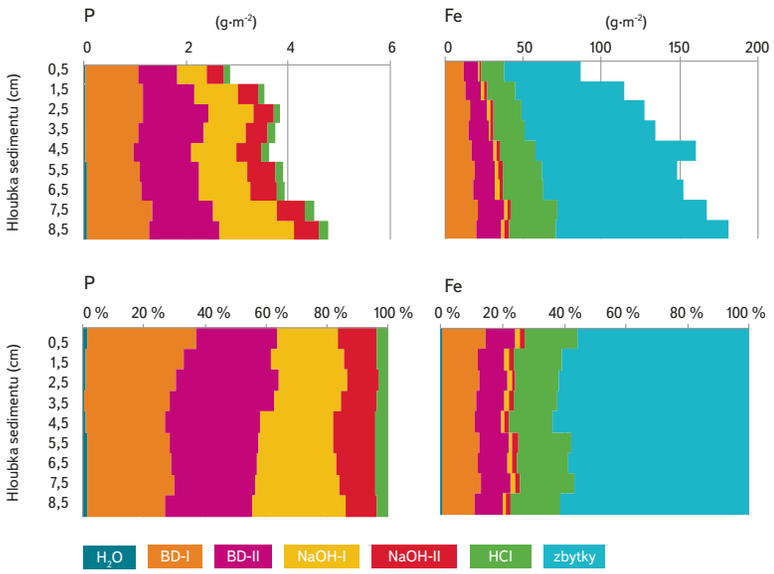
a to o desítky procent (*obr. 6, tabulka 2*). Tento efekt byl způsoben jednak vysrážením rozpuštěného P a Fe z pórové vody a pravděpodobně také díky přeměně původních hůře dostupných (hydr)oxidů Fe. Zatímco při dostupnosti rozpuštěného O_2 a NO_3^- docházelo k nabohacení množství P a Fe v BD-I frakci, došlo k ochuzení 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 Fe^{II} iontů taktéž na površích těchto sloučenin. Oba mechanismy v sedimentech znepřístupňují bakteriím přenášet elektrony na Fe^{III} (hydr)oxidy [6, 7]. 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 (*tabulka 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 předchozího monitoringu lze předpokládat:

- Při ploše sedimentů s oxicko-anoxickým režimem 200 000 m^2, průměrnou hloubkou této části nádrže 1,5 m je objem vody nad plochou: 300 000 m^3, pak, při koncentraci rozpuštěného P 0,05 $mg \cdot l^{-1}$ je ve stanoveném objemu obsaženo 15 000 g P.
- Při uvolňování 12,4 $mg \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ je denně do definovaného objemu uvolněno 2 500 g P, tj. 17 % dostupného P ve vodním sloupci.



Obr. 5. Obsah jednotlivých forem P a Fe a jejich procentuálního zastoupení v sedimentu stanovených pomocí frakcionační analýzy

Fig. 5. Content of individual P and Fe forms and their percentages in sediment determined by fractionation analysis

Obr. 6. 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

Fig. 6. P, Fe and Mn content in the upper 3 cm sediment extracted in BD-I and BD-II fractions prior to incubation (start option) and after incubation of individual variants (anox, ox and NO_3 variant); AVS-Fe was determined as sulphide sulfur converted to Fe in a molar ratio of 1 : 1

— Ve svrchní vrstvě 0–3 cm sedimentu, za anoxických podmínek, je obsaženo 20 mg·m^{-2} rozpuštěného a nesrazitelného P (H_2O frakce). Při uvažované ploše 200 000 m^2 se toto množství rovná 12 000 g P. Toto množství představuje 80 % dostupného P přítomného ve vodním sloupci nad danou lokalitou. Při potencionální resuspenzi sedimentu by se tedy uvolnilo obrovské množství okamžitě dostupného P.

— Za přítomnosti kyslíku a současně NO_3^- ve vodním sloupci (varianta NO_3) je obsah tohoto nejrizikovějšího P ve vrstvě 0–3 cm pouze 3 mg·m^{-2} P. V definované ploše je toto množství rovno 1 800 g P, tj. 15 % dostupného P ve vodním sloupci. Sedimenty v takovémto stavu jsou při resuspenzi daleko méně problematické.

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
Table 2. Percent changes of P and Fe during incubation in BD-I and BD-II fractions relative to pre-incubation and molar Fe/P ratios in individual fractions and sediment layers

	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

ZÁVĚR

Sedimenty 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 (hydr)oxidy Mn a zejména pak Fe při mikrobiální mineralizaci nasedimentovaného organického materiálu. Rozpouštění těchto (hydr)oxidů s nasorbovaným P pak vede k uvolňování velkého množství 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 narušení povrchu sedimentu 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 MŠMT (projekt č. LM2015075 a EF16_013/0001782 – SoWa Ecosystems Research).

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

Literatura

[1] KOSOUR, D., DURAS, J. a 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.

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

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

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

[6] RODEN, E.E. and URRUTIA, M.M. Ferrous iron removal promotes microbial reduction of crystalline iron (III) oxides. 1999. Environ Sci Technol. 33: 1847–1853.

[7] EUSTERHUES, K., HÄDRICH, A., and NEIDHARDT, J., et al. Reduction of ferrihydrite with adsorbed and coprecipitated organic matter: Microbial reduction by Geobacter bremensis vs. abiotic reduction by Na-dithionite. 2014. Biogeosciences 11: 4953–4966.

Autoři

Mgr. Jiří Jan, Ph.D.
✉ jiri.jan@bc.cas.cz

RNDr. Jakub Borovec, Ph.D.
✉ jakub.borovec@bc.cas.cz

MSc. Daniel Petráš
✉ daniel.petras@bc.cas.cz

MSc. Nana Osafo
✉ nana.osafo@bc.cas.cz

Ing. Iva Tomková
✉ iva.tomkova@bc.cas.cz

Ing. Tomáš Hubáček, Ph.D.
✉ tomas.hubacek@bc.cas.cz

Biologické centrum AV ČR, v. v. i., Výzkumná infrastruktura SoWa

Příspěvek prošel lektorským řízením.

THE IMPACT OF OXYGEN AND NITRATES AVAILABILITY ON PHOSPHORUS CYCLE IN SEDIMENTS – AN EXAMPLE OF THE VRANOV RESERVOIR

JAN, J.; BOROVEC, J.; PETRAS, D.; OSAFO, N.; TOMKOVA, I.; HUBACEK. T.

Biology Centre CAS, SoWa Research Infrastructure

Keywords: sediment – oxygen – phosphorus – iron – eutrophication

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.

Jak se projevuje úroveň zákonných a technických předpisů na aplikaci modrozelené infrastruktury

JIŘÍ VÍTEK

Klíčová slova: hospodaření s dešťovou vodou — modrozelená infrastruktura — městské odvodnění — Operační program Životní prostředí

SOUHRN

Česká republika v dostatečné míře nevytváří předpoklady pro koncepční přístup k odvodňování měst a obcí podle principů udržitelného rozvoje. Ministerstvo zemědělství ČR, které má v gesci vodu, zcela ignoruje skutečnost, že adaptace urbanizovaných území na změnu klimatu mimo jiné stojí na důsledné aplikaci principů hospodaření s dešťovou vodou, a to 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 vlastních koncepčních dokumentů s pravidly pro aplikace modrozelené infrastruktury. Jsou metody, kterými toho lze na úrovni měst a obcí dosáhnout, účinné, a jsou využívány? Jak obce a města využívají finančních pobídek od SFŽP? Dá se lokálními postupy, dokumenty a pravidly nahradit role státu?

ÚVOD

Naše projektová kancelář se za posledních 12 let spolupodílela na vzniku několika dokumentací, které hospodaření s dešťovou vodou (HDV), tento nový systém odvodňování urbanizovaných území, zaváděly do koncepcí odvodnění, do generelů odvodnění měst a do metodických příruček na úrovni systémového opatření. Pro statutární město Karviná jsme v rámci mezinárodního projektu RainDROP [1] vytvářeli metodiku, jak principy HDV začlenit do územního plánu města. Pro Hranice na Moravě jsme spoluvytvářeli zásady pro matematický model kanalizačního generelu města, kde byla rozvojová území odvodněna již podle pravidel HDV. Pro statutární město Hradec Králové jsme se podíleli na vytvoření Studie odtokových poměrů (SOP) [2], přenesení jejich principů do matematického modelu kanalizačního generelu a na Metodické příručce pro aplikaci principů HDV do praxe. Zkušenosti z Hradce Králové jsme uplatnili ve statutárním městě Olomouc, kde jsme také vytvořili SOP [3] a Metodickou příručku HDV. Oběma městům jsme doporučili vypracování Městských stavebních standardů a v současnosti je pro město Olomouc zpracováváme. Výčet dokumentací, na kterých vznikaly naše zkušenosti s tvorbou a projednáváním pravidel pro zavádění HDV, je tu uveden ze stejného důvodu, jako se ve výzkumu nějakých vzorků, nebo ve vyhodnocování reakcí zkoumaných respondentů, uvádí jejich počet, aby se tím stanovila míra pravděpodobnosti, že se tento jev nebo chování lidí bude opakovat, než se tato zkušenost zobecní.

Na rozdíl od většiny článků v tomto časopise, který je zaměřený na výzkum, budou v tomto článku popsané poznatky často subjektivní, prakticky nezměřitelné a číselně nevyhodnotitelné. Často se bude jednat o chování lidí, které se ve všech projektech opakovalo, ale protože předmětem našeho zadání nebylo vyhodnocování chování zúčastněných, nezaznamenávali jsme je a nevyhodnocovali je. Časem jsme ale pochopili, že se jedná o jistý vzorec chování, který vážně mění výsledek naší práce. Bylo nutné ho vyhodnotit a třeba změnit obsah dokumentace, nebo metodické postupy v příručce, či způsob vyhodnocování výsledků matematického modelu se srážkoodtokovým dějem podle principů HDV. Práce na výše uvedených dokumentacích vyžadovala zcela nový přístup, protože jsme tvořili zcela novou dokumentaci, pro zcela nové řešení odvodnění. A toto řešení bude vyžadovat pochopení nové role vody ve městě a zásadně jiného přístupu k ní.

Když jsme vyhodnotili základní atributy současné situace ve vodním hospodářství měst z pohledu role státu a když jsme získali zkušenost se zaváděním principů udržitelného rozvoje do života měst, uvědomili si, že je potřeba tyto zkušenosti zveřejnit, i když se nejedná o žádné vědecko-výzkumné poznání.

Původnost našeho sdělení snad nelze zpochybnit, jelikož se domnívám, že naše poznatky a zkušenosti jsou unikátní.

SOUČASNÁ SITUACE V APLIKACI MODROZELENÉ INFRASTRUKTURY NA ÚROVNI STÁTU

Stavební a vodní zákon předepisují dodržování principů hospodaření s dešťovou vodou nekoordinovaně, což v našich městech a obcích aplikaci modrozelené infrastruktury velmi ztěžuje. Modrozelená infrastruktura jsou přírodě blízká opatření, která vrací vodnímu režimu jeho původní podobu. Našim úkolem je srážkovou vodu bezpečně vsakovat do podzemí, zvyšovat prostřednictvím zeleně její evapotranspiraci a smysluplně ji využívat k provozu nemovitostí. Zeleň poté města a její obyvatele daleko lépe 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. Není jasné, co má projektová příprava obsahovat, jaké jsou relevantní podklady, či jsou-li objekty HDV

vodními díly. Stejně tak není u změn staveb a změn jejich užívání jasné, kam až sahá povinnost přebudovat/dobudovat u těchto stávajících staveb jejich odvodnění [4, 5]. 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 poplatky neplatí. Chybí tak finanční motivace pro majitele těchto nemovitostí.

Do technických předpisů jednotlivých oborů českého stavebnictví doposud nebyla zapracována 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. Technické normy pro komunikace a pozemní stavby doposud neintegrovaly požadavky, které jsou obsažené, nebo vyplývají z TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami. Nejpatrnější je to u ČSN 73 6005 Prostorové uspořádání sítí technického vybavení. V této normě objekty decentrálního odvodnění, resp. modrozelené infrastruktury vůbec nefigurují, tzn. že v uličních profilech není definována poloha inženýrských sítí vůči MZI, jejich vzájemné situační a výškové uspořádání, nejsou stanovena ochranná pásma.

Připravit města a obce na změnu klimatu vyžaduje změnit v mnoha oborech náhled a myšlení všech, kteří nemovitosti staví, schvalují a povolují, nebo v nich bydlí. V procesu výstavby zejména staveb pro bydlení je státní správa jedinou instancí, která může dodržování pravidel udržitelného rozvoje zajistit. Snaha některých developerů tato pravidla obcházet, vyžaduje, aby státní správa měla k dispozici kvalitní právní a technické předpisy, kterým bude rozumět a nebude o nich pochybovat.

METODY, JIMIŽ LZE MODROZELENOU INFRASTRUKTURU DO MĚST A OBCÍ INTEGROVAT

Letitá stagnace zájmu odpovědných ministerstev vytvořit ucelené a sladěné právní a technické předpisy nás v průběhu let vedla k podpoře měst a obcí, aby si vytvářela územně plánovací dokumentace s integrovanými pravidly pro aplikaci modrozelené infrastruktury, které budou platné a závazné na katastrech, který spravují. V tomto doporučení jsme vycházeli z toho, že lze využít těch paragrafů z platných zákonů, které se HDV zabývají a nevšímat si těch, které jsou s nimi v rozporu.

Na základě 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 a aplikaci MZI, tak si musí vytvořit tři klíčové koncepční dokumenty – Studii odtokových poměrů, Městské stavební standardy a Metodickou příručku pro aplikaci HDV, resp. MZI.

STUDIE ODTOKOVÝCH POMĚRŮ (SOP) – KONCEPCE ODVODNĚNÍ MĚSTA

Většina českých měst má koncepci odkanalizování a odvodnění definovanou kanalizačním generelem. Tyto generely vychází z pasportů kanalizace a prostřednictvím matematického modelu město získává informace o provozních stavech ve stokové síti podle toho, jak se bude rozvíjet. Tyto generely byly vytvořeny na konvenční odvodnění, v době, kdy se ještě principy HDV neznaly. V současnosti je jen málo měst, jejichž kanalizační generely, resp. jejich matematické modely stokové sítě mají principy HDV do sebe zapracovány na úrovni systémového opatření. Srážkoodtokový děj konvenčního odvodnění, kdy voda odtéká nejkratší cestou z pozemku do kanalizace, nebo řeky, je zcela jiný, než je tomu u decentrálních systémů odvodnění, které principy HDV naplňuje. Když uvážíme, že stavební zákon vyhláškou č. 501/2006 Sb. předepisuje povinnost regulovat odtok srážkových vod ze všech nových staveb od roku 2007 a zákon o vodách č. 254/2001 Sb. tuto povinnost od 1. 8. 2010 vztahuje i na stávající zástavbu, na které provádíme změny nebo měníme jejich užívání, tak je snad nejvyšší čas generely aktualizovat.

Tomu by ale mělo předcházet vytvoření koncepce odvodnění města tzv. studie odtokových poměrů. Základní smysl a význam zároveň tohoto dokumentu je v tom, že v zemi, kde je chaos v dodržování výše uvedených právních ale i technických předpisů, získá město dokument, který mu umožní mít představu o tom, jaká opatření se na celém území města mají či mohou aplikovat. Jak vypadá povinnost ctít principy HDV tam, kde jejich aplikace jednoduchá, jak tam, kde je komplikovaná a tam, kde aplikace principů HDV je velmi omezená.

Koncepce odvodnění ze zásad HDV vytvoří systémová pravidla a opatření, podle kterých se ve městě začne stavět a přestavovat veškerá zástavba při dodržení principů udržitelného rozvoje. Smyslem HDV je prevence proti záplavám a tím se stává nedílnou součástí adaptace na změnu klimatu. Je nanejvýš vhodné, aby si města spolu s koncepcí odvodnění tvořila koncepci prevence proti suchu a celé se to spojilo do jednoho dokumentu, který bude součástí celkové adaptace města na změnu klimatu.

SOP – koncepce odvodnění města podle principů HDV přináší:

- snížení dopadů lokálních záplav, kdy na relativně malou urbanizovanou plochu spadne obrovské množství vody (jev, který změnu klimatu charakterizuje);
- zmenšení podílu čisté srážkové vody v jednotné kanalizaci, čímž se sníží počet přepadů na odlehčovacích komorách;
- snížení podílu zředěné odpadní vody v povrchových tocích – sníží se tím četnost hydraulických a látkových šoků, které řeky a potoky při přívalových srážkách dostávají;
- zvýšení dotace podzemních vod;
- zvýšení vlhkosti ovzduší v zástavbě s MZI, která město ochlazuje při dlouhých obdobích sucha, kdy roste počet tropických dnů (jev, který změnu klimatu charakterizuje).

V rámci tvorby koncepce odvodnění města se dokonale zmapují možnosti aplikace HDV ve stávající zástavbě a to, jaký to bude mít vliv na kapacitu stokové sítě, čistotu povrchových toků, které jím protékají a režim podzemních vod.

Zaměření SOP odpovídá účelu, jakému má sloužit a obsahuje:

- zmapování potenciálu města či obce, ve které stávající zástavbě lze aplikovat principy HDV a za jakých podmínek lze stávající konvenční odvodnění přestavět na decentrální, popř. integrovat MZI;
- definování podmínek aplikace modrozelené infrastruktury pro novostavby;
- vyhodnocení území z hlediska významu místních vodních režimů, která jsou pro jakoukoli výstavbu nevhodná až nezpůsobilá;
- analýzu větších rozvojových ploch – stanovení podmínek, za jakých bude možné do nich postupně a nepravidelně vstupovat, aniž by byla ohrožena bezpečná aplikace modrozelené infrastruktury;
- zapracování principů HDV do kanalizačního generelu města.

SOP se dělí:

A. podle legislativy ČR – je nanejvýš vhodné sladit výklady právních předpisů na obou úrovních státní správy;

B. podle stupně PD – formulace závazných pravidel, která jsou specifikována pro jednotlivé typy dokumentací, stupně a fáze projektové přípravy až po předání/převzetí stavby do užívání;

C. podle místa stavby – pro návrh a posouzení odvodnění stávající zástavby lze využít kategorizace území a pro návrh a posouzení odvodnění novostaveb na rozvojových plochách platí pravidla a postupy předepsané v návrhu odvodnění rozvojových ploch;

D. podle principů HDV – jde o definice parametrů objektů HDV pro návrh a posouzení odvodnění všech staveb.

MĚSTSKÉ STAVEBNÍ STANDARDY (MSS)

Jak už bylo výše uvedeno, v českých technických předpisech chybí zkoordinované zásady HDV s ostatními stavebními profesemi tak, aby řešitelé a schvalovatelé projektových dokumentací věděli, jak by pozemní, dopravní a vodohospodářské stavby měly ve městech a obcích vypadat, aby splňovaly zásady udržitelného rozvoje. Pokud si chce město zajistit podstatně jednodušší proces schvalování, může si nechat vytvořit stavební standardy zejména pro vznik pozemních a dopravních staveb, které vytváří náhled na podobu a funkci různých typů staveb s účastí modrozelené infrastruktury.

Městské stavební standardy je dokument, který nabízí škálu opatření, jednotlivé prvky MZI, kterými lze dosáhnout jejich integrace do různých typů ve stávající zástavbě nebo při výstavbě novostaveb. Vznikla zkoordinovaná pravidla, konstrukční a zásady o vzájemném uspořádání jednotlivých staveb na veřejném prostranství a na soukromých pozemcích.

Smyslem městských stavebních standardů není poskládání jednotlivých funkcí podle toho, co se kam vejde. Tým řešitelů musí být složen z profesionálů v jednotlivých oborech a musí k zadání přistoupit citlivě a městotvorně. Hlavní zásadou musí být, že je úkolem vytvořit zkoordinovaná pravidla a kritéria, nikoli katalog typových řešení. Tvůrčí kreativita urbanistů, architektů, dopravních inženýrů a krajinářů, kteří se pravidly budou řídit, nesmí být omezena. Aplikace modrozelené infrastruktury nesmí být na úkor ostatních profesí, ale v souladu s nimi. V současné době na takových městských standardech pro jedno město pracujeme a poznatky jsou nesmírně zajímavé. Tím, že s podobným přístupem je zatím malá zkušenost, není úkol vůbec jednoduchý. Vidíme, jak je to složitý proces, co všechno je nutné skloubit a vyladit, aby vznikly vhodné podmínky pro na oko jednoduchá a přitažlivá řešení, která vidíme v zahraničí.

Další důležitou podmínkou úspěšného použití stavebních standardů je, aby si města vytvořila procesní opatření, jimiž si města a obce zajistí na katastru svého území jejich závaznost a vymahatelnost. Způsob, jak si statut závaznosti zajistit, se nabízí schválení MSS jako součást územně analytických podkladů územního plánu, nebo vypracováním územních studií. Domníváme se, že s ohledem na malou zkušenost s kritérii pro aplikace MZI do města by bylo vhodné tato pravidla po nějakém čase seriózně vyhodnotit a zkvalitnit.

METODICKÁ PŘÍRUČKA PRO APLIKACI MZI

Na základě zkušeností s vytvářením a projednáváním dvou studií odtokových poměrů musím konstatovat, že bez metodické příručky pro aplikaci MZI se státní správa neobejde.

Metodická příručka je přehled opatření, procesních postupů a vazeb, jak s dokumenty jako jsou studie odtokových poměrů a městské stavební standardy zacházet, jakým způsobem ve městě zajistit smluvními vztahy kvalitní podmínky pro předávání a přebírání staveb MZI do užívání města, pravidla pro provoz a údržbu MZI, nebo to, aby vstupem prvního developera do území celá koncepce odvodnění nějaké větší rozvojové oblast nevzala za své. Z pohledu měst je potřeba k zavádění principů HDV mít k dispozici taková organizační opatření, která jsou převážně neinvestičního charakteru.

Státní správa je často při vymáhání dodržování předpisů o HDV, resp. MZI ve složité situaci, protože jí brání:

- efektivnější vnitřní organizace, procedurální nedostatky při schvalování, povolování a kolaudování staveb;
- neurčený provozovatel městských systémů HDV a zeleně, jež je součástí MZI s jasně definovanými povinnostmi v provozní smlouvě;
- kvalitní smlouvy mezi městy a developery o předávání a přebírání modrozelené infrastruktury do majetku města;
- podpora a ochota samosprávy investovat do výše uvedených koncepčních dokumentů.

Metodická příručka je cesta, jak zabránit vzniku nekvalitních, nezákonných a nebezpečných staveb.

PILOTNÍ PROJEKTY – MOŽNOST FINANCOVÁNÍ Z OPERAČNÍHO PROGRAMU ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

V současné době se Státní fond životního prostředí ČR snaží motivovat majitele 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 ve společnosti změnit náhled na problematiku HDV, jakožto celé adaptace na změnu klimatu.

V Prioritní ose 1 OPŽP jsou podporovány projekty na přizpůsobení se změnám klimatu. Jedná se zejména o Specifický cíl 1.3 na zajištění povodňové ochrany intravilánu a hospodaření se srážkovými vodami. Podpora v rámci tohoto specifického cíle je poskytována z prostředků Státního fondu ve výši 85 % celkových způsobilých výdajů. Podpora se týká zejména projektů zaměřených na aplikaci hospodaření se srážkovou vodou na stávajících stavbách v intravilánu, tzn. na odpojování srážkových vod z nemovitostí od jednotné kanalizace. U výměny nepropustných zpevněných povrchů za propustné zpevněné a propustné povrchy je podpora poskytována ve výši 50 % celkových způsobilých výdajů.

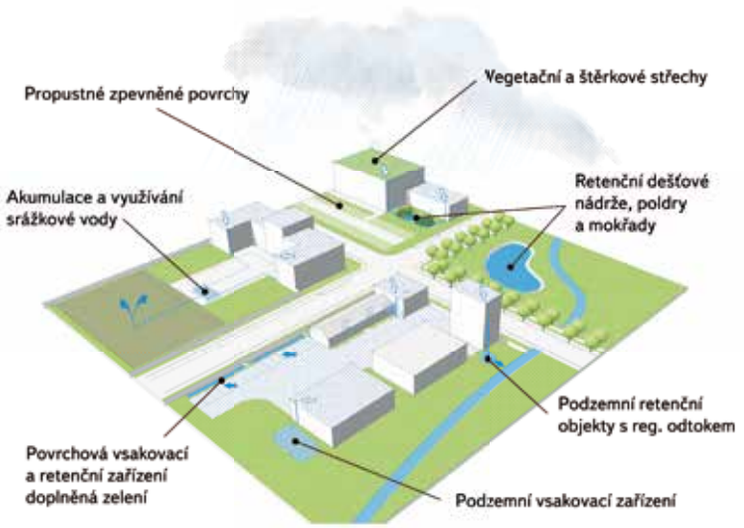
Oprávnění žadatelé a příjemci podpory jsou kraje, obce, dobrovolné svazky obcí, organizační složky státu, státní podniky, státní organizace, veřejné výzkumné instituce a výzkumné organizace, pokud jsou veřejnoprávními subjekty, městské části hl. města Prahy, příspěvkové organizace, vysoké školy a školská zařízení, nestátní neziskové organizace (obecně prospěšné společnosti, nadace, nadační fondy, ústavy, spolky).

Města a obce mohou využít dotace k realizaci pilotních projektů, na kterých ukáží, jak adaptace na změnu klimatu v městském či obecním prostředí vypadá. V rámci aktivity 1.3.2 OPŽP mezi podporované typy projektů patří opatření a stavby zajišťující prevenci proti záplavám a zároveň prevenci proti suchu:

- povrchová vsakovací a retenční zařízení doplněná zelení (plošný vsak, průleh, průleh s rýhou, vsakovací nádrž),
- podzemní vsakovací zařízení s retenčním prostorem vyplněným štěrkem nebo prefabrikáty,
- povrchové či podzemní retenční prostory s regulací odtoku do povrchových vod nebo kanalizace (suché retenční nádrže, retenční nádrže se zásobním prostorem, podzemní retenční nádrže, umělé mokřady),
- akumulační podzemní nádrže na zachytávání srážkových vod pro jejich opětovné využití (např. na zálivku či splachování WC),
- výměna nepropustných zpevněných povrchů za propustné zpevněné a propustné povrchy se součinitelem odtoku každého z nových povrchů do 0,5 včetně,

— přestavby konstrukcí střech s okamžitým odtokem srážkové vody (keramické, plechové atd.) na povrchy s akumulační schopností (vegetační, retenční) se součinitelem odtoku do 0,7 včetně.

Souhrn podmínek je následující:
— odpojením srážkových vod z nemovitostí od jednotné kanalizace se lze poplatku úplně zbavit, když se vody po zadržení regulovaně odvedou do povrchového toku, nebo ho výrazně zredukovat vhodnou retencí a využíváním srážkové vody k provozu těchto nemovitostí;
— v současné době lze žádat o finanční podporu na přestavbu odvodnění, výstavbu zařízení k využívání srážkové vody na provoz nemovitosti z výše uvedené dotace OPŽP do začátku ledna příštího roku;
— výčet uznatelných položek je dostačující (veškerá projektová příprava až po kolaudaci stavby) a pravděpodobnost získat dotaci je vzhledem k minimu žádostí značná;
— podmínkou pro podání žádosti je právoplatné územní rozhodnutí a rozpracovaná dokumentace ke stavebnímu povolení do takové podrobnosti, aby bylo možné rozpočtem stanovit investiční náklady stavby;
— žádost se podává elektronicky emailem a zaměstnanci OPŽP s vyplněním formuláře městům a obcím jsou připraveni pomoci.



Obr. 1. Přehled základních objektů a zařízení hospodařících s dešťovou vodou (zdroj: JV PROJEKT VH, s. r. o.)
Fig. 1. Overview of main SuDS measures (source: JV PROJEKT VH, s. r. o.)

JSOU METODY INTEGRACE MODROZELENÉ INFRASTRUKTURY DO MĚST A OBCÍ VYUŽÍVÁNY?

Z výše uvedeného popisu jednotlivých dokumentací by se mohlo zdát, že se jedná o celkem propracovaný návod, jak organizačně, právně, technicky i metodicky k systémové implementaci principů HDV do života měst a obcí přistoupit (*obr. 1*).

Přehled toho, co by města a obce vypracováním uvedených dokumentací získaly, jak by byly připraveny na budoucnost a jaké finanční prostředky by ušetřily, je uveden v následujícím textu.

STUDIE ODTOKOVÝCH POMĚRŮ

Vytvořením pravidel v rámci SOP si města a obce:
— zajistí bezpečný udržitelný rozvoj, a to velmi často za finanční prostředky soukromých investorů – obytné soubory, průmyslové areály, logistické stavby atd.;
— zajistí systém právních a organizačních opatření, jimiž pohlídají, že objekty MZI, které jim budou předávány, budou v potřebné kvalitě a funkčnosti;
— vytvoří pro výhledovou zástavbu koncepce odvodnění s pravidly postupného zastavování tak, aby měla vše pod kontrolou;
— v předstihu vyberou budoucí provozní společnost, která bude včas dohlížet a kontrolovat projektovou přípravu, realizaci a přebírání objektů MZI do užívání a připraví se tak na provozování těchto objektů.

MĚSTSKÉ STAVEBNÍ STANDARDY

Zkoordinováním stavebních profesí v rámci MSS si města a obce:
— zajistí vytvoření pravidel pro aplikaci MZI do rekonstruovaných veřejných prostor – náměstí, nábřeží, komunikací atd.;
— vytvoří různé modelové kombinace opatření a objektů MZI, kterými mohou inspirovat soukromé investory.

METODIKA PRO APLIKACI MZI

Vypracováním metodiky si města a obce:
— vybaví státní správu a dotčené orgány státní správy jednotnými pravidly a postupy tak, aby nevznikaly nekvalitní a nebezpečné stavby, jako je tomu mnohde nyní;
— mají možnost zajistit vnitřní organizaci pro schvalování, povolování a kolaudace staveb tak, aby neunikla pozornosti, nekontrolovaně nekvalitní stavba.

PILOTNÍ PROJEKTY

Přesto, že se města a obce mohou zbavit značných režijních nákladů, je jejich vztah k využití výše uvedené dotace z OPŽP velmi chladný.

V rámci několika technickoekonomických analýz, které jsme pro města a obce vypracovávali v naší firmě, jsme zjistili následující:
— poplatkům za odvádění srážkové vody z nemovitostí v majetku měst či obcí nevěnuje jejich vedení často žádnou pozornost, protože o jejich výši a poměrně snadné možnosti se jich zbavit vůbec neví;
— roční poplatky, které za odvodnění nemovitostí v jejich vlastnictví města a obce platí, často u jednotlivých staveb překračují statisíce korun – jedná se např. o obecní nebo městské úřady, magistráty, základní školy, mateřské školky, sociální zařízení, nemocnice, sportovní areály, plavecké stadiony, zimní stadiony, kulturní domy, muzea, knihovny, areály technických služeb;
— u univerzitních kampusů přesahují roční poplatky za odvádění srážkové vody často milión korun;
— odpojením srážkových vod z těchto nemovitostí od jednotné kanalizace se lze poplatku úplně zbavit, nebo ho vhodnou retencí a využíváním srážkové vody k provozu těchto nemovitostí výrazně zredukovat;
— v současné době lze žádat o finanční podporu na přestavbu odvodnění, výstavbu zařízení k využívání srážkové vody na provoz nemovitosti z výše uvedené dotace OPŽP do začátku ledna příštího roku;
— výčet uznatelných položek je dostačující (veškerá projektová příprava až po kolaudaci stavby) a pravděpodobnost získat dotaci je vzhledem k minimu žádostí značná;

— podmínkou pro podání žádosti je právoplatné územní rozhodnutí a rozpracovaná dokumentace ke stavebnímu povolení do takové podrobnosti, aby bylo možné rozpočtem stanovit investiční náklady stavby;
— žádost se podává elektronicky emailem a zaměstnanci OPŽP s vyplněním formuláře městům a obcím jsou připraveni pomoci.

Na několika projektech (*obr. 2–4*) jsme si udělali analýzu výhodnosti využití dotace při odpojování srážkových vod od kanalizace podle pravidel Aktivity 1.3.2 – Hospodaření se srážkovými vodami v intravilánu. Předložené příklady jsou aplikace HDV na konkrétních stavbách, o kterých je uvažováno, že se stanou předmětem žádosti o dotaci z OPŽP.

Investiční náklady na odpojení srážkové vody, její retenci a regulovaný odtok jsou u jednotlivých staveb odhadnuty na základě technického řešení, o němž řešitelé předpokládají, že je reálné. Jelikož se u těchto staveb zároveň uvažuje se zateplením střech, byly u nich vyčísleny i náklady na zateplení a na přestavbu střech z plechové na vegetační.

Do návratnosti investice do odpojení srážkové vody ze školy od jednotné kanalizace spolu s přestavbou střechy byla započítána jenom ta část rekonstrukce střechy, která se netýká zateplení, ale v rámci zateplení by se musela udělat.

Těžko se chápou důvody nedostatečné prozíravosti při rozhodování o pořízení koncepčních dokumentací SOP, MSS a metodiky. Ale proč města, obce, univerzity nemotivují výsledky technickoekonomických analýz, když platí za odvádění srážkové vody do jednotné kanalizace takové výdaje, když ke zbavení se poplatků je snadná cesta a když za šest až sedm let by měly investici poplatky umořenou.

Z informací, které máme, to nevypadá, že by se vypracování výše uvedených koncepčních dokumentací v obdobné propracovanosti zabývalo více měst, než jsou ta, o kterých je ve článku zmínka. Podle zprávy ze SFŽP není o tento dotační titul zájem.

A to nás vede k otázkám… proč, proč, proč?

Je vztah obyvatel České republiky k závěrům většiny vědců, klimatologů, hydrologů, vodohospodářů natolik nedůvěřivý, že nevyvolávají dostatečný tlak na politiky, aby se situací něco dělali?

Proč v době, kdy některé země dávaly vodě statut národního zájmu, naši vrcholní politici zpochybňovali, že vůbec změna klimatu nastala?

Proč naše země ztratila čas, po který mohla usilovat o zastavení některých následků změny klimatu a zahájit systematickou přípravu na její adaptaci zejména v oblasti vzdělávání, výzkumu, monitoringu stavu krajiny, v analýzách vlivu na stavebnictví, dopady na zdraví atd.?

ZÁVĚR

V současnosti se řada ambiciózních projektů zasíťuje pojmy „smart city", „smart regiony", což v kontextu uvedených zkušeností nezní moc přesvědčivě.

Důvody toho, proč se města a obce obtížně chápou role garanta adaptace na změnu klimatu na svém katastru, vidíme ve třech důvodech – v nezávislosti státní správy na samosprávě – v nedostatečných vědomostech v oblasti environmentálních věd – v neznalosti ekonomických souvislostí.

Státní správa se velmi často obává používat výše uvedené koncepční dokumentace k vymáhání dodržování zásad pro aplikaci HDV, i když jsou obrazem platných zákonů a jejich prováděcích předpisů a technických norem. Navíc její nejistota také pramení z toho, že funguje dvoustupňově a na krajské úrovni nemusí souhlasit s interpretací pravidel a zásad, protože si znění zákonů vysvětlují jinak.

AREÁL ZÁKLADNÍ ŠKOLY – PŘÍKLAD 1

Velikost areálu činí 1,7 ha a poplatek za odvádění srážkové vody 120 216 Kč/rok.

Obr. 2. Situace školního areálu (zdroj: JDTM ZK)
Fig. 2. Site layout (source: JDTM ZK)

AREÁL ZÁKLADNÍ ŠKOLY – PŘÍKLAD 2

Velikost areálu činí 2,1 ha a poplatek za odvádění srážkové vody 140 149 Kč/rok.

Obr. 3. Situace školního areálu (zdroj: JDTM ZK)
Fig. 3. Site layout (source: JDTM ZK)

AREÁL NEMOCNICE – PŘÍKLAD 3

Velikost areálu činí 6,7 ha a poplatek za odvádění srážkové vody 232 142 Kč/rok.

Obr. 4. Situace areálu nemocnice (zdroj: JDTM ZK)
Fig. 4. Site layout (source: JDTM ZK)

Tabulka 1. Odhad investičních nákladů a výpočet návratnosti (zdroj: JV PROJEKT VH, s. r. o.)
Table 1. Estimation of investment costs and payback period (source: JV PROJEKT VH, s. r. o.)

ZÁKLADNÍ ŠKOLA – PŘÍKLAD 1

poplatek za odvádění srážkové vody za rok 2016	120 216 Kč	přestavba střechy se zateplením na vegetační	rekonstrukce střechy se zateplením
velikost areálu	17 000 m^2	velikost střech	3 130 m^2
zadání – odpojení srážkových vod od jednotné kanalizace		zadání – porovnání nákladů na rekonstrukci střech s cenou za přestavbu na střechy vegetační	
odhad investičních nákladů	4 700 000 Kč	6 573 000 Kč	3 130 000 Kč
projektová příprava, žádost, výběr zhotovitele	705 000 Kč	985 950 Kč	469 500 Kč
celkem	5 405 000 Kč	7 558 950 Kč	3 599 500 Kč
dotace z OPŽP (85 %)	4 594 250 Kč	6 425 108 Kč	
částka z rozpočtu města (15 %)	810 750 Kč	1 133 843 Kč	
návratnost investice	6,7 roků		
částka z rozpočtu města (vč. vegetačních střech)	1 944 593 Kč		
návratnost investice (vč. vegetačních střech)	16,2 roků		

Tabulka 2. Odhad investičních nákladů a výpočet návratnosti (zdroj: JV PROJEKT VH, s. r. o.)
Table 2. Estimation of investment costs and payback period (source: JV PROJEKT VH, s. r. o.)

ZÁKLADNÍ ŠKOLA – PŘÍKLAD 2

poplatek za odvádění srážkové vody za rok 2016	140 149 Kč	přestavba střechy se zateplením na vegetační	rekonstrukce střechy se zateplením
velikost areálu	21 000 m^2	velikost střech	3 000 m^2
zadání – odpojení srážkových vod od jednotné kanalizace		zadání – porovnání nákladů na rekonstrukci střech s cenou za přestavbu na střechy vegetační	
odhad investičních nákladů	5 500 000 Kč	6 300 000 Kč	3 000 000 Kč
projektová příprava, žádost, výběr zhotovitele	825 000 Kč	945 000 Kč	450 000 Kč
celkem	6 325 000 Kč	7 245 000 Kč	3 450 000 Kč
dotace z OPŽP (85 %)	5 376 250 Kč	6 158 250 Kč	
částka z rozpočtu města (15 %)	948 750 Kč	1 086 750 Kč	
návratnost investice	6,8 roků		
částka z rozpočtu města (vč. vegetačních střech)	2 035 500 Kč		
návratnost investice (vč. vegetačních střech)	14,5 roků		

Tabulka 3. Odhad investičních nákladů a výpočet návratnosti (zdroj: JV PROJEKT VH, s. r. o.)
Table 3. Estimation of investment costs and payback period (source: JV PROJEKT VH, s. r. o.)

AREÁL NEMOCNICE – PŘÍKLAD 3

poplatek za odvádění srážkové vody za rok 2016	232 142 Kč	přestavba střechy se zateplením na vegetační	rekonstrukce střechy se zateplením
velikost areálu	67 000 m^2	velikost střech	500 m^2
zadání – odpojení srážkových vod od jednotné kanalizace		zadání – porovnání nákladů na rekonstrukci střech s cenou za přestavbu na střechy vegetační	
odhad investičních nákladů	8 100 000 Kč	1 050 000 Kč	500 000 Kč
projektová příprava, žádost, výběr zhotovitele	1 215 000 Kč	157 500 Kč	75 000 Kč
celkem	9 315 000 Kč	1 207 500 Kč	575 000 Kč
dotace z OPŽP (85%)	7 917 750 Kč	1 026 375 Kč	
částka z rozpočtu města (15%)	1 397 250 Kč	181 125 Kč	
návratnost investice	6,0 roků		
částka z rozpočtu města (vč. vegetačních střech)	1 578 375 Kč		
návratnost investice (vč. vegetačních střech)	6,8 roků		

Povědomost v oblasti environmentálních věd v souvislosti s HDV, MZI a adaptací na změnu klimatu je u představitelů měst a obcí nevyrovnaná a nedostatečná. Z toho vyplývá nezájem a neochota se vůbec problematikou zabývat, natož nechávat zpracovávat „drahé a složité" dokumentace a metodiky, které přinesou celou řadu nových a neznámých postupů a povinností.

Neznalost ekonomických souvislostí způsobuje to, že vedení měst a obcí vůbec neví, kolik platí za odvádění srážkové vody ze svých nemovitostí a to, že by se těchto poplatků mohli poměrně jednoduše zbavit (*tabulka 1–3*).

Závěr, který nám z našeho poznání vyplývá, je ten, že adaptace na změnu klimatu je úkol celospolečenského významu, že to bez seriózní role zodpovědného státu, nejvyšší autority, která jde příkladem svým občanům v systémovosti a koncepčnosti, nevyřešíme.

A k tomu, aby byl proces úspěšný a netrval nepřiměřeně dlouho, je nutné, aby v něj měla veřejnost důvěru. K tomu je nutné, aby měla důvěru ve vládu a své politické reprezentanty, protože tento proces je nutné organizovat ze shora. Proto je uvědomění si důsledků české zkušenosti s ignorováním environmentálních principů stejně důležité, jako je tomu u jiných vážných historických zkušeností v minulosti. Adaptace na změnu klimatu není téma krátkodobé a nemusí být časem jen otázkou našeho blahobytu, ale zdravého života ve městech vůbec. Příkladem nám mohou být ty hospodářsky vyspělé státy, které tématu klimatu věnují náležitou pozornost a investují nebo iniciují investování do přípravy opatření k eliminaci dopadů změny klimatu obrovské finanční prostředky.

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

Literatura

[1] Projekt RainDROP. (2005–2007). Development of Stormwater Operational Practices Guideline, INTEREG IIIB CADSES Neighbourhood Programme, č. 5C052.

[2] DHI, a. s., a JV PROJEKT VH, s. r. o. Studie odtokových poměrů na území Statutárního města Hradec Králové a přilehlých spádových oblastí. 2011.

[3] DHI, a. s., HYDROPROJEKT CZ, a. s., JV PROJEKT VH, s. r. o., a VODIS Olomouc s. r. o. Koncepce vodního hospodářství města Olomouce, Studie odtokových poměrů. 2014.

[4] STRÁNSKÝ, D., KABELKOVÁ, I., BAREŠ, V., VÍTEK, J., SUCHÁNEK, M., PLOTĚNÝ, K. a PÍREK, O. Srážková voda a urbanizace krajiny (Pracovní materiál – Metodická pomůcka – vydaná jako součást celoživotního vzdělávání ČKAIT a programu Rady pro podporu rozvoje profese ČKAIT pro obor stavby vodního hospodářství a krajinného inženýrství") – 2011, aktualizace 2018.

[5] VÍTEK, J., STRÁNSKÝ, D., KABELKOVÁ, I., BAREŠ, V. a VÍTEK, R. Hospodaření s dešťovou vodou v ČR – kap. 2.2 Legislativa HDV a její výklad – publikace vydaná v rámci projektu Počítáme s vodou, 2014.

Autor

Ing. Jiří Vítek
✉ vitek@jvprojektvh.cz

JV PROJEKT VH, s. r. o.

Příspěvek prošel lektorským řízením.

HOW TO LEARN THE LEVEL OF LEGAL AND TECHNICAL PRINCIPLES FOR THE APPLICATION OF BLUE INFRASTRUCTURE

VITEK, J.

JV PROJEKT VH, s. r. o.

Keywords: sustainable drainage systems — blue green infrastructure — urban drainage — Operational Programme Environment

The Czech Republic does not sufficiently create the necessary conditions for the conceptual approach to urban drainage based on the principles of a sustainable development. The Ministry of Agriculture of the Czech Republic, responsible for the water management, ignores how much a strict implementation of a sustainable drainage system, especially the blue-green infrastructure, could positively impact urbanized areas' adaptation to climate change. The legal and technical regulations of the Czech civil engineering are in relation to urban drainage nonconceptual and uncoordinated. All responsibility then lies with municipalities that can establish their own guidelines for the application of the blue-green infrastructure.

Autoři VTEI

RNDr. Jiří Jan, Ph.D.
Biologické centrum AV ČR, v. v. i.

✉ jiri.jan@bc.cas.cz
www.bc.cas.cz

RNDr. Jiří Jan, Ph.D., vystudoval Přírodovědeckou fakultu JU v Českých Budějovicích, kde v roce 2016 získal titul Ph.D. ve studijním oboru Hydrobiologie. Od roku 2008 pracoval na Hydrobiologickém ústavu Biologického Centra AV ČR, v. v. i., odkud přešel do nově vzniklé Výzkumné infrastruktury SoWa. Ve své výzkumné činnosti se věnuje zejména biogeochemickým procesům a cyklu fosforu v údolních nádržích, jezerech a rybnících. Na pracovišti je členem výzkumné a konzultační skupiny zabývající se celkovou problematikou sedimentů a suspendovaných částic. Činnost skupiny zahrnuje detailní analýzy celkového množství sedimentů v nádržích, jejich kvality, environmentálních faktorů řídících cyklus fosforu a potencionálního vlivu na eutrofizaci vodních ekosystémů. Cílem těchto činností je určení rizikovosti sedimentu a návrh konkrétních nápravných opatření v nádržích samotných nebo v povodí vedoucí ke zlepšení kvality vody či návrhy nových technologií při těžbě sedimentů a jejich zpravování.

Ing. Jana Uhrová, Ph.D.
VÚV TGM, v. v. i., pobočka Brno

✉ jana.uhrova@vuv.cz
www.vuv.cz

Ing. Jana Uhrová, Ph.D., je zaměstnankyní ve VÚV TGM, v. v. i., v oddělení hospodaření s vodou od roku 2014. V roce 2015 ukončila doktorské studium oboru Vodní hospodářství a vodní stavby na Stavební fakultě Vysokého učení technického v Brně. V průběhu doktorandského studia se podílela na řešení řady projektů. Zabývá se zejména problematikou hodnocení erozního ohrožení a odtokových poměrů v ploše povodí. V současnosti pracuje například na projektech Nové postupy optimalizace systémů integrované ochrany území v kontextu jejich ekologické udržitelnosti, Komplexní plánovací, monitorovací, informační a vzdělávací nástroje pro adaptaci území na dopady klimatické změny s hlavním zřetelem na zemědělské a lesnické hospodaření v krajině.

RNDr. Ing. Jaroslav Rožnovský, CSc.
ČHMÚ, pobočka Brno

✉ roznovsky@chmi.cz
www.chmi.cz

RNDr. Ing. Jaroslav Rožnovský, CSc., vystudoval Vysokou školu zemědělskou v Brně (nyní Mendelova univerzita), a Universitu J. E. Purkyně v Brně (nyní Masarykova univerzita). Absolvoval aspirantské studium zaměřené na obecnou produkci rostlinnou. Je dlouholetým zaměstnancem ČHMÚ, v letech 2001–2017 byl ředitelem brněnské pobočky. Od roku 1983 přednáší bioklimatologii, klimatologii a mikrometeorologii na Mendelově univerzitě v Brně. Od roku 1998 je předsedou České bioklimatologické společnosti a od roku 2009 předsedou Českého výboru International Commission on Irrigation and Drainage. Je autorem či spoluautorem více jak 200 původních vědeckých a odborných prací a editorem 15 konferenčních sborníků. Specializuje se na problematiku podnebí, změny klimatu, klima měst apod. Jako řešitel nebo spoluřešitel se podílel na více jak 20 výzkumných projektech.

Ing. Jiří Vítek
JV PROJEKT VH, s. r. o.

✉ vitek@jvprojektvh.cz
www.jvprojektvh.cz

Ing. Jiří Vítek je majitelem brněnské projektové a inženýrské kanceláře JV PROJEKT VH, s. r. o. Odvodňováním a odkanalizováním měst se profesně věnuje pětatřicet let. Posledních 15 roků se specializuje na odvodňování urbanizovaných území v duchu zásad udržitelného rozvoje. Navrhováním odvodnění měst a obcí podle principů hospodaření s dešťovou vodou, jejich propagaci a publikováním metodických zásad těchto nových přístupů usiluje o to, aby česká společnost na vodu nahlížela v kontextu potřeb adaptace na změnu klimatu. Od roku 2005 měl na toto téma více než 150 přednášek pro státní správu a samosprávu, studenty a odbornou veřejnost, napsal nebo byl spoluautorem řady článků do různých periodik v ČR i v zahraničí, podílel se spoluautorstvím na vzniku knihy Hospodaření s dešťovou vodou v ČR. Je autorizovaným inženýrem v oboru vodohospodářské stavby, členem CzWA, DWA, ČVTVS, ČAH, SZKT a brněnského architektonického sdružení Obecní dům.

Rozhovor s ředitelem Českého hydrometeorologického ústavu Mgr. Markem Riederem

Mohl byste popsat Vaše zkušenosti z desetiletého působení ve VÚV TGM a možnost jejich uplatnění v rámci Vašeho současného působení v ČHMÚ. Jak probíhá spolupráce mezi těmito dvěma institucemi?

Zkušenosti, které jsem získal v rámci mého působení ve funkci ředitele ve VÚV TGM, byly a jsou pro mě zásadní, a to jak z hlediska řízení organizací, tak z hlediska osobního. Management lidí a firem je soubor specifických dovedností a znalostí, které nejsou člověku dány shůry, ale tyto dovednosti a znalosti se mi alespoň částečně podařilo získat kombinací studia managementu a zkušenostmi, které jsem měl možnost získat v rámci mého více než desetiletého období ve funkci ředitele VÚV TGM. Takže jednou ze základních zkušeností, kterou jsem ve VÚV TGM získal je, že jedním z největších omylů je mýtus, že čím lepší odborník, tím lepší manažer a řízení organizace buď člověk umí, nebo neumí. Jinými slovy, získal jsem pokoru, potřebu vzdělávat se a umožnit svým nejbližším kolegům vzdělávat se v oblasti managementu a tuto zkušenost se snažím přenést do řízení ČHMÚ. Jde mi především o to, abychom mluvili stejným jazykem, uměli si stanovit společné cíle, kterých chceme dosáhnout a zvolili nejefektivnější a společnou cestu k jejich dosažení.

Za tyto zkušenosti jsem VÚV TGM nesmírně vděčný a také řadě kolegů, se kterými se mi skvěle spolupracovalo.

Jaký je Váš pohled na fungování a směřování ČHMÚ, jaké hlavní změny jste od října zavedl, či postupně zavádíte?

Snažíme se s kolegy náměstky nastavit atmosféru konstruktivní spolupráce, otevřené komunikace bez skrytých agend a projektového řízení. Náměstci ředitele pro meteorologii a klimatologii, čistotu ovzduší, hydrologii, ekonomiku, IT a ředitelé poboček mi prezentovali svoje sny, kterých by chtěli v rámci svého působení na svých pozicích dosáhnout. Snažili jsme se tyto sny a vize sjednotit za celé ČHMÚ a děláme postupné kroky, které, doufejme, povedou k naplnění těchto snů. Protože naším společným cílem a snem je z ČHMÚ vytvořit nejdůvěryhodnější odbornou organizaci v České republice. Proto jsme zavedli jiný způsob řízení a komunikace v rámci ústavu, provedli řadu organizačních i personálních změn, snažíme se začít spolupracovat jako jeden společný ústav, nikoliv jako několik uzavřených malých ústavů pod jednou střechou. A k tomu je nutné obklopit se takovými lidmi, kteří mají dovednosti a kompetence, o kterých jsem psal v odpovědi na předchozí otázku.

Provádíme například takové změny, které povedou k lepší a intenzivnější komunikaci našich produktů a služeb směrem k veřejnosti skrze sociální sítě, nové webové stránky, mobilní aplikace, televizi, rozhlas tak, aby všechno to, co děláme, měla veřejnost z první ruky přímo od nás se značkou ČHMÚ a zárukou důvěryhodnosti.

Mohl byste stručně popsat aplikace pro mobilní telefony k předpovědi počasí, které plánujete v letošním roce zprovoznit?

Aplikace vznikají a pro Android již jsou k dispozici dvě aplikace, a to aplikace ČHMÚ a ČHMÚ+. Obě tyto aplikace jsou k dispozici zdarma a liší se v rozsahu poskytovaných informací. Společným znakem obou těchto aplikací je, že jsou postaveny na podrobných výsledcích modelu Aladin pro území České republiky se stávajícím rozlišením výpočetní sítě 4,9 × 4,9 km (cca 25 km^2), která v průběhu letošního roku bude zpodrobněna na 2,4 × 2,4 km (cca 5,7 km^2) na rozdíl od konkurenčních produktů, které vycházejí z globálních modelů s rozlišením 10 × 10 km (100 km^2). To by mělo být, vedle vydávání výstrah na výskyt nebezpečných jevů s rozlišením na ORP, hlavní přidanou hodnotou našich aplikací. V aplikaci ČHMÚ budou navíc k dispozici meteogramy, informace z radarů, aktivita klíšťat atd. V aplikaci ČHMÚ+ budou navíc, kromě podrobných grafických animací vývoje oblačnosti, teplot, srážek, vlhkosti a dalších detailních výstupů z modelu Aladin, ještě informace o aktuálních měřených hodnotách z automatických meteorologických stanic, informace a aktuálním stavu čistoty ovzduší, UV indexu, stavech a průtocích na povrchových vodách, výstrahách o dosahování stupňů povodňových aktivit, také informace o riziku přívalových povodní. Což vzhledem ke zaměření VÚV TGM mohou být zajímavé informace jak pro zaměstnance VÚV, tak pro řadu starostů z místních samospráv. V tuto chvíli máme připravenu řadu vylepšení těchto aplikací, nachystány náměty na další aplikace tak, aby odpovídaly zájmům jednotlivých cílových skupin uživatelů našich produktů.

Mohl byste stručně popsat nově připravovaný zákon o ČHMÚ – dojde např. k výrazné změně v systému poskytování dat?

Hlavním cílem nově připravovaného zákona o hydrometeorologické službě je definice právní formy ústavy a jeho vztah k ostatním státním organizacím, např. Armádě ČR, Hasičskému záchrannému sboru, Řízení letového provozu. Kromě tohoto faktu je smyslem připravovaného zákona jasná definice funkce a rozsahu všech státních monitorovacích sítí, zakotvení role Single voice principle a vztah k jednotlivým složkovým zákonům. Další kapitolou bude definice podmínek poskytování dat, především pak těch, které slouží složkám Integrovaného záchranného systému a vlastně všem, kvůli kterým je ČHMÚ

prvkem kritické infrastruktury ČR a prvkem Kritické informační infrastruktury podle zákona o kybernetické bezpečnosti. Nicméně ČHMÚ i nadále zůstane státní příspěvkovou organizací a i nadále bude muset pokrýt více než 25 % všech výnosů komerční činnosti, tudíž zákon bude definovat rovné podmínky pro všechny uživatele dat a produktů, za kterých je ČHMÚ bude poskytovat.

Co myslíte, že by měla obsahovat novela vodního zákona?

Jsem přesvědčený, a tím navazuji na své předchozí působení ve VÚV TGM, že novela vodního zákona by měla obsahovat především celou novou hlavu věnovanou problematice sucha a zároveň úpravu ceny podzemní vody. Tomu jsme se ve VÚV TGM i v rámci meziresortní komise Voda-sucho věnovali především. Je nutné v tuto chvíli novelu finalizovat a pustit do legislativního procesu.

Myslíte si, že by bylo vhodné zpoplatnit vodu pro závlahy a zemědělství a srovnat cenu podzemní a povrchové vody?

Na tuto otázku jsem částečně odpověděl v odpovědi na předchozí otázku. Jsem přesvědčený, a to nejen z mého působení ve VÚV TGM, ale i z mého současného zapojení do fungování Úpravny vody Želivka, a. s., a Želivská provozní, a. s., a diskusí o cenách vody předané a ceny pitné vody pro koncové uživatele, že je bezpodmínečně nutné ceny přinejmenším srovnat, a to ze dvou hlavních důvodů. Srovnání podmínek pro vodárenské společnosti je první důvod a druhý ještě zásadnější z mého pohledu jsou aktivity, které vzhledem k rozdílným cenám vedou k nadužívání podzemních vod nejen pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou, ale především u průmyslových podniků. A to jsou podle mého názoru časované bomby nejen u zvodní, které již dnes mají napjatou bilanci.

Kam by se podle Vás měla soustředit pozornost do budoucna k zajištění vodních zdrojů?

Toto je velmi široká otázka, na kterou by úplná odpověď jistě překročila prostor vymezený pro tento rozhovor. Ale kdybych to měl shrnout, myslím si, že je nutné soustředit hlavní pozornost v budoucnosti do osvěty a vzdělávání. Osvěta proto, aby si společnost uvědomila, že zajištění vodních zdrojů je problém, jako problém ho vnímala a stalo se z tohoto tématu jedno z hlavních společenských témat. Vzdělávání proto, abychom měli dostatek odborníků, kteří budou schopni tyto problémy v současnosti a blízké i vzdálenější budoucnosti vyřešit. A vzdělávání také proto, aby existovala celospolečenská minimální vodní gramotnost, tak aby nebylo snadné společnost opájet nejrůznějšími bludy.

Mohl byste popsat Vaše zkušenosti z působení ve funkci šéfredaktora časopisu VTEI a dokážete popsat propojení s časopisem Meteorologické zprávy vydávaným ČHMÚ?

Mám z časopisu VTEI radost. Z odborné úrovně, z toho jak funguje, jak vypadá a z toho, že se cesta a zvolený koncept ukázal jako životaschopný a přínosný. Často jsem z vědecké obce slyšel argument, že není-li VTEI impaktovaný, tak alespoň „scopusovaný", že je to vlastně takový vodohospodářský Ohníček. Na tuto výtku jsem vždy odpovídal, že na rozdíl od vědeckých časopisů jsme Ohníček četli všichni jako děti. A to je smyslem znovuobrozeného VTEI, aby jeho přínos byl v tom, že ho budou číst všichni z vodohospodářské obce. Nejsem šéfredaktorem časopisu Meteorologické zprávy, takže není v mé kompetenci rozhodovat o tom, jakým směrem se tento časopis vydá. Nicméně chtěl bych zahájit i v ČHMÚ diskusi, zda-li by i tento časopis neměl být jakousi informační platformou nejen pro odborníky, ale i pro neobyčejně velkou skupinu amatérských meteorologů.

Existuje již nějaká předpověď, která by nám řekla, jaký bude letošní rok z hlediska počasí a zejména srážek?

Neexistuje a dlouho existovat nebude, zda-li kdy vůbec.

Jak vidíte Vaše další působení ve vodním hospodářství?

ČHMÚ je veliká organizace s ohromným záběrem a její řízení mi prozatím zabírá bezmála veškerou kapacitu. Nicméně chtěl bych i nadále působit v Úpravně vody Želivka, protože v letošním roce bychom měli zahájit stavbu modernizace a chci být u toho, když už jsme celou akci zahájili, naplánovali, naprojektovali, až se bude realizovat a spouštět celá nová linka s granulovaným aktivním uhlím. Chci i nadále působit v České vědeckotechnické vodohospodářské společnosti a v řadě dalších vodohospodářských organizací.

Oddělení hydrologie

Masový úhyn velevruba tupého v EVL Ohře

ÚVOD

Ohře je jednou z řek, na kterých se zčásti zachovala původní struktura toku se zastoupením mělčích proudivějších úseků s hlubšími tůněmi a tišinami. Toto je i důvod, proč se na Ohři vyskytuje několik chráněných živočichů, kvůli kterým byla na řece Ohři vyhlášená evropsky významná lokalita (EVL). Jedná se např. o lososa atlantského (*Salmo salar*), bolena dravého (*Aspius aspius*) a mlže velevruba tupého (*Unio crassus*). Populace velevruba tupého je v Ohři relativně početná a významná zejména svým rozsahem, neboť obývá podstatnou část vyhlášeného území [1].

Velevrub tupý (*Unio crassus*) je druhem velkého mlže, který byl spolu s perlorodkou říční (*Margaritifera margaritifera*) zařazen Evropským programem pro sladké vody [2] mezi 15 klíčových taxonů, na které je potřeba zaměřit ochranu. Kromě nároků na jakost vody upozorňují také na zásadní význam sedimentu a říčního dna pro vodní ekosystém. Znečištění a vodohospodářské úpravy způsobily, že se z velevruba tupého stal jeden z evropsky nejvíce ohrožených mlžů, který je zařazen mezi evropsky významné druhy. V současné době existuje na území ČR méně než 20 lokalit s početnějšími populacemi tohoto živočicha [3].

ÚHYN VELEVRUBŮ

Na začátku srpna roku 2017 došlo na řece Ohři k masivnímu úhynu velevruba tupého i dalších mlžů a škeblí. Mrtví měkkýši se vznášeli volně na hladině (*obr. 1*) nebo se zachytávali na mělčinách (*obr. 2* – měkkýši zachyceni na česlích MVE Jez Doksany). Na hladině řeky se objevila nezvyklá pěna a zmizelo i na tomto toku běžné hnědavé zbarvení vody. Voda byla nezvykle průhledná, a i v hlubších úsecích bylo vidět dno řeky. Současně s vzácnými mlži na Ohři překvapivě hynuli i invazní raci pruhovaní (*Faxonius limosus – Orconectes limosus)*, kteří nejsou na běžné znečištění příliš citliví. Kromě místních obyvatel a chatařů si masivního úhynu vodních mlžů a škeblí povšimnul i zpravodaj stráže přírody Krajského úřadu Ústeckého kraje pan Václav Šťástka.

Masivní úhyn velevrubů a škeblí byl nahlášen jak České inspekci životního prostředí (ČIŽP) v Ústí nad Labem, tak i správci toku, kterým je Povodí Ohře, s. p. Situace byla hodně nezvyklá, takto masivní úhyn vodních živočichů na Ohři nebyl v dřívějších letech zaznamenán. Zatímco zástupci Povodí Ohře poskytli veškeré údaje o rozborech jakosti vody a snažili se situaci řešit, inspekce životního prostředí na lokalitu dorazila s měsíčním zpožděním a na základě vizuální prohlídky vodního toku zkonstatovala, že nebylo z hlediska ochrany vod shledáno nic mimořádného. Na konci dopisu od ČIŽP byl sice příslib, že v rámci běžné kontrolní činnosti bude následně zmíněný úsek vodního toku opakovaně prověřen, ale bohužel o rozborech vody nebo sedimentu z inkriminovaných míst, nezazněla v dopise ani zmínka. A to přesto, že se jedná o EVL s výskytem zvláště chráněných živočichů. Situaci tedy začal řešit správce Povodí. Naplánoval odběr sedimentů z Ohře, a to jak nad místem s úhynem mlžů, tak i níže po proudu. Výzkumný ústav vodohospodářský TGM, v. v. i., zase zajistil rozbory tkání dvou uhynulých mlžů.

Situace při úhynu mlžů v Ohři naznačovala, že havárie nebyla způsobena únikem běžného komunálního odpadu nebo nedostatečným prokysličením vody. V úvahu přicházely různé pesticidní přípravky používané v zemědělství. Vzhledem k výskytu chmelnic nad místem úhynu, byly rozbory zaměřeny na přípravky používané při ošetření chmele. Chmelnice, ale i další plodiny, se ve vegetačním období chrání před napadením houbovým onemocněním a plísněmi přípravky na bázi mědi. Měď sice patří mezi stopové esenciální prvky,

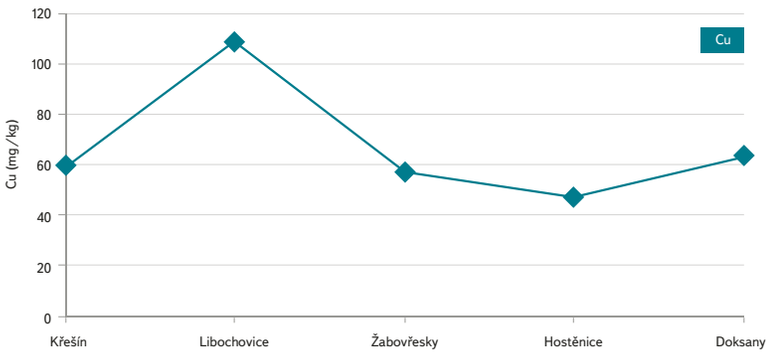
Obr. 1. a 2. Úhyn velevrubů a škeblí na Ohři (fotografie: V. Šťástka)

ve vyšších koncentracích je však pro vodní živočichy silně toxická. V případě velkých mlžů se akutní (expozice 24–72 hodin) letální koncentrace při expozici mědi pohybují většinou v rozmezí jednotek až desítek mikrogramů na litr a doporučený limit pro akutní toxicitu je 13 µg/l [4]. Dokáže se vázat na sediment, kde vydrží v prostředí nejméně půl roku. Zaměřili jsme se proto na koncentrace kovů jak v sedimentech, tak i ve tkáních mrtvých živočichů.

Vzhledem k tomu, že vysoké koncentrace mědi, jak ve vodě, tak usazené v sedimentu, mohou způsobit rychlý úhyn vodních živočichů, nemusí dojít ke kumulaci kovu ve svalovině. Proto bylo navrženo, že kromě svaloviny na noze mlže, bude důležité zjistit i koncentrace mědi v jeho zažívacím ústrojí. K rozborům jsme získali jednoho uhynulého velevruba tupého a jednoho velevruba malířského (*Unio pictorum*). Koncentrace kovů v biomase obou mrtvých živočichů byly analyzovány akreditovanou laboratoří podniku Povodí Vltavy, s. p. Výsledky rozborů ukázaly 2× až 4× vyšší koncentrace mědi v zažívacím ústrojí mlžů oproti svalovině (*tabulka 1*). Zvýšené koncentrace mědi ze svaloviny nohy uhynulých živočichů jsme porovnali s výsledky studie zabývající se sezonními

Tabulka 1. Rozbory biomasy uhynulých velevrubů z Ohře

Datum odběru	Materiál	Název vzorku	Sušina	Měď
			%	mg/kg suš.
03. 09. 2017	Vzorky živočišných tkání – svalovina	Velevrub tupý – vzorek z nohy, Ohře Hostěnice	8,9	3,4
03. 09. 2017	Vzorky živočišných tkání – vnitřnosti	Velevrub tupý – zažívací ústrojí, Ohře Hostěnice	18	15
03. 09. 2017	Vzorky živočišných tkání – svalovina	Velevrub malířský – vzorek z nohy, Ohře Hostěnice	14	6,5
03. 09. 2017	Vzorky živočišných tkání – vnitřnosti	Velevrub malířský – zažívací ústrojí, Ohře Hostěnice	17	14



Obr. 3. Koncentrace mědi v sedimentech Ohře

změnami obsahu kovů ve svalovině velevruba tupého [5]. Porovnání neukázalo na výrazně zvýšené hodnoty obsahu mědi v tkáních, což ovšem může souviset s předpokládaným rychlým úhynem jedinců. Pro potvrzení zvýšených koncentrací mědi v Ohři byly odebrány i vzorky sedimentů ze dna řeky nad a pod místem úhynu velevrubů a škeblí.

Pracovníci podniku Povodí Ohře, s. p., odebrali na začátku října sedimenty z pěti lokalit na řece Ohři. Sediment byl odebrán u Křesína (29,15 km), Libochovic (22,3 km), u Žabovřesk (19,6 km), Hostěnic (13,93 km) a u Doksan (10,3 km). Z *obr. 3* je patrné, že téměř k dvojnásobnému zvýšení koncentrace mědi v sedimentu došlo v oblasti mezi Křesínem a Libochovicemi.

V Hostěnicích byla v době úhynu zaznamenána nezvyklá pěna na hladině řeky (*obr. 4*). Podle závěrů se nejspíš jednalo o přídavek smáčidel používaných k ošetření rostlin fungicidními přípravky.

Vysoké koncentrace mědi se do Ohře mohly dostat buď nevhodnou aplikací fungicidů spláchnutých z rostlin v době přívalových srážek, nebo neodbornou manipulací při ředění postřiku v postřikovacím voze. Podle informací místních obyvatel zajíždějí často postřikovací vozy až k řece, kde plní cisterny vodou. Při neodborné manipulaci s postřikovací technikou v blízkosti vodního toku může snadno dojít k úniku koncentrovaného přípravku do řeky. Je znám případ, kdy obsluhující personál neodbornou manipulací způsobil únik nebezpečného insekticidu Nurelle, obsahujícího toxický cypermethrin, přímo do řeky Doubravky, kde kromě osmi a půl tisíce kriticky ohrožených raků říčních (*Astacus astacus*) vyhubil také veškeré další vodní organismy v řece. Stejná či podobná situace mohla nastat i na Ohři, s tím rozdílem, že se zde jednalo o fungicid s vysokým obsahem mědi.

Hledat původce tohoto masového úhynu silně ohroženého velevruba tupého s takto dlouhým odstupem času asi nebude snadné. V podobných případech by měla hlavně jednat Česká inspekce životního prostředí (ČIŽP), neboť disponuje prostředky potřebnými k financování analýzy odebraných vzorků. Případně by měla havárii nahlásit na Policii ČR. ČIŽP by se také měla aktivně zúčastňovat kontrol, na podobné problémy opakovaně upozorňovat a vyvíjet soustavný tlak na organizace i pracovníky v zemědělství, kteří s pesticidy,

Obr. 4. Pěna na hladině Ohře v době úhynu velevrubů (fotografie: V. Šťástka)

insekticidy a fungicidy pracují. Je nutné, aby byli tito pracovníci řádně proškoleni, jak s těmito látkami zacházet a aby byli seznámeni se způsobem aplikace postřiků, které se v žádném případě nesmí dostat do vodních toků nebo nádrží, ale ani do kanalizace. Důležitá je i správná manipulace s technikou používanou k aplikaci těchto toxických látek. Můžeme jen doufat, že se situace již nebude opakovat na žádné z dalších řek, a to bez ohledu na to, zda její tok je, či není, vyhlášený jako evropsky významná lokalita.

Poděkování

Poděkování patří panu Václavu Šťástkovi, který se i přes nezájem některých orgánů státní správy nevzdával, dále podniku Povodí Ohře, s. p., za spolupráci při hledání viníka, který způsobil masivní úhyn velevruba tupého a také za poskytnutí dat, a podniku Povodí Vltavy, s. p., za spolupráci při rozborech tkání uhynulých mlžů. Článek byl napsán s podporou Dlouhodobé koncepce rozvoje výzkumné organizace VÚV TGM, v. v. i., na období 2018–2022 a projektu TAČR EPSILON Predikce nebezpečnosti nepůvodních ryb a raků a optimalizace eradikačních metod invazních druhů (THO2030687).

Literatura

[1] BERAN, L. Aquatic mollusc fauna of the Ohre River – an important site of Unio crassus Philipsson, 1788 (Bivalvia: Unionidae) in northwestern Bohemia. *Folia Malacologica*, 2015, vol. 23, No. 4.

[2] BACHMANN, J. *European Freshwater Species Strategy*. WWF International, European Fresh Water Program, 2000.

[3] DOUDA, K. a BERAN, L. Ochrana velevruba tupého v České republice. *Ochrana přírody*, roč. 64, č. 2, 2009, p. 16–19. ISSN 1210-258x.

[4] FARRIS, J.L. and VAN HASSEL, J.H. (eds.). *Freshwater bivalve ecotoxicology*, 2006, CRC Press.

[5] GENÇ, T.O., YILMAZ, F., İNANAN, B.E., YORULMAZ, B., and ÜTÜK, G. *Application of multi-metal bioaccumulation index and bioavailability of heavy metals in Unio sp.* (Unionidae) collected from Tersakan River, Muğla, South-West Turkey. Fresen Environ Bull. 2015, 24 (1a), p. 208–215.

Autoři

RNDr. Jitka Svobodová[1]
✉ jitka.svobodova@vuv.cz

Ing. Karel Douda, Ph.D.[2]
✉ doudak@af.czu.cz

Eva Svobodová[1]
✉ eva.svobodova@vuv.cz

[1]Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.
[2]ČZÚ, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra zoologie a rybářství

Odborný seminář Vyhodnocení stavu povrchových vod za období 2013–2015

Dne 21. března 2018 proběhl na Novotného lávce v Praze pod záštitou odborné skupiny Odpadní vody-čistota vod při ČVTVHS seminář na téma Vyhodnocení stavu povrchových vod za období 2013–2015. Hlavním cílem semináře bylo seznámit účastníky, kterých bylo celkem 55, s principy a výsledky hodnocení chemického a ekologického stavu/potenciálu povrchových vod za uvedené tříletí souhrnně za celou ČR, ale i za jednotlivá dílčí povodí. Podstatnou část přednášejících i účastníků tvořili zaměstnanci státních podniků Povodí, dále pak pracovníci VÚV TGM, v. v. i., ČHMÚ a MŽP.

Odborný garant semináře Ing. Petr Tušil, Ph.D., MBA, v úvodní přednášce seznámil přítomné se základními principy hodnocení, které vychází z požadavků Rámcové směrnice pro vodní politiku Společenství 2000/60/ES. Hodnocení za období 2013–2015 vychází z legislativního požadavku vyhlášky č. 98/2011 Sb., v platném znění, § 4 odst. 3, a je metodicky shodné s hodnocením prováděným v rámci zpracovávání plánů povodí za období 2010–2012. Vyhodnocení stavu povrchových vod pro jednotlivé státní podniky Povodí bylo realizováno VÚV TGM, v. v. i.

V České republice bylo hodnocení stavu realizováno pro 1 044 útvarů povrchových vod tekoucích a 77 útvarů stojatých vod. Celkem 36,4 % útvarů nedosahuje dobrého chemického stavu. Problematickými parametry v matrici voda jsou především polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) a v některých oblastech i kovy rtuť, kadmium a nikl. V matrici biota nevyhovuje rtuť díky velice nízké hodnotě normy environmentální kvality (NEK) a ze stejného důvodu i polybromované difenylethery (PBDE). V případě hodnocení ekologického stavu/potenciálu je ve středním a horším stavu 86,5 % útvarů v kategorii řeka a 72,7 % útvarů v kategorii stojatých vod. Na nevyhovujícím stavu/potenciálu se podílí jak biologické složky (fytobentos, makrozoobentos, ryby), tak i všeobecné fyzikálně-chemické ukazatele (zejména celkový fosfor) a současně i specifické znečišťující látky (některé pesticidy a zejména jejich metabolity, bisfenol A, kyselina ethylendiamintetraoctová – EDTA). Pokud jde o celkový stav útvarů povrchových vod v období 2013–2015, tak nevyhovuje 90,6 % útvarů tekoucích vod a 81,8 % útvarů stojatých vod. Oproti předchozímu hodnocenému tříletí (2010–2012) došlo k velmi mírnému zlepšení v případě chemického stavu a ke zhoršení v případě ekologického stavu/potenciálu.

Poté zástupci jednotlivých státních podniků Povodí Moravy, Odry, Labe, Vltavy a Ohře prezentovali podrobnější výsledky hodnocení na jimi spravované síti vodních toků, často i ve srovnání s předchozím hodnoceným tříletím 2010–2012. Příčiny nedosahování dobrého chemického stavu byly vesměs identické; největší podíl připadá na prioritní látky ze skupiny polycyklických aromatických uhlovodíků (benzo(a)pyren a fluoranthen). Bylo konstatováno, že významný podíl na tomto nepříznivém stavu mají velice nízké hodnoty NEK (často i pod mez stanovitelnosti příslušné laboratorní metody) a současně i významná dotace znečištění z atmosférické depozice, kdy i na vodních nádržích v horských oblastech (např. v povodí Odry) průměrné roční koncentrace v matrici voda jsou vyšší než příslušné NEK. V případě matrice biota jsou hodnoty NEK ve všech sledovaných profilech překračovány v parametrech rtuť a PBDE.

Na nedosahování dobrého ekologického stavu/potenciálu mají podíl především nutrienty celkový fosfor a vybrané formy dusíku, z pesticidů alachlor (zvl. v povodí Dyje), malathion a fenthion, z ostatních specifických znečišťujících látek pak bisfenol A, AOX a EDTA. Mgr. Petr Ferbar ze státního podniku Povodí Labe prezentoval také vzrůstající trend teploty vody v nádržích (měřeno u hráze) provázené zhoršením kyslíkových poměrů v nádrži. Rozdílná kvalita vody v severní a jižní části nádrže Rozkoš vedla ke změně koupacího místa, aby mohl být zachován rekreační potenciál nádrže. Problematice kvality vody v nádržích (stojaté vody) se věnoval i RNDr. Jindřich Duras, Ph.D., ze státního podniku Povodí Vltavy. Upozornil na fosfor, který je především zodpovědný za projevy eutrofizace v povrchových vodách. Významný vnos zatížení povrchových vod v povodí Vltavy nutrienty pochází také z rybníků, zvláště pokud dochází k jejich přehnojování. Současný metodický pokyn k hospodaření na rybnících je zastaralý a měl by být aktualizován. Vedoucí vodohospodářských laboratoří státního podniku Povodí Labe Ing. Jiří Medek informoval účastníky o monitorovacích programech, které jsou realizované tímto státním podnikem na národní i mezinárodní úrovni. Zajímavé bylo porovnání českých výsledků hodnocení stavu povrchových vod s ostatními členskými zeměmi EU provedené v rámci realizace 2. plánů povodí, prezentované RNDr. Hanou Prchalovou z VÚV TGM, v. v. i.

Příspěvky ČHMÚ hodnotící obsah prioritních látek v pevných matricích přednesla RNDr. Drahomíra Leontovyčová a Mgr. Vít Kodeš, Ph.D. Ve všech skupinách zkoumaných organismů (bentos, plůdek, ryby, mlži) byly normy environmentální kvality podle nařízení vlády č. 401/2015 Sb. překračovány v ukazatelích perfluorooktansulfonátů (PFOS) a polybromovaných difenyletherů (PBDE); s maximálními nálezy u juvenilních ryb. Vyjma mlžů je obsah rtuti v ostatních organismech rovněž nadlimitní. Její koncentrace vzrůstá se stářím organismů, nejvyšší je tedy v rybí svalovině. Polycyklické aromatické uhlovodíky fluoranthen a benzo(a)pyren jsou problémem pouze u bentosu, v ostatních biologických matricích jsou NEK překračovány jen sporadicky. Naopak vysoce podlimitní jsou obsahy hexachlorbenzenu (s výjimkou nálezů v řece Bílině), hexachlorbutadienu a hexabromcyklododekanů ve všech sledovaných biologických matricích.

Druhou skupinou pevných matric jsou sedimenty, sedimentovatelné plaveniny a plaveniny. Přesto, že nejsou pro tyto matrice v rámci nařízení vlády 401/2015 Sb. určeny NEK, hodnotí se trend koncentrace vybraných prioritních látek podle požadavků směrnice 2013/39/EU, který nesmí být v čase významně stoupající. Stoupající trend na větším množství říčních profilů byl potvrzen v parametrech kadmium, olovo, anthracen a chlorované alkany C_{10}–C_{13}.

Zástupce Ministerstva životního prostředí Mgr. Martin Udatný seznámil přítomné s legislativou a vývojem ohledně monitorování látek, které jsou na seznamu zvaném Watch List, jehož hlavním cílem a smyslem je získat dostatek informací o zastoupení látek na tomto seznamu ve vodním prostředí EU, a dále na seznamu Short List, který obsahuje deset látek, jež jsou v procesu posuzování jako nové prioritní látky pro vodní prostředí napříč EU. První měsíce roku 2018 byly předmětem intenzivní přípravy druhého seznamu látek pro Watch List, jejichž monitoring ve vodách by měl být zahájen na počátku roku 2019.

V samém závěru semináře jeho odborný garant, Ing. Petr Tušil, Ph.D., MBA, vystoupil s návrhy doporučení pro optimalizaci procesu hodnocení stavu povrchových vod pro následující aktualizaci plánů povodí pro období 2022–2027. Těžiště těchto doporučení spočívá především v aktualizaci Rámcového programu monitoringu, vytvoření finálního seznamu reprezentativních profilů v útvarech povrchových vod (tekoucích i stojatých) pro realizaci hodnocení stavu za období 2016–2018, vyšší kvalitě metadat pro bezproblémové zpracování vyhodnocení stavu na úrovni celé ČR, aktualizaci vybraných metodických postupů pro hodnocení stavu a pravidelné kontrole výpočetních algoritmů v informačním systému ARROW.

Autoři

Ing. Petr Tušil, Ph.D., MBA
✉ petr.tusil@vuv.cz

Ing. Tomáš Mičaník, Ph.D.
✉ tomas.micanik@vuv.cz

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

VTEI/2018/3

Od roku 1959

VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

WATER MANAGEMENT TECHNICAL AND ECONOMICAL INFORMATION

Odborný dvouměsíčník specializovaný na výzkum v oblasti vodního hospodářství.
Je uveden v Seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR.

Ročník 60

VTEI.cz

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

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

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

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

Kontakt na redakci:
E: info@vtei.cz

Autoři fotografií tohoto čísla:
Archiv VÚV

Grafická úprava, sazba, tisk:
ABALON s. r. o., www.abalon.cz

Náklad 1500 ks

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

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

VODNÍ NÁDRŽ TRNÁVKA

Vodní dílo Trnávka se nachází na řece Trnava nad obcí Želiv (Vysočina), necelé 2 km nad soutokem řeky Trnavy a Želivky. Bylo postaveno v letech 1977–1981. Hlavním účelem je zachycení splavenin přinášených vodním tokem do vodárenské nádrže Želivka-Švihov. Pod hrází se nachází slalomová dráha, jejíž délka přesahuje 500 m a celkové převýšení činí 9 m. Tato dráha patří mezi nejobtížnější ve střední Evropě.
Text a fotografii dodal Jiří Jiroušek, www.nebeske.cz.

VÝZKUMNÝ ÚSTAV
VODOHOSPODÁŘSKÝ
T. G. MASARYKA
veřejná výzkumná instituce

VTEI.cz