

VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

VTEI / 2015 / 6

- 4 / Hodnocení rizika vysychání drobných vodních toků v České republice
- 17 / Zvládání sucha a výstavba vodních nádrží v kontextu územního plánování
- 52 / Rozhovor s náměstkem Ing. Janem Křížem

Lužní les v české přírodě

Lužní les patří k druhově nejrozmanitějším ekosystémům u nás. Hlavním znakem pro lužní les je přítomnost vodního toku nebo velkého množství podzemní vody v jeho blízkosti. Díky tomu je zde podmáčená půda, která vyhovuje vlhkomilným rostlinám i živočichům. Kvůli nadměrné vlhkosti dochází v takto stále podmáčené půdě k nedostatku kyslíku. Tento nedostatek má za následek řadu chemických redukčních pochodů, které dávají této vrstvě půdy modrozelené zbarvení a zvláštní zápach. Odborně se takové půdě říká glejová. Půda na těchto územích je bohatá nejen na vodu, ale i na živiny, které řeka naplaví spolu s pískem, zeminou či štěrkem.

Voda však není jediný faktor, který zapříčiňuje velkou druhovou rozmanitost lužních lesů. Tím dalším je velice příznivý teplotní poměr, který dává možnost dlouhého vegetačního období rostlin. Po letních deštích se z tohoto území může stát prakticky neprostupná džungle plná malých močálů, lián, hmyzu a zpívajících ptáků. Nejvíce a největší lužní lesy najdeme v nížinném pásmu na pravidelně zaplavovaném území kolem řek.

Lenka Kadlínková, www.priroda.cz



Potok v přírodě lužního lesa

Obsah



3 Úvod

4 Hodnocení rizika vysychání drobných vodních toků v České republice

Světлана Zahradková, Ondřej Hájek, Pavel Tremel, Petr Pařil, Michal Straka, Denisa Němejcová, Marek Polášek, Pavel Ondráček

17 Zvládání sucha a výstavba vodních nádrží v kontextu územního plánování

Milena Forejtníková, Jana Ošlejšková, Tomáš Morávek



24 Vyhodnocení komplexních pozemkových úprav v povodí Litavy

Jana Uhrová, Kamila Zárubová

30 Přesnost simulace rozlivu pomocí alternativního nástroje AIZM

Martin Caletka

35 Využití odpadního tepla k úpravě odpadních vod z průmyslových procesů

Marek Vondra, Petr Bobák, Vítězslav Máša



44 Kvalita kalů a odpadů z domovních a malých ČOV a možnosti jejich využití v zemědělství

Miloš Rozkošný, Hana Hudcová, Miroslav Plotěný, Radek Novotný, Jana Matysíková

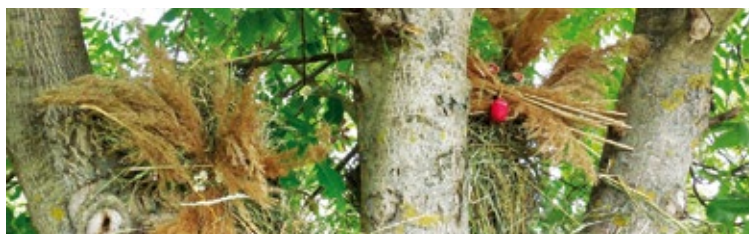
51 Autoři VTEI

52 Rozhovor s Ing. Janem Křížem, náměstkem ministra životního prostředí

Redakce

55 Danube Art Master 2015

Eva Mlejnská



56 Odborné akce v roce 2015



Vážení čtenáři,

S napětím jsme očekávali moment, kdy budeme mít první vytištěné číslo obnoveného samostatného časopisu Vodohospodářské technicko-ekonomické informace – VTEI v ruce. Jedna věc jsou grafické návrhy v digitální podobě, makety nového VTEI a diskuse nad fonty a vazbou v rámci korporátního designu VÚV TGM, v.v.i., atd. a věc druhá je mít hotový časopis fyzicky před sebou. Můj osobní pocit je, že se nám „znovuzrození“ povedlo. Nicméně soudit by měli a budou především čtenáři. Posuzovat budou jak formální stránku, tak především stránku odbornou. Odezvy, které se ke mně dostaly, jsou pozitivní, nicméně faktem zůstává, že pozitivní hodnocení se v našich krajích říká z očí do očí, na rozdíl od hodnocení negativního. To se obvykle říká těm druhým. Stejně je to i s očekáváním, zda se nám časopis povede v této kvalitě a rozsahu udržet i v dalších číslech, a připravenou větou „já vám to říkal“. Lidé mají přirozený strach z nejistot a nových věcí, a všechno nové tedy často považují za negativní. Domnívají se, že svou strategii založenou na zažitých vzorcích chování mohou korunovat neúspěchem těch druhých.

Myslím si, že vědomí a neustálé uvědomování si těchto faktů je potřebné k tomu, abychom odolali pokušení cítit sebeuspokojení, protože to je začátek konce všech nových věcí a posunu o kousek dál. Dalším prvkem úspěchu je štěstí. Měli jsme štěstí při přípravě prvního monotematického čísla VTEI na téma sucho. Články, které procházejí recenzním řízením, je nutné

předat do redakce s dvouměsíčním předstihem a naše štěstí bylo v tom, že sucho letošního roku přetrvalo a vrcholilo právě v době, kdy vyšlo první číslo nového VTEI. Štěstí v neštěstí. Nejdůležitější prvek úspěchu je spolupráce, bez spolupráce a hledání konsensuálních řešení není možné postoupit ani o krok dál. Přál bych si, aby právě obnovené VTEI bylo platformou pro spolupráci a publikování odborných článků napříč celou odbornou vodohospodářskou veřejností. A protože ve chvíli, kdy budete držet toto číslo VTEI v rukou, se bude rok 2015 chýlit ke konci, chtěl bych Vám popřát v duchu předchozích vět úspěch, štěstí a dobrou spolupráci v roce 2016 a poděkovat za spolupráci v roce 2015.



Mgr. Mark Rieder
ředitel VÚV TGM, v.v.i.

Hodnocení rizika vysychání drobných vodních toků v České republice

SVĚTLANA ZAHŘÁDKOVÁ, ONDŘEJ HÁJEK, PAVEL TREML, PETR PAŘIL, MICHAL STRAKA, DENISA NĚMEJCOVÁ, MAREK POLÁŠEK, PAVEL ONDRÁČEK

Klíčová slova: sucho – mapa – tok – deficit srážek – krajinný pokryv – makrozoobentos – bioindikace

SOUHRN

Pro Českou republiku byla navržena kategorizace území z hlediska rizika vysychání drobných vodních toků (I. až IV. řád podle Strahlera). Byly stanoveny tři stupně rizika (malé, střední a velké) pro detailní plošky povodí (povodí IV. řádu). Stupně rizika byly definovány na základě hodnot vybraných abiotických charakteristik povodí a jejich kombinací. Výběr charakteristik a jejich hraniční hodnoty byly odvozeny metodou klasifikačních stromů. Klasifikovány byly lokality, které byly rozděleny do skupin podle toho, zda na nich bylo zjištěno vysychání. Vysychání bylo detekováno metodou retrospektivní biologické indikace. Tato nová metoda, založená na analýze makrozoobentosu, byla vyvinuta na základě komplexního výzkumu vysychajících i permanentních toků v období 2012–2015. Pomocí uvedené metody bylo vyhodnoceno 332 lokalit (1362 vzorků), sledovaných na drobných vodních tocích ČR v rozmezí let 1997 až 2015. Výsledný stupeň rizika vysychání drobných vodních toků pro vytvoření mapy byl odvozen pomocí metody klasifikačních stromů z deficitu srážek, typu krajinného pokryvu, podílu hornin s obsahem jílovců, parametrů geomorfologických a z podílu stojatých vod v povodí. Území s malým rizikem vysychání představuje 45,3 %, se středním 23,3 % a s velkým rizikem 31,3 % rozlohy ČR. Vysoce riziková jsou povodí s převahou orné půdy a podílem vodních ploch větším než 1 %. Kategorizace má sloužit jako podklad pro rozhodovací procesy zejména pro management vodního hospodářství, zemědělství a ochrany přírody.

ÚVOD

Sucho je fenomén, který je obtížné jednoznačně definovat, přestože je mu věnována značná pozornost i mimo oblasti s typicky aridním klimatem. Dopady sucha se v posledních letech zabývá i řada projektů ve střední Evropě. Na problematiku sucha lze nahlížet z různých hledisek, komplexní pohled s akcentem na ekologické aspekty v akvatických systémech nabízí v mezinárodním měřítku monografie *Drought and aquatic ecosystems* [1]. Sucho v českých zemích je všestranně vyhodnoceno v aktuálně vydané monografii zpracované týmem odborníků pod vedením profesorů Brázdila a Trnky [2]. Česká republika nebyla v minulosti považována za zemi bezprostředně ohroženou suchem, ačkoliv se období sucha s nezanedbatelnými důsledky vyskytovala i v minulosti [2–6]. Situace se změnila na přelomu tisíciletí, zejména po extrémním průběhu počasí v roce 2003 [7] a také v roce 2015, kdy byla např. na řadě toků zaznamenána historická minima za období celého přístrojového sledování [8]. Fenomén sucha se tak dostal do popředí zájmu řady resortů státní správy, zejména Ministerstva zemědělství a Ministerstva životního prostředí. Oba resorty byly na základě Usnesení k přípravě realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha

a nedostatku vody vládou ČR pověřeny zpracovat během dvou let koncepci ochrany před následky sucha [9].

Pro tvorbu koncepce budou důležitými vstupy jak identifikace příčin výskytu sucha, tak kategorizace území z hlediska míry rizika výskytu sucha, protože do oblastí s vysokým rizikem by měla být směřována jednotlivá opatření k omezení následků sucha. Zásadním vstupem by také měla být znalost účinnosti jednotlivých typů opatření.

K vymezení rizikových území lze přistupovat různě podle toho, zda je sledováno sucho meteorologické, hydrologické, zemědělské nebo socioekonomické. Základním přístupem pro toto vymezení je využívání indexů sucha různého typu; přehled a hodnocení jejich předností a slabin viz [2, 10]. Často jsou používány indexy založené na meteorologických datech, např. v evropském měřítku byla navržena klasifikace území na úrovni kombinovaných územních celků NUTS (Nomenclature of Units for Territorial Statistics), založená na využití indexu SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) [11]. V ČR jsou z pohledu sucha meteorologická data také intenzivně analyzována (viz www.chmi.cz a [8]). Kategorizace území na základě hodnocení pomocí několika klimatických indexů je uvedena v Atlasu podnebí Česka [12]. Hodnocením sucha zemědělského s důrazem na jeho krátkodobou predikci se intenzivně věnuje Ústav agrosystémů a bioklimatologie na Mendelově univerzitě v Brně (www.intersucho.cz). Identifikaci zranitelných oblastí z hlediska nedostatku vodních zdrojů pro současnost i budoucí období provedli např. Beran a Hanel [13], početné další přístupy k hodnocení rizik spojených se suchem jsou uvedeny v monografii o suchu [2].

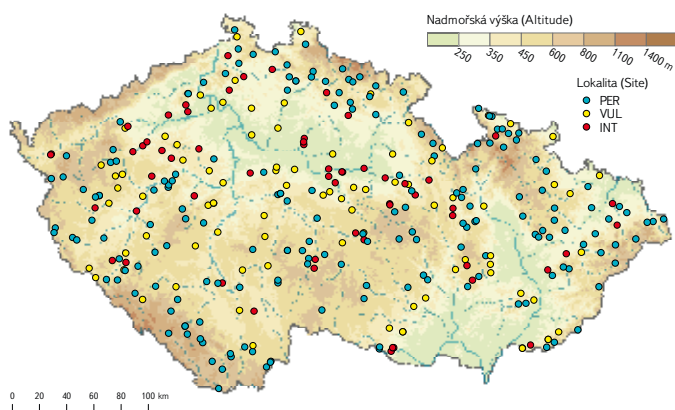
Jedním z nejnápadnějších projevů epizod sucha je pokles hladin vodních toků. Toto tzv. hydrologické sucho je intenzivně studováno na základě hodnocení údajů z hydrologických stanic, které jsou obvykle umístěny na větších tocích. Sucho je pro tento účel definováno určitou hranicí zabezpečeného průtoku (zpravidla hranice Q₉₅, ale např. i Q₃₅₅ apod.). Velmi nízké průtoky, a zejména průtoky nulové, mají závažné dopady na přežití živých organismů (bioty) s konsekvencemi nejen pro jakost vod, ale i pro jednotlivé ekosystémy v krajině, pro které je voda jedním z předpokladů samotné existence. Problematice nízkých, nulových a takzvaně minimálně přípustných průtoků byla věnována pozornost již v minulosti, v ČR viz např. práce M. Zelinky [14]. V období implementace směrnice 2000/60/ES (Rámcová směrnice o vodách) [15] je akcentována problematika ekologického stavu vodních útvarů povrchových vod a díky tomu jsou koncepty optimálního stanovení minimálních zůstatkových průtoků dále rozvíjeny. Kategorizaci území České republiky do čtyř typů oblastí v závislosti na charakteru hydrologického režimu a na klíčových procesech, které se v dané oblasti podílejí na tvorbě odtoku, navrhl Mrkvičková a Balvín v souvislosti s návrhem postupu stanovení minimálních zůstatkových průtoků [16].

Z hlediska typu toků, na kterých dochází v obdobích sucha k nejmarkantnějším změnám, patří k nejhroženějším toky menší, I. až IV. řádu podle Strahlera [17]. Jejich hydrologický režim více závisí na lokálních podmínkách v konkrétním malém povodí, než je tomu u toků větších. Na většině malých toků zpravidla nejsou umístěny měřicí stanice a exaktní údaje o jejich průtocích chybí. K výskytu nízkých průtoků až k vyschnutí toků však objektivně dochází, to lze doložit údaji z informačního systému (IS) SALAMANDER (www.is2ms.monsms.cz) bývalé Zemědělské vodohospodářské správy (ZVHS), v němž jsou uložena data z monitoringu drobných vodních toků. Informace o vyschnutí pochází také z terénních průzkumů autorů.

Pojmem vyschnutí toku je v kontextu této publikace míněno úplné vymezení povrchového průtoku z koryta toku (mohou zbývat pouze izolované tůně bez propojení s povrchovým tokem). Tento jev, zejména pokud nastane na delším úseku toku po delší dobu (dny až měsíce), má dalekosáhlé dopady na ekologický stav toku i chemické vlastnosti vody. Dalším významným negativním důsledkem vyschnutí toku je narušení jeho funkce jako významného krajinného prvku, neboť toky slouží jako biokoridory. To pak vede ke zvýšení fragmentace říční sítě a degradaci jejich funkcí v krajině.

Průtoky ve větších tocích jsou i v podmínkách kulturní krajiny do značné míry závislé na vodnosti toků nižších řádů. Posuzujeme-li říční síť v ČR podle délky toků, pak podíl toků I. až IV. řádu činí téměř 92 %. Jejich stav do značné míry odráží stav krajiny jako celku. Znalost konkrétní míry rizika vyschnutí menších toků je důležitá přinejmenším pro management vodního hospodářství, zemědělství a ochrany přírody.

Výzkumem vysychání drobných vodních toků, jeho důsledky pro vodní biotu a možnostmi zpětné (retrospektivní) indikace epizody vyschnutí toku bioindikacími metodami se zabývá tým pracovníků Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v.v.i., Mendelovy univerzity a firmy WELL Consulting, s. r. o., v projektu podporovaném Technologickou agenturou ČR: Vysychání toků v období klimatické změny: predikce rizika a biologická indikace epizod vyschnutí jako nové metody pro management vodního hospodářství a údržby krajiny (projekt č. TA02020395, akronym BIOSUCHO).



Obr. 1. Rozmístění lokalit na malých vodních tocích klasifikovaných metodou retrospektivní bioindikace do tříd podle permanence průtoku: PER – toky stále tekoucí, VUL – toky vysychající nepravidelně, INT – toky vysychající pravidelně

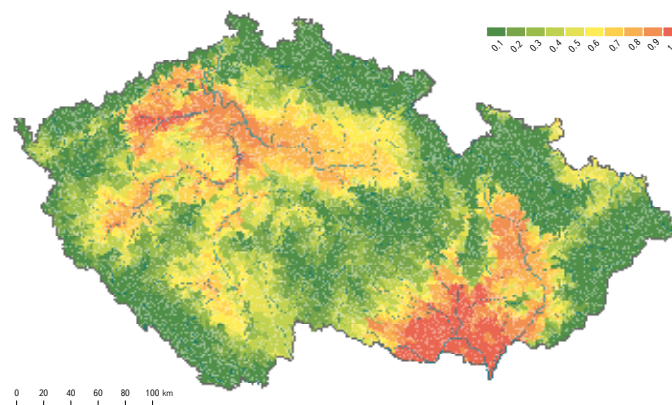
Fig. 1. The distribution of sites used in the analyses, classified by the retrospective bioindication method into groups according to the permanence of flow: PER (permanent) – a constant flow, VUL (vulnerable) – an irregular drying up, INT (intermittent) – a regular drying up

Retrospektivní indikace vysychání toků je založena na analýzách makrozoobentosu. Makrozoobentos, čili makroskopičtí bezobratlí živočichové obývající dno vodních biotopů, citlivě reagují na epizody vyschnutí toku. Dochází ke kvalitativním i kvantitativním změnám ve struktuře společenstev, které jsou identifikovatelné při hodnocení standardně odebraných vzorků makrozoobentosu, a to po dobu nejméně jednoho roku po vyschnutí. Uvedenou metodou byly vyhodnoceny vzorky makrozoobentosu nejen z projektu BIOSUCHO, ale i vhodné vzorky uložené v databázi IS SALAMANDER, vytvořené v letech 1997 až 2010.

Jedním z cílů projektu BIOSUCHO je také vymezení oblastí, v nichž je zvýšené riziko vysychání drobných vodních toků (DVT). V tomto příspěvku se proto zabýváme kategorizací území ČR podle míry rizika vysychání drobných vodních toků. Kategorizace je provedena na základě abiotických charakteristik povodí, zpracovatelných do vrstev GIS, a výsledků hodnocení makrozoobentosu z obou uvedených zdrojů.

Průtoky v tocích obecně jsou ovlivňovány řadou faktorů se synergickým nebo antagonistickým účinkem. Jedná se o jevy klimatické, které jsou v čase proměnlivé a člověkem minimálně ovlivnitelné, o převážně stabilní charakteristiky geologické a geomorfologické, o složité hydrogeologicky podmíněné poměry v podzemních vodách a v neposlední řadě o vlivy lidské činnosti, které je možné korigovat (odběry povrchových a podzemních vod, manipulace s průtoky, údržba krajiny, renaturace či revitalizace toků).

Vstupní výběr abiotických charakteristik pro tuto studii byl proveden podle výsledků předchozích výzkumů. Z literárních údajů byla převzata informace o tom, že povodí na jílovcích vykazují signifikantně vyšší hodnoty nedostatkových objemů než povodí s jinou litologií [18]. V rámci vlastních předběžných analýz v projektu BIOSUCHO bylo provedeno podrobné hydrogeologické posouzení situace na 87 úsecích toků (lokalitách), z nichž 32 bylo vysychavých a 55 nevysychavých [19]. Jako nejvýznamnější důvod vysychání byl uveden odběr podzemní vody v povodí, zvětšení mocnosti kvartérních náplavových uloženin spojené se změnou spádu toku a výskyt řádově propustnějších vložek hornin v povodí. Jako potenciálně riziková byla na základě této studie hodnocena povodí drobných toků, kterými procházejí hranice mezi geomorfologickými podcelky s poklesem střední výšky terénu větším než 200 m a/nebo změnou sklonu svahů. Pro některé



Obr. 2. Mapa deficitu srážek: kvantily rozdílů úhrnů srážek a evapotranspirace pro povodí IV. řádu; hodnota 0,1 odpovídá situaci, kdy evapotranspirace převládá nad srážkami v povodí v 0–10 % případů, tedy jen v nejsušších letech; hodnota 1 odpovídá situaci, kdy evapotranspirace převládá nad srážkami v povodí v 91–100 % případů

Fig. 2. Map of the rainfall deficit: quantiles of the differences between precipitation and evapotranspiration in the 4th order catchments (the smallest hydrological units); the value 0.1 corresponds to a situation when evapotranspiration prevails over precipitation in the catchment in 0–10% of cases, i.e. in the driest years; the value 1 corresponds to a situation when evapotranspiration prevails over precipitation in the catchment in 91–100% of cases

z uvedených charakteristik však bylo problematické získat kompletní a konzistentní údaje pro vrstvy GIS v přiměřené podrobnosti. Pro další hodnocení byla proto jako použitelná dále zpracována charakteristika výskytu významných tektonických linií a vyhodnocen podíl krasových a pseudokrasových jevů jako určitý zástupný ukazatel k propustnosti podloží v povodí. Hranice mezi geomorfologickými jednotkami byly dále zpracovány podrobněji – na úrovni okrsků (viz Metodiku).

Z antropogenních vlivů byl jako dále využitelný vyhodnocen ukazatel typu krajinného pokryvu. Vliv různých typů povrchů na toky z hlediska kvalitativního i kvantitativního byl prokázán [20]. Na průtoky v tocích mají objektivně vliv také nádrže různého typu v jejich povodí, proto byl zařazen také podíl ploch stojatých vod v hodnoceném povodí.

Výstižnost klasifikace území, tedy i výběr jednotlivých mapových vrstev a poté jejich kombinací, byla posuzována pomocí informací o reálném vyschnutí toků (pozorování anebo měření v terénu) a podle výsledků hodnocení biologických vzorků nově vyvinutou metodou retrospektivní indikace vyschnutí toku podle makrozoobentosu [21].

Cílem studie tedy byla kategorizace území ČR z hlediska rizika vysychání drobných vodních toků v podobě mapy v měřítku 1 : 200 000. Dílčími cíli bylo: (i) posouzení významnosti abiotických charakteristik územních jednotek na úrovni povodí IV. řádu z hlediska rizika vysychání drobných vodních toků, a to na základě informací získaných přímými (pozorování, měření) i nepřímými (retrospektivní bioindikace) metodami a (ii) konstrukce mapy rizika na základě kombinace vybraných vrstev, tj. kategorizace území. Kategorizace území bude od r. 2016 k dispozici v portálu Hydroekologického informačního systému HEIS (www.heisvuv.cz).

METODIKA

Zdroje dat

Za drobné vodní toky pro účel této studie považujeme toky od I. do IV. řádu podle Strahlera. Rámcově se toto vymezení shoduje s pojetím drobných vodních toků, které byly v gesci bývalé ZVHS. Data použitá pro konstrukci map lze rozdělit na informace o živé složce – makrozoobentosu (data biotická) a na informace o abiotických charakteristikách. Vzorky makrozoobentosu, odebírané pomocí ruční sítě v jarní a podzimní sezoně semikvantitativní metodou PERLA [22], pocházely ze sledování modelových lokalit v projektu BIOSUCHO (celkem 23 lokalit, sledované období 2012–2014, celkový počet vzorků 110). Dalším zdrojem dat byla databáze IS SALAMANDER, která obsahuje údaje o odběrech makrozoobentosu na 900 lokalitách, a to jak antropogenně ovlivněných, tak v přírodě blízkém stavu, na kterých bylo provedeno téměř 5000 odběrů. Data z tohoto zdroje byla pro analýzy, jejichž výsledky jsou prezentované v tomto článku, očištěna od údajů z lokalit vykazujících známky organického znečištění (hodnoceno přednostně podle hodnot saprobního indexu, rutinně užívané bioindikační metody [23]) s ohledem na velikost toku na hranici oligo- a beta-mezosaprobity, resp. středu beta-mezosaprobity. Dále byly vyřazeny lokality, na nichž byly zjištěny nízké hodnoty pH (s výskytem minimálních hodnot < 6, nebo mediánových hodnot < 7). Vzorky makrozoobentosu z takto ovlivněných lokalit mohou vykazovat změny podobné těm, které jsou vyvolány vysycháním, a to by vedlo k chybným výsledkům prováděných analýz. Do dalšího hodnocení byly zařazeny lokality sledované nejméně jeden rok v jarním a podzimním aspektu v případě minimálně antropogenně ovlivněných toků, což byly lokality systému PERLA, tzv. referenční [24], které byly téměř výlučně nevysychající. V případě dat z takzvaného standardního monitoringu ZVHS, mezi nimiž byly ponechány i toky s ovlivněným hydrologickým režimem nebo s úpravami koryt, byly hodnoceny lokality sledované minimálně dva roky. Z uvedených zdrojů pocházela také část dat abiotických, vztahujících se k lokalitám a vzorkům, další údaje pocházely z vrstev geografických informačních systémů (GIS), jejichž původ je popsán níže.

Klasifikace lokalit

Jednotlivé vzorky byly vyhodnoceny metodou rektrospektivní bioindikace [21] do tří tříd:

- INT – intermitentní (intermittent) – vysychající řádově na týdny na úseku toku delším než 1 km;
- VUL – zranitelné (vulnerable) – vysychající nepravidelně, řádově na stovkách metrů pouze na několik dní;
- PER – permanentní (permanent) – trvale tekoucí.

Hodnocení vzorků na základě analýzy makrozoobentosu podle uvedené metodiky bylo převedeno na klasifikaci lokalit následujícím způsobem: jako INT byla vyhodnocena lokalita v případě dvou a více vzorků makrozoobentosu hodnocených jako INT, nebo jednoho vzorku INT a jednoho či více vzorků hodnocených jako VUL. Jako VUL byla lokalita hodnocena v případě výskytu nejméně dvou vzorků hodnocených jako VUL, výjimečně také při kombinaci vzorků PER a jednoho vzorku INT. V případě poměru výsledků VUL : PER = 1 : 3 a vyšším ve prospěch PER byla lokalita hodnocena jako PER. Pokud nebylo možné vzorek odebrat z důvodu vyschnutí, byla daná sezona hodnocena jako INT.

KATEGORIZACE ÚZEMÍ

Územní jednotky pro hodnocení

Kategorizace území byla provedena na úrovni hydrologického povodí IV. řádu, tedy detailních plošek povodí (http://www.dibavod.cz/data/text_charakteristiky_toku.pdf). Pokud je v textu použit pojem „povodí“ bez dalšího upřesnění (povodí Odry, povodí nad lokalitou apod.), jsou vždy míněna povodí IV. řádu. Vyšší úrovní pro hodnocení byly útvary povrchových vod (http://heis.vuv.cz/data/spusteni/identchk.asp?typ=96&oblast=isvs_utv), tj. významné územní celky pro vodohospodářský management, které je možné agregovat do dalších vyšších jednotek.

Vrstvy GIS testované pro konstrukci mapy rizika vysychání drobných vodních toků

Na základě výsledků předběžných výzkumů bylo pro hodnocení připraveno sedm níže uvedených vrstev GIS. První z nich je mapa deficitu srážek, která vymezuje oblasti, v nichž převládá výpar nad srážkami. Mapa byla konstruována na základě dat ze 131 bodů pravidelné čtvercové sítě o velikosti gridu 25 × 25 km. Pro výpočet byly použity časové řady teplot vzduchu a úhrnů srážek z období let 1961–2011 (které poskytl Český hydrometeorologický ústav – data byla odvozena v rámci projektu s názvem Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření [25] (metodika odvození gridových dat je popsána v Štěpánkovi a kol. [26], chybějící novější data pak dopočítána). Z časových řad teplot vzduchu byla pro každý den vypočtena evapotranspirace podle vztahu Oudina [27]. Z časových řad evapotranspirace a srážek byl pro každý bod gridové sítě 25 × 25 km stanoven deficit srážek (úhrn srážek, který chybí v daném bodě k rovnováze mezi výparem a srážkami) podle vzorce:

$$R_d = EP_d - SRA_d \quad (1)$$

kde R_d je rozdíl mezi vypočtenými hodnotami evapotranspirace a úhrnů srážek za jeden den v mm, EP_d je vypočtená hodnota evapotranspirace pro konkrétní

den a SRA_d je denní úhrn srážek v mm. Pro každý gridový bod byly z rozdílů úhrnů srážek a evapotranspirace vypočteny kvantily rozdílů úhrnů srážek a evapotranspirace po 10 %. Pro tyto kvantily byly pomocí plošné interpolace (užívající interpolační metody IDW a digitálního modelu reliéfu) vytvořeny mapy znázorňující oblasti, v nichž u daného kvantilu převládá evapotranspirace nad srážkami.

Hodnoty kvantilů byly převedeny do škály 0–1, přičemž 0 znamená minimální rizikovost z hlediska vysychání DVT.

Jako další vhodné vrstvy pro doplnění klimatického modelu deficitu srážek byly pro tvorbu výsledné mapy rizika vysychání DVT vybrány nebo vytvořeny de novo níže uvedené vrstvy pro GIS a převedeny na škálu o rozsahu 0–1.

VRSTVY PŘÍRODNÍCH PODMÍNEK

- Výskyt hornin s obsahem jílovců v povodí (<http://www.geology.cz/extranet/mapy>) (0 = žádné jílovce v podloží, 1 = 100 % jílovců v podloží).
- Výskyt významných hranic mezi geomorfologickými okrsky [28] v povodí. Postup odvození: linie je hranice mezi geomorfologickými okrsky X a Y; absolutní hodnota rozdílů průměrné nadmořské výšky X a průměrné nadmořské výšky Y dělená stem je koeficient nadmořské výšky; absolutní hodnota rozdílů průměrného sklonu svahu X a průměrného sklonu svahu Y dělená dvěma je koeficient sklonu svahu; součtem těchto dvou koeficientů je dán celkový koeficient výšky a sklonu pro každou hraniční linii. Každému povodí je přiřazena hodnota vypočtená jako délka všech linií (hranic mezi geomorfologickými okrsky) procházejících povodím, přičemž délka každé linie byla vynásobena svým koeficientem. Převod na škálu 0–1 byl odvozen od maximální hodnoty zjištěné pro ČR.
- Výskyt oblasti krasů a pseudokrasů, podchycující oblasti s krasovým typem propustnosti, a tedy specifickým hydrologickým režimem; mapa byla založena na informacích AOPK (<http://jeso.nature.cz/>) [29], (0 = žádné krasy či pseudokrasy, 1 = 100 % plochy povodí tvořeno krasy nebo pseudokrasy).
- Výskyt významných tektonických jevů – poruch, zlomů v povodí (<http://www.geology.cz/extranet/mapy>) byl hodnocen pro jednotlivá povodí IV. řádu podle geologické mapy GeoČR 500 tak, že bylo individuálně posuzováno, zda jde o jev, který může mít zřetelný vliv na vodní režim toku, nebo tento vliv není pravděpodobný (např. krátký zlom ležící v okrajové části povodí nebyl dále zvažován), výsledkem je binární hodnocení (0/1).

VRSTVY ANTROPOGENNÍCH VLIVŮ

- Typ krajinného pokryvu (landuse): jednotky definované podle manuálu (<http://www.eea.europa.eu/publications/tech40add>) byly expertně spojeny do tří skupin z hlediska jejich očekávaného vlivu na průtoky hodnocených toků. Hodnocen byl podíl typu 2 (0 = absence v povodí, 1 = 100 % v povodí) s ohledem na minoritní podíl typu 1 a z toho plynoucí komplementarity typů 0 a 2:

- typ 0 – žádný nebo nepatrný negativní vliv: třída 4 (humidní území), část třídy 3 – 3.1, 3.2, 3.21, 3.22, 3.24, tj. převážně lesy a křoviny);
- typ 1 – mírně negativní nebo nevyhraněný typ – části tříd 2 (2.2, 2.3, 2.21, 2.22, 2.31, 2.41, 2.43 a 3.3 mimo výše uvedené v typu 0);
- typ 2 – zřetelně negativní vliv (třída 1 – urbanizovaná území, část třídy 2 – orná půda (2.1) a komplexní systémy kultur a parcel (2.42).

- Podíl plochy stojatých vod v povodí: hodnoceno na základě dat z databáze DIBAVOD [30] (www.dibavod.cz). Vyloučeny byly všechny nádrže označené jako vodní nádrže (v. n.) se základním objemem větším než 2000 000 m³ (což je jeden z důležitých parametrů pro definici tzv. malé vodní nádrže podle ČSN 752410 [31]), z vodních nádrží pod tímto limitem pak byly vyloučeny i další, pokud neměly účel rybochovný, rekreační anebo závlahový. Nádrže označené jako rybník byly vždy ponechány. Cílem bylo, aby ukazatel v maximální možné míře postihoval vliv rybníků, resp. malých vodních nádrží. Hodnota 0 = povodí bez hodnocených nádrží, 0,001 = 0,1 % plochy povodí tvoří stojaté vody; tedy v povodí o 100 km² se nachází 10 hektarů vodních ploch.

Pro většinu lokalit (314) bylo možno na základě údajů z terénních protokolů, fotografické dokumentace a mapových podkladů odvodit zjednodušené hodnocení míry ovlivnění morfologie toku. Tato charakteristika byla použita pro doplňkové hodnocení, protože není zpracovatelná v podobě vrstvy GIS. Byly stanoveny tři typy:

- typ 0 – žádné nebo nepatrné negativní ovlivnění (přirozené koryto i břeh, nanejvýše staré směrové úpravy a fixace břehů stromy);
- typ 1 – středně negativní ovlivnění (napřímené toky, obvykle s pomístně opevněnými břehy, s břehovými porosty stromů a keřů);
- typ 2 – zřetelně negativní ovlivnění (napřímené toky s opevněnými břehy a často i dnem, bez souvislých břehových porostů).

Výběr a kategorizace abiotických charakteristik území pro konstrukci mapy rizika vysychání

Byly vybírány abiotické charakteristiky povodí podchytilné ve vrstvách GIS, jejichž kombinace nejlépe rozlišovaly územní jednotky z hlediska výskytu lokalit typu PER, VUL a INT a na jejichž základě lze území ČR klasifikovat podle rizika vysychání drobných vodních toků do tří kategorií: riziko malé (R_0), střední (R_1) a velké (R_2).

Výběr charakteristik a identifikace jejich hraničních hodnot pro jednotlivé úrovně dělení byl proveden pomocí metody klasifikačních stromů v programu Statistica for Windows 12 [32]. Do analýzy vstupovalo sedm výše uvedených

Tabulka 1. Základní charakteristiky 332 lokalit použitých pro analýzy vedoucí ke kategorizaci území ČR z hlediska rizika vysychání drobných vodních toků
Table 1. The basic characteristics of the 332 sites that were used in the analyses resulting in the categorization of the area of the Czech Republic in terms of the risk of drying up of small streams

	průměr	medián	minimum	maximum	kvartil 25 %	kvartil 75 %	kvantil 10 %	kvantil 90 %
Řád toku (Strahler)	2,8	3	1	5	2	3	2	4
Povodí nad lokalitou [km²]	20,3	12	0,53	175	5,8	23,6	2,6	45,4
Nadmořská výška [m]	397	384	150	850	300	479	255	565

abiotických charakteristik (mimo hodnocení změn morfologie toků) a 332 lokalit neovlivněných znečištěním nebo nízkými hodnotami pH, z toho bylo 187 lokalit vyhodnoceno jako PER, 86 jako VUL a 59 jako INT. V analýze byla nastavena krosvalidace a bylo penalizováno chybné přiřazení lokalit hodnocených podle bioindikační metody jako VUL a INT k lokalitám PER (tzv. misclassification cost byla zvýšena na dvojnásobek a čtyřnásobek). Byl také nastaven dotaz na existenci alternativních charakteristik (surrogates) pro jednotlivé úrovně dělení. Úroveň klasifikačního stromu, tedy podrobnost dělení, byla vybrána podle označení optimálního stromu ve výsledku analýzy. Výsledky byly hodnoceny podle podílu lokalit jednotlivých typů (PER, VUL, INT) správně zařazených do příslušných skupin a celkové vysvětlené variability v datech. Koncové uzly klasifikace byly analýzou označeny podle nejpočetněji zastoupeného typu lokality. Průkaznost rozdílů v rozložení hodnot charakteristik mezi skupinami lokalit byla testována pomocí Kruskal-Wallisova testu.

Odvození stupně rizikovosti povodí IV. řádu z hlediska vysychání drobných vodních toků

Jednotlivá povodí IV. řádu byla kategorizována pomocí kombinace abiotických charakteristik a jejich hraničních hodnot ve výsledném klasifikačním stromu v dané hierarchii. Bylo tedy postupováno po jednotlivých větvích stromu podle hraničních hodnot a povodí bylo zařazeno do kategorie rizika podle převažujícího typu lokalit v koncovém uzlu (R_0 pro převažující PER, R_1 pro převažující VUL a R_2 pro převažující INT). Výsledná kategorizace území byla zobrazena v mapě na úrovni povodí IV. řádu. Byla též vyhodnocena celková homogenita jednotlivých vodních útvarů (vymezených pro ČR pro plánování v oblasti vod) z hlediska zastoupení tří vyhodnocených typů rizika vysychání DVT pro každý útvar.

VÝSLEDKY

Klasifikace lokalit

Celkem bylo na základě analýz 1368 vzorků makrozoobentosu hodnoceno 332 lokalit. Rozmístění lokalit s odběrem makrozoobentosu je na *obr. 1* a jejich základní charakteristiky v *tabulce 1*. Hodnocené lokality jsou rozmístěny víceméně rovnoměrně po území celého státu s výjimkou oblastí nejnižše položených, kde byla značná část lokalit z výchozího souboru IS SALAMANDER vyloučena pro účely zde prezentovaného hodnocení kvůli znečištění. Pomocí bioindikační metody bylo vyhodnoceno 187 lokalit jako PER (56,3 %), 86 jako VUL (25,9 %) a 59 jako INT (17,8 %). Hodnoceny byly lokality na tocích I. až V. řádu podle Strahlera, naprostou většinou však II. až IV. řádu. Podíl lokalit INT na tocích I. až III. řádu se pohyboval kolem 20 % (18 až 23 %), na tocích IV. řádu pak méně (12 %).

Byly porovnávány skupiny lokalit vyhraněných vůči fenoménu vysychavosti – INT a PER (Kruskal-Wallis test); nebyly zjištěny průkazné rozdíly v hodnotách řádu toku, plochy povodí nad lokalitou, stejně ani u výskytu tektonických poruch v povodí, výskytu krasů či pseudokrasů v povodí nebo významných geomorfologických hranic. Průkazný rozdíl mezi těmito skupinami lokalit naopak byl zjištěn pro ukazatele deficitu srážek ($H = 45,33$; $p = 0,000$) – větší deficit u INT, podílu jílovců ($H = 27,33$; $p = 0,000$) – větší podíl u INT, typu krajinného pokryvu 2 ($H = 56,33$; $p = 0,000$) – větší podíl u INT a podílu plochy stojatých vod v povodí IV. řádu ($H = 14,66$; $p = 0,000$) – větší podíl u INT. Morfologický stav lokalit INT byl prokazatelně horší než lokalit PER ($H = 66,19$; $p = 0,000$).

V případě 36 lokalit byla doložena epizoda vyschnutí přímo pozorováním a/nebo měřením průtoku v průběhu terénních prací. Z těchto lokalit bylo hodnoceno pomocí bioindikační metody 47,2 % jako INT, 50 % jako VUL a 2,8 % (tedy

pouze jedna lokalita) jako PER. Vyplývá z toho, že použitá metoda retrospektivní bioindikace vysychání toku na základě makrozoobentosu měla ve srovnání s reálným výskytem vyschnutí vysokou úspěšnost detekce vyschnutí.

Abiotické charakteristiky pro kategorizaci území

Kategorizace území byly zpracovány a hodnoceny na úrovni povodí IV. řádu. Pro porovnání rozložení charakteristiky pro celou republiku a v hodnoceném souboru lokalit je u výsledků každé charakteristiky nejprve komentován stav pro celou ČR a vzápětí pouze pro povodí IV. řádu, v nichž se nalézají hodnocené lokality.

Pro potřeby kategorizace ČR z hlediska ohrožení deficitem srážek byla vytvořena mapa, na níž je území rozděleno podle deficitu srážek (převládající evapotranspirace nad srážkami vyjádřené pomocí jednotlivých kvantilů) do deseti kategorií podle četnosti jednotlivých let, v nichž převládá evapotranspirace nad srážkami. Na *obr. 2* je zobrazena výsledná kategorizace území, kde oblast tmavě červená (0,9 až 1,0) představuje území, kde ve více než 90 % jednotlivých let hodnoceného období 1961–2011 převládala evapotranspirace nad srážkami, naopak v oblastech s tmavě zelenou barvou (0–0,1) buď převládají srážky ve všech letech, popř. evapotranspirace převládá nad srážkami maximálně do 10 % případů, tzn. jen v nejsušších letech.

V rámci ČR náležela zhruba třetina (35 %) z celkového počtu povodí IV. řádu do oblasti s nejpříznivějšími klimatickými podmínkami ($< 0,2$). Do oblastí, kde jsou častější roky s převažující evapotranspirací ($> 0,5$), spadala také třetina (33 %) hodnocených povodí. Hodnocené lokality se v povodích s nejpříznivějšími klimatickými podmínkami ($< 0,2$) vyskytovaly ve 47 % případů, poněkud méně se vyskytovaly v povodích s vyšším deficitem srážek (23 %).

Výskyt jílovců v podloží je geograficky vymezen, vyskytují se především v povodí Labe v oblasti České tabule a jihočeských pánví (*obr. 3*). Nevyskytují se v 72 % povodí v ČR, ve 14 % je pak jejich podíl nadpoloviční. Pro hodnocené lokality byl nadpoloviční podíl jílovců zjištěn ve 20 % povodí a zhruba dvě třetiny z nich (67,5 %) přítomnost jílovců nevykazují, což se blíží situaci v celé ČR.

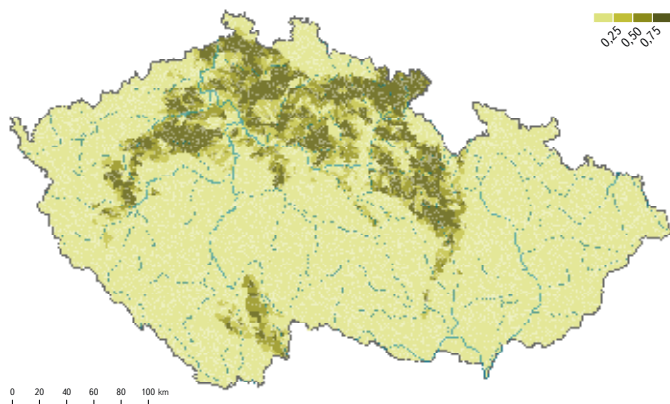
Výskyt významných hranic mezi geomorfologickými okrsky v povodí (*obr. 4*) nebyl zjištěn ve více než čtvrtině povodí IV. řádu (29 %), v další čtvrtině (26 %) povodí byla zjištěna hodnota větší než 0,25. Mimořádně vysoké hodnoty ($> 0,50$) se týkaly necelých 2 % povodí. Pro hodnocené lokality bylo v uvedených kategoriích zjištěno zastoupení 17 %, 41 % a 8 %, lokality se tedy častěji vyskytovaly v povodích s vyššími hodnotami této charakteristiky, než odpovídalo rozložení v rámci republiky.

Výskyt krasových a pseudokrasových oblastí (*obr. 5*) nebyl zjištěn u 69 % povodí IV. řádu v ČR, nadpoloviční podíl se vyskytoval u 18 % povodí v různých částech republiky. Hodnocené lokality se vyskytují v povodích bez krasových nebo pseudokrasových jevů v 59 % případů, nadpoloviční podíl byl zjištěn v 15 % případů, zastoupení je tedy přibližně srovnatelné se situací v ČR.

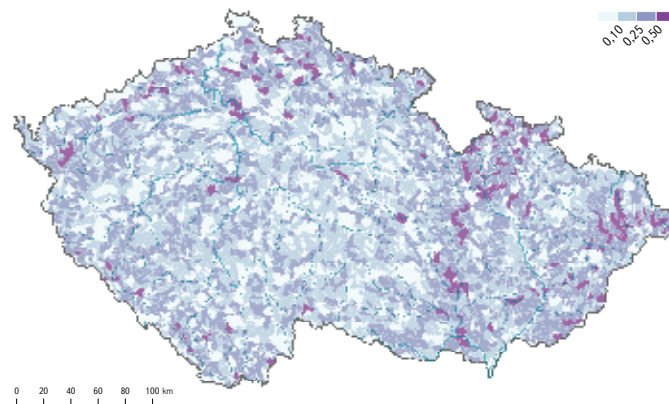
Výskyt významných tektonických jevů (poruch, zlomů v povodí) byl na území ČR detekován ve třetině povodí (34,6 %), více v povodí Moravy a Odry, zejména v oblasti Jeseníků a Beskyd (*obr. 6*). Tyto jevy byly zjištěny v povodích hodnocených lokalit ve 49 % případů, tedy častěji než odpovídalo situaci na celém území ČR.

Typ nepříznivého krajinného pokryvu (2) se podle očekávání vyskytoval v ČR především v oblastech nížin (*obr. 7*). Nadpoloviční podíl tohoto typu byl zjištěn pro 45 % povodí IV. řádu a 34 % povodí hodnocených lokalit. Důvodem nižšího zastoupení hodnocených lokalit v povodích s méně příznivým krajinným pokryvem bylo to, že lokality zde se vyskytující nebyly vhodné pro zařazení do analyzovaného souboru kvůli svému znečištění.

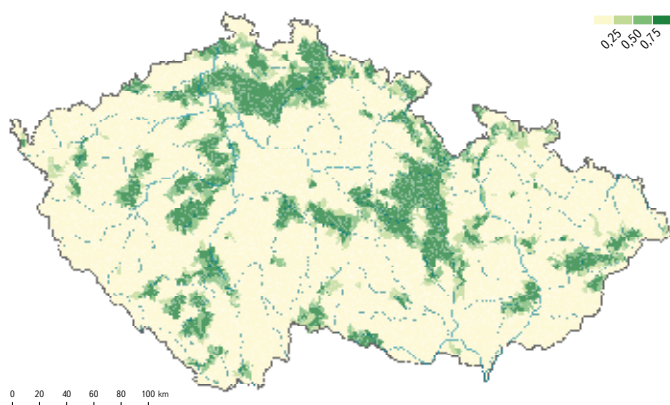
Z hlediska podílu ploch uvažovaných stojatých vod (*obr. 8*), tedy zejména malých vodních nádrží včetně rybníků, bylo zjištěno, že se v ČR nevyskytují v 19,2 % povodí IV. řádu (týká se většinou horských oblastí). V necelé třetině



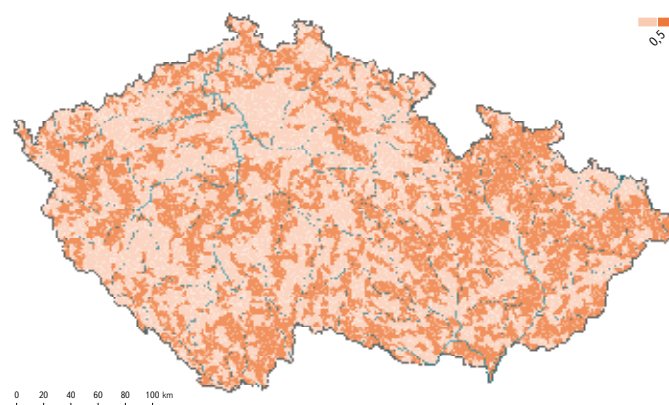
Obr. 3. Mapa podílu jílovců v podloží v povodích IV. řádu
Fig. 3. Map of the share of claystone bedrock in the 4th order catchments



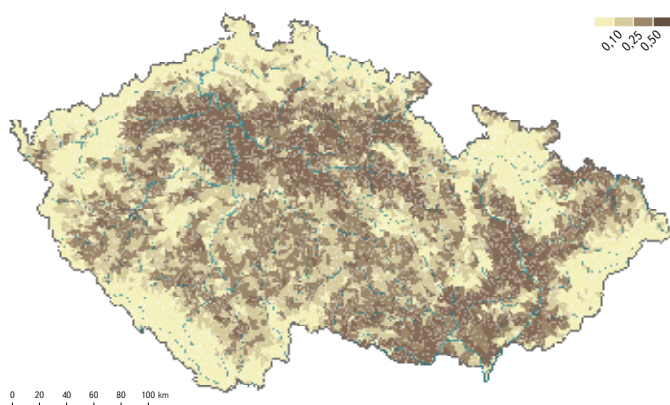
Obr. 4. Mapa výskytu významných geomorfologických hranic v povodích IV. řádu
Fig. 4. Map of the occurrence of important geomorphological boundaries within 4th order catchments



Obr. 5. Mapa podílu krasů a pseudokrasů v povodích IV. řádu
Fig. 5. Map of the share of the karstic and pseudo-karstic areas in the 4th order catchments



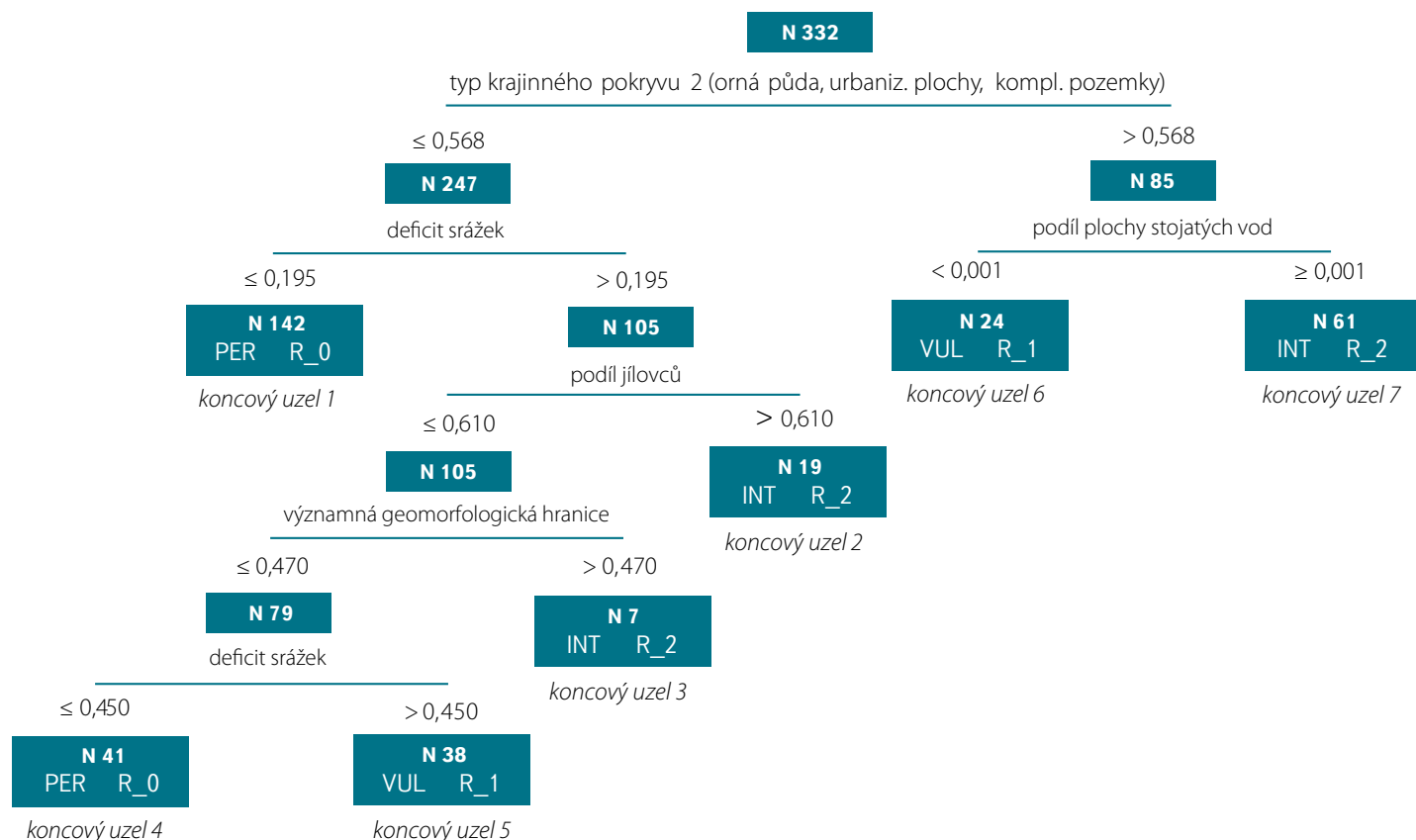
Obr. 6. Mapa výskytu významných geologických poruch a zlomů v povodích IV. řádu
Fig. 6. Map of the occurrence of important geological faults in the 4th order catchments



Obr. 7. Mapa podílu nepříznivého druhu povrchu (typ 2) v povodích IV. řádu; prezentován je podíl nejvíce ovlivněných ploch (CORINE: orná půda, urbanizovaná území a komplexní systémy kultur a parcel)
Fig. 7. Map of the share of adverse type of land cover (artificial areas, arable land, complex cultivation patterns after CORINE) in the 4th order catchments



Obr. 8. Mapa podílu ploch vybraných stojatých vod v povodích IV. řádu; do stojatých vod nejsou zahrnuty velké vodní nádrže (se základním objemem větším než 2 mil. m³), z menších nádrží jsou zařazeny nádrže s rekreačním, závlahovým a rybochovným účelem, včetně rybníků
Fig. 8. Map of the share of stagnant water surfaces in the 4th order catchments; large reservoirs (with a basic capacity of more than 2 mil. cubic meters) are not included in the calculation; smaller reservoirs are included only if they serve for recreation, irrigation or fish farming, while fish-ponds are included all



Obr. 9. Klasifikace lokalit PER (toky stále tekoucí), VUL (toky vysychající nepravidelně) a INT (toky vysychající pravidelně) pomocí abiotických charakteristik metodou klasifikačního stromu; N = počet hodnocených lokalit, R_0 nízké riziko vysychání, R_1 střední riziko vysychání, R_2 velké riziko vysychání

Fig. 9. The classification of sites as predicted by the classification tree; site's classification PER, VUL, INT was predicted using abiotic characteristics; PER (permanent) – sites with a constant flow, VUL (vulnerable) – sites with irregular drying up, INT (intermittent) – sites with regular drying up, N = number of evaluated sites, R_0 low risk of drying up, R_1 medium risk of drying up, R_2 high risk of drying up

(30 %) povodí tvoří stojaté vody maximálně 0,001 % plochy. Zhruba 14 % povodí má zastoupení ploch stojatých vod vyšší než 0,01 %. Hodnocené lokality se ve 20 % případů nacházely v povodích bez uvažovaných stojatých vod, častěji (40 % případů) byly v povodích s jejich podílem do 0,001 %, málo (7,5 %) byly zastoupené v kategorii nejvyšší, kde podíl ploch stojatých vod je větší než 0,01 %.

Klasifikace lokalit jako podklad pro kategorizaci území ČR

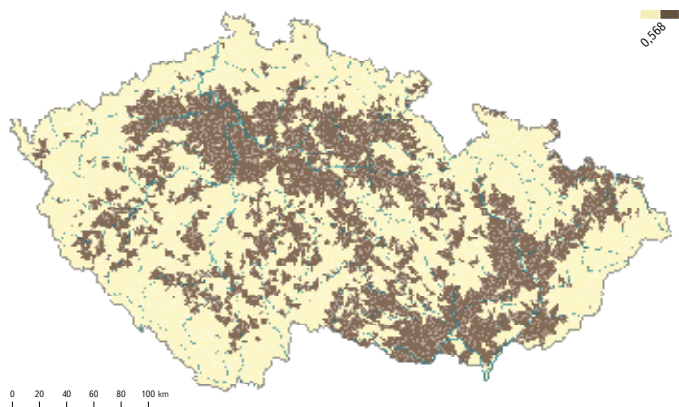
Lokality zařazené do kategorií INT, VUL a PER byly vyhodnoceny pomocí klasifikačního stromu na základě vybraných charakteristik prostředí. Koncové uzly klasifikace pak byly označeny podle převažujícího typu zařazených lokalit: malé riziko vysychání R_0 pro lokality PER, střední riziko R_1 pro lokality VUL a velké riziko R_2 pro lokality INT). Výsledný klasifikační strom viz obr. 9.

Poměr správně klasifikovaných lokalit byl v případě lokalit na obou pólech gradientu vysychavosti (tj. PER a INT) poměrně vysoký (81 % lokalit PER a 78 % lokalit INT). Lokality k vysychání vyhraněné méně (VUL) se však do příslušné kategorie řadily pouze v 38 % případů. Menší přesnost hodnocení lokalit typu VUL pak ovlivnila nižší procento celkové vysvětlené variability v datech (62,8 %). Nižší spolehlivost klasifikace u střední kategorie je vcelku logická, neboť se jedná o přechodný typ mezi dvěma extrémy (permanentní a intermitentní toky), který se v různých sezónách může chovat rozdílně v závislosti na klimatických poměrech.

Při výsledné klasifikaci se uplatnily následující charakteristiky povodí: krajinný pokryv, deficit srážek, podíl stojatých vod, podíl jílovců a výskyt významné geomorfologické hranice. Dvě z charakteristik vstupujících do analýzy (podíl krasů a pseudokrasů a výskyt významných tektonických poruch) vykazovaly nízkou importanci a ve výsledné klasifikaci se neprojevily jako proměnné vysvětlující výraznou část variability. Rozložení charakteristik na území ČR podle hraničních hodnot klasifikace je zřejmé z obr. 10–14.

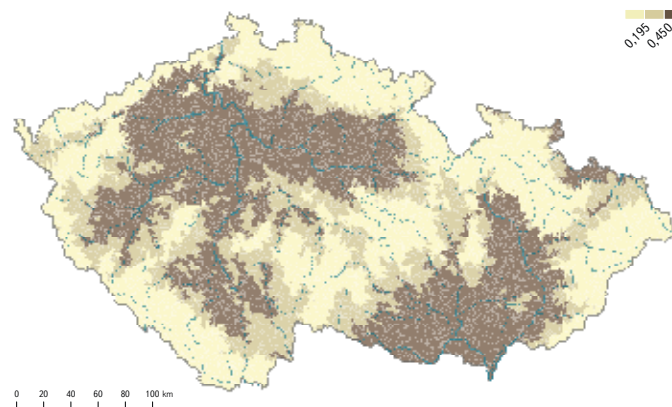
Hlavní charakteristikou prostředí (na úrovni základního dělení), za kterou nebyla v analýze uvedena zástupná charakteristika, byl typ krajinného pokryvu, respektive podíl námi definované kategorie 2 v povodí IV. řádu.

Pokud podíl půdního pokryvu typu 2 (s dominantním podílem orné půdy) nebyl výrazněji převažující ($\leq 0,568$, obr. 10, tj. levá strana stromu), jevil se jako významná charakteristika povodí deficit srážek (hraniční hodnota 0,195), přičemž alternativou pro deficit srážek je podíl typu 2 krajinného pokryvu s hraniční hodnotou 0,220. Náleží-li povodí do této klimaticky nejpříznivější oblasti ($\leq 0,195$, obr. 11), naprosto převažují lokality PER (121 ze 142 v tomto koncovém uzlu č. 1). Znamená to, že dvě třetiny všech lokalit vyhodnocených jako PER jsou zařazené do této větve klasifikace, převážně se jedná o lokality ve vyšších polohách (cf. obr. 1). Koncový uzel č. 1 reprezentuje malé riziko R_0. Do této skupiny však byly zařazené také některé lokality INT se specifickým charakterem, například potok Obloučník (přítok Vidnávky) poblíž obce Vápenná v Jeseníkách, který leží v krasovém území, ovlivňujícím jeho hydrologický režim.



Obr. 10. Mapa podílu nepříznivého druhu povrchu kategorie 2 v povodích IV. řádu; zobrazuje hodnoty hraniční pro kategorizaci území (obr. 9)

Fig. 10. Map of the share of adverse type of land cover (artificial areas, arable land, complex cultivation patterns after CORINE) in the 4th order catchments; borderline values used in the classification tree are displayed (fig. 9)



Obr. 11. Mapa deficitu srážek v povodích IV. řádu; zobrazuje hodnoty hraniční pro kategorizaci území (obr. 9)

Fig. 11. Map of the rainfall deficit; for explanation see fig. 2; borderline values used in the classification tree are displayed (fig. 9)



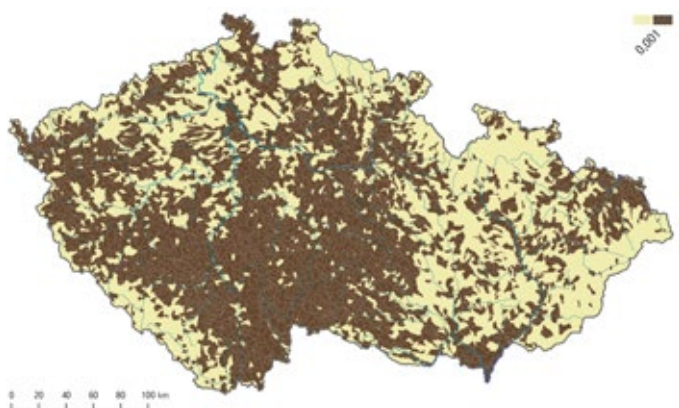
Obr. 12. Mapa podílu jílovců v podloží v povodích IV. řádu; zobrazuje hodnoty hraniční pro kategorizaci území (obr. 9)

Fig. 12. Map of the share of claystone bedrock in the 4th order catchments; borderline values used in the classification tree are displayed (fig. 9)



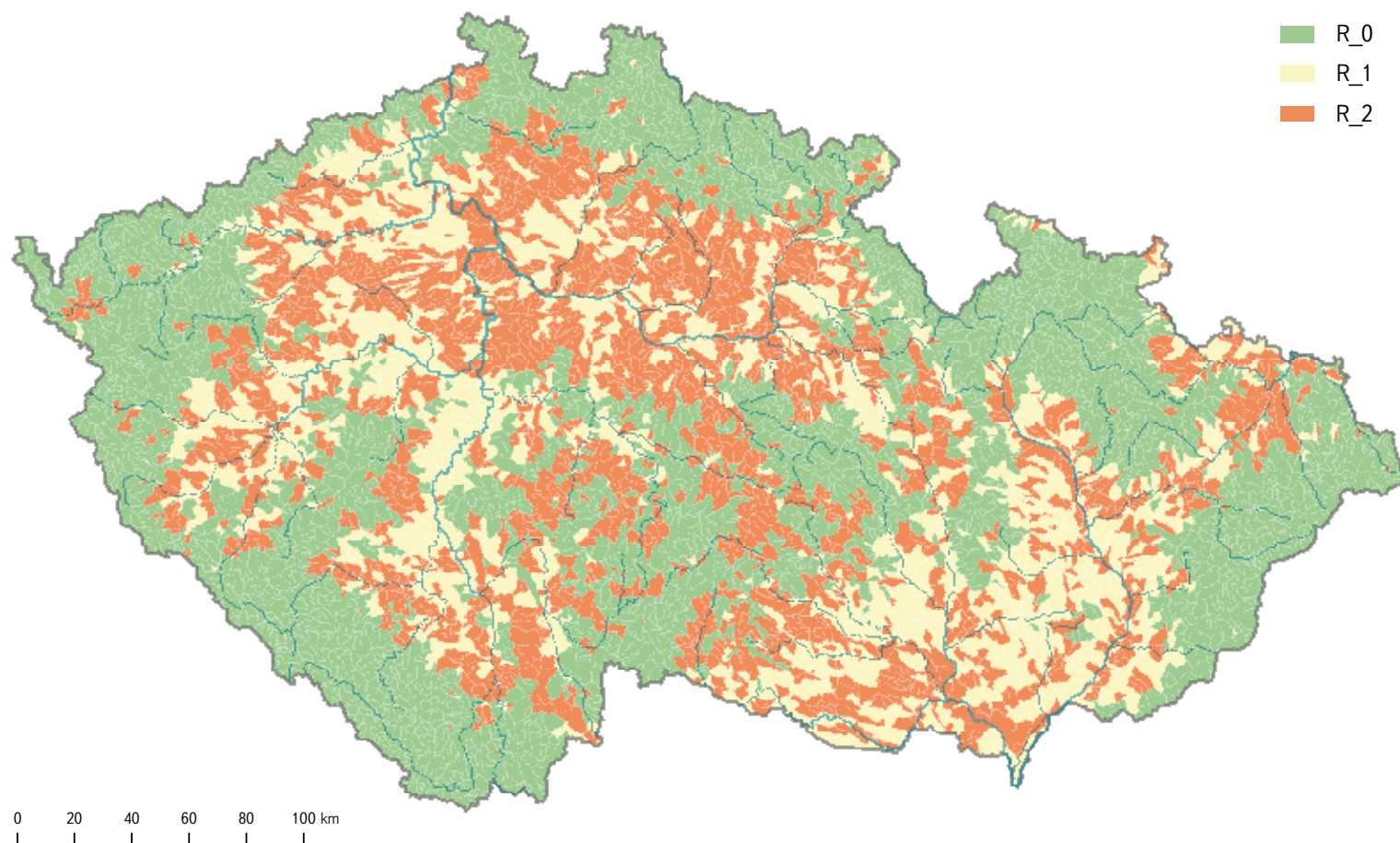
Obr. 13. Mapa výskytu významných geomorfologických hranic v povodích IV. řádu; zobrazuje hodnoty hraniční pro kategorizaci území (obr. 9)

Fig. 13. Map of the occurrence of important geomorphological boundaries within 4th order catchments; borderline values used in the classification tree are displayed (fig. 9)



Obr. 14. Mapa podílu vybraných stojatých vod v povodích IV. řádu; zobrazuje hodnoty hraniční pro kategorizaci území (obr. 9)

Fig. 14. Map of the share of selected stagnant surface waters in the 4th order catchments (for explanation see Fig. 8); borderline values used in the classification tree are displayed (fig. 9)



Obr. 15. Kategorizace území České republiky podle míry rizika vysychání drobných vodních toků; odvozeno od výsledků klasifikace lokalit metodou klasifikačního stromu; R_0 malé riziko, R_1 střední riziko, R_2 velké riziko vysychání drobných vodních toků

Fig. 15. The categorization of the Czech Republic area according to the risk of drying up of small streams as predicted by the classification tree (see Fig. 9); R_0 low risk, R_1 medium risk, R_2 high risk of drying up of small streams

Pro levou stranu stromu dále platí, že v povodích, jež spadají do oblastí, v nichž byl deficit srážek již častější ($> 0,195$), jevil se významným podíl jílovců v podloží (obr. 12). Pokud tento přesahoval hodnotu 0,610, v koncovém uzlu č. 2 převažovaly lokality INT (11 ze 17) a riziko je hodnoceno jako velké (R_2). Příkladem může být Očihovecký potok (přítok Blšanky) u obce Strojetic na Rakovnicku. Pokud byl deficit srážek častější ($> 0,195$), ale podíl jílovců nižší ($\leq 0,610$), oddělilo se několik lokalit v povodích s významnou geomorfologickou hranicí ($> 0,470$, obr. 13) do koncového uzlu č. 3, který reprezentoval velké riziko (R_2). Do tohoto uzlu náleží např. lokalita na potoce Rakovec poblíž obce Bukovinka na pomezí Moravského krasu a Dražanské vrchoviny, na níž vysychá úsek v délce několika km právě v oblasti této hranice.

Ve zbývající části této levé větve klasifikačního stromu zůstává 79 lokalit, které se pak dělí podle deficitu srážek (hraniční hodnota 0,450) na téměř stejně početné části (41 a 38 lokalit), přičemž v oblastech s nižšími srážkovými deficity převažují lokality PER a tento uzel č. 4 reprezentuje malé riziko (R_0). Příkladem mohou být např. permanentní toky Ohrozima poblíž obce Hrabyně v povodí Opavy nebo Pašínovický potok nad obcí Pašínovice v povodí Stropnice, oba v zalesněných povodích bez nádrží. Uzel č. 5 s vyššími deficity srážek a s vyšším počtem lokalit VUL pak představuje riziko střední (R_1). Do této skupiny lokalit patří např. Podhrázský potok u obce Zdemyslice (přítok Úslavy), v jehož povodí je nadpoloviční podíl nepříznivého krajinného pokryvu (0,560), což je hodnota, která se blíží hodnotě základního dělení.

Na pravé straně základního dělení klasifikačního stromu v povodí IV. řádu převažovala ($> 0,568$) v ploše povodí orná půda, popřípadě urbanizované území anebo komplexní systémy pozemků a parcel. V koncových uzlech této pravé strany stromu se nacházely větve s převahou lokalit typu VUL a INT. Další charakteristikou v této větvi dělení byl podíl ploch stojatých vod v povodí (obr. 14). Pokud byl podíl těchto ploch menší než 0,001 (uzel č. 6), převažovaly lokality VUL a uzel reprezentoval riziko střední (R_1), příkladem může být lokalita na Sloupnickém potoce (přítok Loučné) pod obcí Tisová. V tomto případě se jedná o větší tok a ve vyšších částech jeho povodí je rybniční soustava.

Pokud byl podíl ploch stojatých vod v povodí vyšší ($\geq 0,001$, tedy 1 ‰), byla již polovina lokalit (31 z 61) řazených do tohoto koncového uzlu č. 7 označena jako INT, lokalit VUL bylo 18. Tento koncový uzel reprezentoval riziko velké (R_2). Nepatřily sem však pouze lokality v povodích v nížinách a s velkým deficitem srážek, jak by se dalo předpokládat, ale i lokality na tocích v nadmořských výškách blízkých se 500 m n. m., v oblastech chladnějších a bez výrazných srážkových deficitů, jako je např. Dobeřský potok (přítok Sázavy) u Příbyslavi.

Kategorizace území ČR podle rizika vysychání drobných vodních toků

Kategorizace území byla provedena pro 8286 povodí IV. řádu (celá ČR) postupem uvedeným v metodice. Bylo tedy postupováno po jednotlivých větvích klasifikačního stromu a podle kombinací hraničních hodnot charakteristik prostředí bylo každé povodí zařazeno do kategorie rizika stanoveného pro koncový uzel klasifikace. Riziko bylo odvozeno podle převažujícího typu lokalit (R_0 pro PER, R_1 pro VUL a R_2 pro INT).

Výsledná klasifikace území je zobrazena v mapě na úrovni povodí IV. řádu (obr. 15). Podle této kategorizace je 44,5 % z celkového počtu povodí IV. řádu hodnoceno jako území s malým rizikem vysychání DVT (R_0), pro 29,4 % povodí bylo stanoveno riziko střední (R_1). Zbývajících 26,1 % je pak označeno jako území s rizikem velkým (R_2). Z hlediska plochy to pak představuje 45,3 %, 23,3 % a 31,3 % rozlohy ČR.

Byla též vyhodnocena homogenita vodních útvarů povrchových vod tekoucích z hlediska rizika vysychání DVT. Přibližně polovina (53,4 %) vodních útvarů má jednoznačně zařazení do kategorie rizika, je však třeba uvést, že téměř třetina vodních útvarů je tvořena jen jedním povodím IV. řádu. Z těchto jednoznačně kategorizovaných vodních útvarů bylo 42,9 % z celkového počtu vodních útvarů v kategorii R_0, 7 % v R_1 a 3,5 % v R_2. Zbývajících útvary pak byly tvořeny povodími, klasifikovanými do dvou nebo do všech tří kategorií rizika (cca 28 % a 18 %).

DISKUSE

Kategorizace území ČR byla založena na analýze vstupního souboru dat o biotické složce toků – makrozoobentosu. Tato skupina organismů je považována za vhodnou pro indikaci různých typů vlivů v tocích [1, 33]. Nově vyvinutá metoda retrospektivní indikace vykazovala při použití na souboru dat z projektu BIOSUCHO spolehlivost téměř 90 % správné klasifikace při zařazení vzorků do kategorií permanentní (PER) nebo vysychavý (INT) tok. Při zařazení do přechodné kategorie vysycháním zranitelný tok (VUL) pak cca 70 % [34], přičemž u všech hodnocených odběrů bylo možné ověřit rozsah a trvání epizody vyschnutí exaktně měřenými daty z terénu. Spolehlivost detekce vyschnutí toků pomocí této bioindikační metody je tedy vysoká.

Soubor dat z IS SALAMANDER nebyl původně určen pro hodnocení frekvence vysychání a přesně změřená a soustavná data o délce trvání a rozsahu vyschnutí nejsou pro tuto databázi k dispozici. Nicméně se jedná o unikátní soubor výsledků analýz, měření a pozorování na velkém počtu lokalit v období druhé poloviny 90. let 20. století (v případě většiny minimálně ovlivněných lokalit) a s převážně víceletým sledováním dalších lokalit během první dekády tohoto století. Jedná se tedy o období, kdy se již začaly výrazněji projevat klimatické změny. Hodnocení vzorků makrozoobentosu z odběrů provedených ZVHS bylo možno ověřovat pomocí srovnání se záznamy o reálném průtoku od vzorkařů, kteří většinu lokalit navštívili v měsíčních intervalech. Pozorované epizody vyschnutí tedy nemusely být zaznamenány vždy, pokud šlo o epizody kratší než měsíc, tedy v případě vzorků, které poté byly pravděpodobně vyhodnoceny jako VUL. Detekce kratších epizod vyschnutí pomocí bioindikace je také poněkud obtížnější, proto byl převod hodnocení jednotlivých vzorků na hodnocení lokalit nastaven s určitou obezřetností ve smyslu eliminace falešně pozitivních výsledků (tj. indikace vyschnutí, které však ve skutečnosti nenastalo). Jako VUL byla lokalita hodnocena, jestliže tento stav byl detekován nejméně u dvou vzorků (tj. sezon) za období sledování (popř. byl jednorázově zjištěn stav INT a ostatní vzorky byly hodnoceny jako PER). Lze tedy předpokládat, že pokud už byla lokalita klasifikována jako VUL, k určité, byť kratší epizodě vyschnutí na ní došlo. Při analýze v klasifikačním stromu bylo na druhou stranu penalizováno chybné zařazení lokalit INT i VUL: jestliže již byla lokalita označena jako více či méně vysychavá, neměla by být řazena do koncových uzlů klasifikace, reprezentujících malé riziko (R_0) ve smyslu falešně

negativního výsledku. Tato dvě opatření měla vést k objektivizaci výsledné kategorizace území z hlediska rizika vysychání.

Podle výsledků navržené kategorizace je téměř na polovině území ČR (45,3 %) riziko vysychání toků malé a na čtvrtině střední (23,3 %). Pro téměř třetinu území (31,3 %) je však riziko odhadováno jako velké. Míra rizika daného území jednoznačně souvisí s podílem nepříznivého typu krajinného pokryvu 2, většinou reprezentovaném podílem orné půdy. Podíl orné půdy v ČR souvisí s klimatickými podmínkami a ty zase s nadmořskou výškou. Není tedy překvapivé, že malé riziko vysychání toků je převážně v územích nad hranicí 500 m n. m. Typ krajinného pokryvu 2 souvisí také s morfologickým stavem toků – v zemědělsky intenzivně využívaných i v urbanizovaných oblastech je napřimování a i opevňování toků mnohem častější než v ostatních územích. V hodnoceném souboru byl podíl významně morfologicky ovlivněných toků v oblastech s nižším podílem krajinného pokryvu typu 2 ($\leq 0,568$, cf. obr. 9) jen 3,3 %, zatímco v oblastech s jeho vyšším podílem to bylo 27 %. Vliv regulace toků na zvýšení náchylnosti toků k vysychání je mnohokrát doložen [1] a je již všeobecně akceptován [9].

Vliv klimatických jevů na riziko vysychání je zřejmý – výskyt a množství srážek a míra evapotranspirace jsou standardně užívány při hodnocení sucha za použití různých metod [2]. Námi zvolený přístup odvození mapy deficitu srážek má výhodu v tom, že bude možné (i) mapu jednoduše aktualizovat na základě novějších dat z řad údajů v gridové síti a (ii) nastavovat míru podrobnosti kategorizace.

Vztah průtoků včetně nulových k dalším charakteristikám prostředí je již komplikovanější. Při hodnocení nedostatkových průtoků na základě dat z hydrologických stanic [18] autoři citované studie nenalezli, s výjimkou vazby k podílu jílovců v podloží, průkaznou vazbu ke sledovaným charakteristikám prostředí (krajinný pokryv, další typy podloží). Možným důvodem je to, že hodnoceny byly větší toky, které si z hlediska průtokových režimů uchovávají hydrologický režim z vyšších částí povodí [16], zatímco toky nižších řádů jsou závislejší na lokálních podmínkách, a vazbu tedy lze snáze detekovat. Například pokud povodím prochází významná hranice mezi okrsky geomorfologického členění, znamená to obvykle, že toky jednak mění spád, jednak se často dostávají na hranice geologických jednotek, což může být spojeno například se změnou propustnosti. Typickou situací je jakési zanoření určitého úseku toku, například do kvartérních sedimentů o vyšší mocnosti nebo podloží z různých příčin propustnějšího, např. na hranici krasových oblastí. Na hranicích okrsků se v řadě případů vyskytují také tektonické poruchy, které vedou k tomu, že povrchový průtok na určitém úseku vymizí. Příkladem může být úsek toku Luha nad obcí Sloup na hranici Moravského krasu.

Výskyt oblastí s krasovou propustností a existence tektonických poruch jsou důležitými přírodními podmínkami ovlivňujícími vodnost DVT. Obojí úzce souvisí se ztrátou vody z povrchového toku, ale i s její dotací z podzemní vody – v krasových oblastech jsou propadání i vývěry, také tektonické poruchy mohou působit obousměrně. Nejednoznačné byly z tohoto pohledu i výsledky hodnocení těchto charakteristik v použitém souboru dat. I z těchto důvodů nebyly charakteristiky podíl krasů a pseudokrasu a výskyt tektonických poruch zohledněny ve výsledné zobecněné mapě rizika. Z hlediska předběžné opatrnosti je však třeba při posuzování situace v povodí přihlídnout i k výskytu těchto jevů. Zejména v oblastech krasových, ale i pseudokrasových, kterých je v ČR poměrně dost (obr. 5), jedná se např. o oblasti pískovcových skalních měst, dochází k vysychání toků často [35]. Příkladem intermitentního toku v oblasti, kde nepůsobí jiné negativní vlivy než krasové podloží a existence tektonické poruchy, je již zmiňovaný potok Obloučník poblíž Vápenné.

Z antropogenních vlivů mimo výše uvedený typ krajinného pokryvu má zcela jistě závažný vliv intenzita odběrů vody jak přímo z toků, tak z vod podzemních. Informace o odběrech a vypouštění vod jsou však centrálně evidovány až od určitého objemu. V databázi HEIS jsou podchyceny odběry od objemu přesahujícího 6000 m³ za rok, resp. 500 m³ za měsíc a data z této databáze testovaná autory v předchozích výzkumech nevykazovala souvislost s vysycháním DVT. Vliv centrálně neevidovaných odběrů vody, ať již například z potoků pro

závlahy zahrad, nebo vrty zásobujícími pitnou vodou jednotlivé obce, zemědělské podniky či rekreační objekty, byl však zjevný jak při podrobném hydrogeologickém hodnocení vybraných lokalit [19], tak při terénních průzkumech. Tento jev, navíc značně proměnlivý v čase, však nelze objektivně hodnotit tak, aby vznikla vrstva GIS použitelná pro kategorizaci území, zčásti je však velmi pravděpodobně podchycen při kategorizaci krajinného pokryvu v položkách urbanizovaná území a komplexní systémy kultur a parcel.

Jako situace vedoucí k častému výskytu vysychání DVT byla vyhodnocena kombinace vysokého podílu typu 2 krajinného pokryvu a relativně vysokého podílu ploch stojatých vod v povodí IV. řádu. Do koncového uzlu č. 7 (cf. obr. 9), který tuto kombinaci podmínek představuje, byla zařazena více než polovina (31 z 59) lokalit klasifikovaných pomocí bioindikační metody jako INT.

Pokud hodnotíme celý soubor 332 lokalit, pak z celkového počtu 59 lokalit klasifikovaných jako INT se nacházelo 43 v povodích s podílem ploch stojatých vod v průměru cca 7‰ (průměrný podíl nepříznivého krajinného pokryvu typu 2 byl 59 % plochy povodí pro lokality INT). Pro lokality PER tyto hodnoty odpovídaly 3‰ a 26 %. Pro obě charakteristiky byl zjištěn průkazný rozdíl mezi PER a INT lokalitami (viz Výsledky).

Tento výsledek, možná překvapivý, je však logicky vysvětlitelný. Pro drobné vodní toky jsou z hlediska ovlivnění průtokového režimu významné malé vodní nádrže (MVN), budované především pro účely závlah, rekreace a chovu ryb. Vlivu MVN, zejména rybníčního typu, na hydrologický režim drobných toků nebyla v ČR věnována příliš velká pozornost, ačkoliv jejich počet je v naší zemi velmi vysoký, jen rybníků je v různých zdrojích udáváno kolem 20 000 [36]. V běžných typech MVN jde primárně o zadržení vody v nádrži pro nějaký ekonomický účel a z toho důvodu obvykle také o udržení určité kóty hladiny, popřípadě o nárazové vypouštění v podzimních měsících (výlovy rybníků). V teplejších a suchých obdobích dochází, zejména z důvodu zachování dostatečného objemu vody např. pro přežití ryb, k zadržování vody v nádržích, v tomto období dochází také k zajištění k nezanedbatelnému odparu z hladiny [37], který může i převýšit přítok. Pokles hladiny vody v nádrži vede také k většímu prohřívání vody s dopady na jakost vody nejen v samotné nádrži, ale následně i v toku pod hrází. Zajištění stálého průtoku pod nádrží zjevně nebývá v praxi při manipulaci prioritou, což odpovídá zkušenostem z terénních pozorování autorů. K situacím, že voda zadržovaná v nádržích není v období sucha vypouštěna, dochází nejen ve vzdálených aridních oblastech nebo bližším evropském mediteránu [38], ale i v podmínkách ČR. Dokladem toho může být mimo jiné i reakce na extrémní suchu v roce 2015 ve smyslu zvýšení kontrol zaměřených na dodržování manipulačních řádů a zajištění minimálních zůstatkových průtoků v tocích (viz např. www.cizp.cz).

Srovnání map kategorizací území ČR ve vztahu k vysychání

Výslednou kategorizaci území, předkládanou v této práci, je možno srovnávat s řadou kategorizací ČR ve vztahu k jevům klimatickým, hydrologickým a zemědělským i socioekonomickým rizikům spojeným se suchem, které jsou k dispozici v mapové podobě. Pro konkrétní srovnání jsou pak nejvhodnější mapy zobecněné, postihující dlouhodobý stav nebo rizika.

Ve srovnání s mapami klimatickými, např. průměrných ročních nebo červencových teplot vzduchu či průměrného ročního úhrnu srážek, vykazuje mapa rizika vysychání DVT rámcovou shodu ve vymezení malého rizika v oblastech srážkově příznivějších, stejně jako ve vymezení velkého rizika na jihu Moravy, České tabule a Podkrušnohorské oblasti. Rozdílné je však hodnocení v oblasti Západobeskydského podhůří (výrazné změny reliéfu, častější tektonické poruchy, nepříznivější krajinný pokryv) a/nebo i chladnějších (část Českomoravské vrchoviny s vyšším podílem orné půdy a vodních ploch), které podle námi navrhané kategorizace patří k oblastem s velkým rizikem vysychání DVT. Převážně velké riziko vysychání DVT bylo námi stanoveno také pro část oblasti

Jihočeských pánví a části Středočeské pahorkatiny, které jsou např. podle podílu hodnot odvozených od významné metriky pro hodnocení zemědělského sucha, Palmerova Z-indexu [2, 12] klasifikovány většinou do středních nebo nižších hodnot z hlediska frekvence výskytu sucha.

Pro srovnání s výsledky hydrologických hodnocení jsme použili mapu trendů ročních standardizovaných nedostatkových objemů vymezených prahovým průtokem Q95 v období 1961–2007 (varianta pro přirozené průtoky) [18]. Rostoucí trend, tedy silnější tendence ke zvětšování sucha, byl zjištěn na některých stanicích v horní části povodí Vltavy, střední části povodí Sázavy, v povodí Orlice a početněji také u řeky Moravy. To je ve shodě s námi navrhanou kategorizací, ačkoliv hydrologická hodnocení se týkají větších toků. Jako stanice bez trendu byly hodnoceny ty, které se nacházejí v povodí Berounky a Dyje, tam se mapa kategorizace pro DVT odlišuje.

Mrkvičková a Balvín [16] navrhli kategorizaci území ČR do čtyř typů oblastí v závislosti na charakteru hydrologického režimu a na klíčových procesech, které se v dané oblasti podílejí na tvorbě odtoku. Toto členění bylo vytvořeno pro návrh variantního postupu stanovení minimálních zůstatkových průtoků v tocích. Zohledňuje mimo hydrologické charakteristiky také hydrogeologické poměry a nadmořskou výšku a zavádí parametr v podstatě vystihující vyrovnanost (rozkolísanost) průtoků v tocích. Z našeho hlediska to lze chápat jako určité měřítko náchylnosti toků k vysychání. Kategorie 4 navržená citovanými autory, tedy s průtoky nejvíce rozkolísanými, do značné míry odpovídá oblastem s velkým či středním rizikem vysychání DVT podle kategorizace předkládané v naší studii. Rozdílné je hodnocení v území hydrogeologického rajonu 4710, 4720 a 4730 bazálních křídových kolektorů a také některých základních rajonů, obvykle také ve vazbě na křídou, které jsou v práci Mrkvičkové a Balvína [16] hodnoceny jako příznivé, nicméně z hlediska naší kategorizace jsou hodnoceny odlišně. V oblasti bazálních křídových kolektorů je objektivně nízká hustota říční sítě a vysoká propustnost podloží, má zčásti pseudokrasový charakter. Na DVT zde dochází k epizodám vyschnutí (např. Olešnička, přítok Kamenice, u obce Stará Oleška, srpen 2003 a 2004).

Pro hodnocení socioekonomického sucha existuje řada postupů, používané ukazatele však vedou k tomu, že s kategorizací DVT podle rizika jejich vysychání souvisí jen zčásti. Zajímavé je srovnání s výsledky multikriteriální analýzy definující katastrofy nejvíce ohrožené suchem a přívalovými srážkami, zpracované pro Generel vodního hospodářství v ČR [2], kdy se námi navrhaná kategorizace podobá mapě prezentující hodnoty průměrného z-skóre, které v tomto generelu udává míru ohrožení území suchem.

Jako kategorizace nejbližší námi vytvořené variantě se jeví mapa zranitelnosti území ČR vůči suchu v závislosti na ročním výskytu stresu suchem [2], která je mimo jiné založena na schopnosti ekosystémů poskytovat ekosystémové služby v závislosti na ročním výskytu stresu suchem. Podobnost obou návrhů může být dána mimo jiné tím, že v ekosystémovém pojetí je zahrnuta i fragmentace krajiny.

Výstižnost a možnosti využití navrhané kategorizace drobných vodních toků

Navrhaná kategorizace je založena na analýze společenstev živých organismů, což vždy přináší určitou míru variability v datech. Spolehlivost vymezení oblastí je přibližně 80 % z hlediska výskytu úseků toků permanentních nebo intermitentních. Nutno říci, že vzhledem k významné roli lokálních podmínek není reálné postihnout všechny faktory, vedoucí k faktickému vyschnutí určitého, v některých případech jen relativně krátkého úseku toku. Kategorizaci území proto nelze brát zcela striktně v tom smyslu, že všechny toky v území s velkým rizikem v období sucha vyschnou a naopak, že v oblastech s malým rizikem nemůže vyschnutí toků nikdy nastat. I tam může například při souběhu nepříznivých klimatických podmínek a nevhodných zásahů člověka docházet k vysychání toků, jak tomu bylo právě v roce 2015 [8].

Navrhaná kategorizace bude v podobě interaktivní mapy k dispozici na webových stránkách HEIS. Pro každé povodí IV. řádu bude zobrazen stupeň

rizika vysychání DVT a uvedeny charakteristiky, které riziko definují, včetně upozornění na to, zda se na území povodí vyskytují krasy, pseudokrasy a významné tektonické poruchy jako potenciálně rizikové faktory, které mohou spolupůsobit při vyschnutí koryta na konkrétním úseku.

Výsledná mapa má za cíl doplnit různé náhledy na rizika spojená s výskytem sucha, a to pro DVT, což bylo téma dosud opomíjené, ačkoliv ČR je zemí s jejich relativně vysokým podílem v říční síti. Podklad je využitelný při rozhodování v různých resortech, zejména při rozhodování o nakládání s vodami a o prioritách při alokacích prostředků pro boj se suchem, stejně jako pro územní plánování či ochranu ekosystémů.

V tomto kontextu je třeba zdůraznit, že jako hlavní faktor, vedoucí k vysychání DVT, byla detekována kombinace převažujícího nepříznivého typu krajinného pokryvu a vyššího podílu vodních ploch – malých vodních nádrží. Pokud se týká nádrží, nejedná se o překvapivý výsledek, který by nebyl z odborné literatury znám. Jev je doložen z oblastí s aridním klimatem, jako je jižní Austrálie a jižní Afrika [1], ale i z evropské temperátní zóny – povodí Loiry [39]. Kumulativní vliv malých nádrží v povodí může vést ke snížení průměrných ročních průtoků zhruba o 20 % v aridních oblastech a o cca 7 % v mírném pásmu [39]. Lake [1] uvádí, že omezení objemu vody zadržované v těchto nádržích může být důležitým opatřením ke zmírnění negativních vlivů sucha. Je tedy třeba pečlivě zvažovat výběr opatření v boji proti suchu, zejména těch, která mají vést k zadržování vody v krajině. Existence nádrží sice pomůže vytvořit disponibilní zásobu vody, nicméně z hlediska vodního režimu samotného toku i okolní krajiny to však může situaci zhoršit [40]. Lapidárně řečeno, voda zadržovaná v malé nádrži je vodou zadržanou v nádrži, nikoliv v komplexní struktuře krajiny, která ji může postupně uvolňovat a omezovat tak rizika úplného vyschnutí koryta toku i půdy v povodí. Při využívání malých nádrží je dalším problémem snaha o víceúčelovost. Sladit například požadavky pro chov ryb a zachování minimálního zůstatkového průtoku se v období sucha může snadno stát nemožným.

Lake [1] uvádí jako postup vedoucí ke zvýšení rezilience a rezistence akvatických ekosystémů vůči suchu návrat k přirozeným průtokovým režimům nebo alespoň zajištění tzv. environmentálních průtoků (tj. minimální zůstatkové průtoky), obnovu podélné i příčné konektivity toku, umožnění povodňových rozlivů k doplnění zásob podzemní vody a samozřejmě renaturaci či revitalizaci toků a vhodný management využití krajiny. Je zřejmé, že se jedná o procesy, které jsou z hlediska realizace jednak poměrně obtížné, jednak obvykle časově náročné. Usnesení vlády k přípravě realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody, které má vést k vytvoření koncepce ochrany před následky sucha, dává prostor pro racionální výběr těchto opatření. V povodích drobných vodních toků s převažující ornou půdou jsou zřejmě zásadní opatření v krajině, zejména ve způsobu hospodaření. Na prvním místě by tedy mělo být zhodnocení současného stavu se zohledněním rizika vysychání toků a ekonomicky odůvodněný propočítaný přínosů navrhovaných opatření ve vztahu k nákladům. Přírodě bližší a často levnější opatření jako renaturace, popř. revitalizace toků, obnova mokřadů a vhodné pozemkové úpravy tak mohou být výrazně přínosnějšími a ekonomičtějším opatřeními než masivní výstavba dalších menších nádrží. Ty v období sucha průtoky v našich drobných vysychajících tocích nadlejšovat zřejmě nebudou, spíše naopak.

Poděkování

Autoři děkují podniku Povodí Moravy, s. p., za zpřístupnění dat z informačního systému SALAMANDER, bez kterých by tato studie nemohla vzniknout. Českému hydrometeorologickému ústavu děkují za souhlas s využitím klimatických dat zpracovaných do údajů v gridové síti. V neposlední řadě patří dík početnému týmu pracovníků a spolupracovníků bývalé Zemědělské vodohospodářské správy, kteří nashromáždili a zpracovali velké množství údajů o drobných vodních tocích České republiky. Článek vznikl s podporou Technologické agentury ČR, v rámci projektu č. TA02020395.

Literatura

- [1] Lake, S.P. *Drought and aquatic ecosystems. Effects and responses*. Chichester, UK: Wiley-Blackwell, 2011, 381 p.
- [2] Brázdil, R., M. Trnka, L. Řezníčková, J. Balek, L. Bartošová aj. *Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost*. Brno: Centrum výzkumu globální změny, Akademie věd České republiky, v. v. i., 2015, 402 s. *Historie počasí a podnebí v českých zemích, svazek XI*. ISBN 978-80-87902-11-0.
- [3] Tremil, P. Nejvýznamnější období sucha v letech 1956–2009 na území České republiky. *VTEI*, roč. 52, mimoř. č. II., 2010, s. 13–16.
- [4] Tremil, P. Největší sucha na území České republiky v období let 1875–2010. *Meteorologické zprávy*, 64, 2011, s. 168–176.
- [5] Tremil, P. Největší hydrologická sucha 20. století. In: *Workshop Adolfa Patery 2012 – Extrémní hydrologické jevy v povodích* (Smelík, L. a J. Jandora, eds), 2012, s. 251–258.
- [6] Tremil, P. Rok 2014 v kontextu největších such let 1804–2010, aneb bude nejušší? In: *Hydrologie malého povodí* (sborník z konference Hydrologie malého povodí), 2014, s. 539–543.
- [7] Řičicová, P., J. Daňhelka, H. Návojevová a H. Kourková. Sucho v českých povodích v roce 2003. *Vodní hospodářství* č. 2, 2004, s. 25–29.
- [8] Daňhelka J., M. Boháč, I. Crhová, R. Čekal, I. Černá aj. *Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2015*. Předběžná zpráva, Český hydrometeorologický ústav, 2015, 73 s.
- [9] Anonym. Příprava realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody. 2015. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/417667/_3_material_VLADA.pdf.
- [10] Dai, A. Drought under global warming: a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 2, 2011, p. 45–65.
- [11] Blauhut, V., I. Gudmundsson, and K. Stahl. Towards pan-European drought risk maps: quantifying the link between drought indices and reported drought impacts. *Environmental Research Letters*, 10, 2015, p. 1–10.
- [12] Tolasz, R., R. Brázdil, O. Bulíř, P. Dobrovolný, M. Dubrovský, L. Hájková aj. *Atlas podnebí Česka*. Praha, Olomouc: Český hydrometeorologický ústav, Universita Palackého, 2007, 256 s.
- [13] Beran, A. a M. Hanel. Definování zranitelných oblastí z hlediska nedostatku vody na území České republiky. *VTEI* 4–5, 2015, p. 23–26.
- [14] Zelinka, M. The effect of low discharge rates on mayfly fauna. p. 282–286. In: Landa V., Soldán T. & Tonner M. (eds), *Proc. IVth Int. Conf. Ephemeroptera*, Bechyně. České Budějovice: Czechoslovak Academy of Sciences, 1984, 345 p.
- [15] Směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady z 23. října 2000 ustávající rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. Aktualizovaný pracovní překlad s anglickým originálem. Praha, MŽP, Odbor ochrany vod, 2005.
- [16] Mrkváčková, M. a P. Balvín. Návrh postupu stanovení minimálního zůstatkového průtoku. *VTEI*, roč. 55, č. 3, 2013, p. 12–16, příloha *Vodního hospodářství* č. 6/2013.
- [17] Strahler, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *American Geophysical Union Transactions* 38, 1957, p. 913–920.
- [18] Vlnas, R., O. Novický, L. Kašpárek, E. Hanslík. aj. *Časová a plošná variabilita hydrologického sucha v podmínkách klimatické změny na území České republiky*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, v.v.i., Praha, 2010, 160 s.
- [19] Ondráček, P. *Vyhodnocení trendů k vysychavosti vodních toků: Projekt TA ČR BIOSUCHO a databáze SALAMANDER – Hydrogeologické hodnocení povodí*. Zpráva. Brno, 2014, 16 s.
- [20] Podhrázká, J. a F. Toman. Vliv hospodaření v povodí na změny odtokových poměrů. In: Rožnovský, J. a T. Litschmann (eds) *XIV. Česko-slovenská bioklimatologická konference*, Lednice na Moravě 2.–4. září 2002, s. 352–356.
- [21] Pařil, P., V. Srovátka, M. Straka, M. Polásek, S. Zahradková aj. Metodika retrospektivní bioindikace epizod vyschnutí toku na základě analýzy složení makrozoobentosu. Metodika připravovaná pro certifikaci (MŽP 2015).
- [22] ČSN 75 7701. Jakost vod – Metodika odběru a zpracování vzorků makrozoobentosu tekoucích vod metodou PERLA. Praha: Český normalizační institut, 2008, 16 s.
- [23] ČSN 75 7716. Jakost vod – Biologický rozbor – Stanovení saprobního indexu. Praha: Český normalizační institut, 1998, 174 s.
- [24] Kokeš, J., S. Zahradková, D. Němejcová aj. The PERLA system in the Czech Republic: A multivariate approach to assess ecological status of running waters. *Hydrobiologia*, 566, 2006, p. 343–354.
- [25] Pretel, J., L. Metelka, J. Kalvová., O. Novický, L. Kašpárek aj. Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (II) – Závěrečná zpráva o řešení projektu v roce 2010. Praha: ČHMÚ, 2010, 89 s.
- [26] Štěpánek, P., P. Zahradníček, and R. Huth. Interpolation techniques used for data quality control and calculation of technical series: an example of a Central European daily time series. *Quarterly Journal of Hungarian Meteorological Service*, 115, n. 1–2, 2011, p. 87–98.
- [27] Beran, A., S. Horáček a M. Hanel. Zjednodušení metody výpočtu evapotranspirace v nové verzi modelu Bilan, *VTEI*, 53, mimoř. č. I., 2011, s. 17–20, příloha *Vodního hospodářství* č. 5/2011.
- [28] Demek, J. a P. Mackovčín. (eds) *Zeměpisný lexikon ČR*. Hory a nížiny. Brno: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. 2006, 582 s. ISBN 80-86064-99-9.
- [29] Balák, I. JESO. Jednotná evidence speleologických objektů. *Spele*, 55, 2010, s. 7–13.
- [30] DIBAVOD (Digitální báze vodohospodářských dat) [online]. © Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Odbor ochrany vod a informatiky, odd. GIS, 2007 [citováno 18. 10. 2010]. Dostupné z:

<<http://www.dibavod.cz>>. Referenční geografická databáze pro tvorbu tematických kartografických výstupů s vodohospodářskou tematikou a tematikou ochrany vod.

[31] ČSN 752410. Malé vodní nádrže. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 46 s.

[32] STATSOFT, Inc. STATISTICA for Windows [Software System for Data Analysis] Version 12, 2013. www.statsoft.com

[33] Rosenberg, D.M. and V.H. Resh. (eds) *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. New York: Chapman and Hall, 1993, 488 s.

[34] Pařil, P., V. Syrovátka, M. Straka, M. Polášek aj. Odborná zpráva o postupu prací a dosažených výsledcích v rámci projektu Vysychání toků v období klimatické změny: predikce rizika a biologická indikace epizod vyschnutí jako nové metody pro management vodního hospodářství a údržby krajiny (TA02020395) za rok 2014. Brno: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, v. v. i., 2015, 44 s.

[35] Bojková, J., T. Soldán, S. Zahrádková, P. Chvojka, and M. Trýzna. Ephemeroptera and Plecoptera of the Bohemian Switzerland National Park, Czech Republic: species diversity and taxocenoses of sandstone watercourses. *Lauterbornia*, 70, 2010, p. 91–110.

[36] Křivánek, J., J. Němec a J. Kopp. *Rybníky v České republice*. Praha: Consult, 2012, s. 303.

[37] Beran, A. a A. Vízina. Odvození regresních vztahů pro výpočet výparu z volné hladiny a identifikace trendů ve vývoji měřených veličin ve výparoměrné stanici Hlasivo. *VTEI*, 55, č. 4, 2013, s. 4–8, příloha *Vodního hospodářství* č. 8/2013.

[38] Martínéz, A., A. Larranaga, A. Bassaguren, J. Pérez, C. Mendoza-Lera, and J. Pozo. Stream regulation by small dams affects benthic macroinvertebrate communities: from structural changes to functional implications. *Hydrobiologia*, 711, 2013, p. 31–41.

[39] Habets, F., E. Philippe, E. Martin, C.H. David, and F. Leseur. Small farm dams: impact on river flows and sustainability in a context of climate change. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, n. 18, 2014, p. 4207–4222.

[40] Just, T., V. Šámal, M. Dušek, D. Fischer, P. Karlík a J. Pykal. *Revitalizace vodního prostředí*. Praha: AOPK, 2003, 144 s.

Autoři

doc. RNDr. Světlana Zahrádková, Ph.D.^{1,2}

✉ svetlana_zahradkova@vuv.cz

Mgr. Ondřej Hájek²

✉ ohajek@sci.muni.cz

Mgr. Pavel Tremel¹

✉ pavel_tremel@vuv.cz

RNDr. Petr Pařil, Ph.D.^{1,2}

✉ petr_paril@vuv.cz

Mgr. Michal Straka, Ph.D.³

✉ straka@wellcon.cz

RNDr. Denisa Němejcová¹

✉ denisa_nemejcova@vuv.cz

Mgr. Marek Polášek^{1,2}

✉ marek_polasek@vuv.cz

Mgr. Pavel Ondráček, Ph.D.⁴

✉ ondracek@enviaqua.cz

¹ Výzkumný ústav vodohospodářský TGM, v.v.i., Praha a Brno

² Ústav botaniky a zoologie, Masarykova univerzita

³ WELL Consulting, s. r. o.

⁴ ENVI-AQUA, s. r. o.

RISK ASSESSMENT OF DRYING UP OF SMALL STREAMS IN THE CZECH REPUBLIC

ZAHRADKOVA, S.^{1,2}; HAJEK, O.²; TREML, P. ¹; PARIL, P. ^{1,2}; STRAKA, M.³; NEMEJCOVA, D.¹; POLASEK, M.^{1,2}; ONDRACEK, P. ⁴

¹TGM Water Research Institute, p. r. i., Prague and Brno

²Department of Botany and Zoology, Masaryk University

³WELL Consulting, Ltd.

⁴ENVI-AQUA, Ltd.

Key words: drought – map – stream – precipitation deficit – land cover – benthic macroinvertebrate – bioindication – running water

A categorization of the Czech Republic territory in terms of the risk of drying up of small streams (1st to 4th order by Strahler) was proposed. Three levels of risk (low, medium and high) for basic hydrological units (catchment) were set. The risk levels were defined using selected abiotic characteristics of the hydrological units and their combinations. The selection of characteristics and their limit values were derived using a statistical method of classification trees. The set of sites divided into groups depending on whether they were found drying or not was evaluated. The drying up of streams was detected with the help of a new method of retrospective bioindication. This new method based on the analysis of benthic macroinvertebrates was developed within the comprehensive research of permanent and drying up streams between 2012 and 2015. Using that method 332 sites (1362 samples) located at small streams and monitored in the Czech Republic between 1997 and 2010 were evaluated. The degree of risk was derived from the following characteristics: the precipitation deficit, land cover type, the share of rocks containing clays, geomorphological characteristics and the share of standing waters in the catchment. According to our assessment the area of low risk of drying up of streams up to 4th Strahler order represents 45.3% of the area of the Czech Republic, while the area of medium and high risk 23.3% and 31.3% respectively. Typical catchments with a high risk are those with a predominance of arable land and with the share of standing water bodies greater than 1‰. The proposed categorization is to serve as a basis for decision-making processes, particularly for the water resource management, agriculture and conservation.

Príspevek prošel lektorským řízením.

Zvládání sucha a výstavba vodních nádrží v kontextu územního plánování

MILENA FOREJTNÍKOVÁ, JANA OŠLEJŠKOVÁ, TOMÁŠ MORÁVEK

Klíčová slova: vodní nádrž – vodohospodářské plánování – územní plánování – sucho – dopady klimatických změn – dotazníkové šetření

SOUHRN

V rámci České republiky existuje dlouhodobá ochrana lokalit vhodných pro akumulaci povrchových vod (LAPV), kterých je v současnosti 65, v blízké budoucnosti je plánována aktualizace. Ochraňované území s sebou však nese dopady na sociální a hospodářský vývoj obcí a obyvatelstva i krajiny jako takové. Na základě provedeného průzkumu v okolí několika stávajících nádrží, terénních šetření i dotazníkového průzkumu v obcích dotčených územní rezervou LAPV byla sestavena metodika zaměřená na přípravu podkladů k územnímu plánování a využívání území v těchto lokalitách. Její součástí je rovněž definování zásad, které je třeba dodržovat, aby nedošlo k nenávratnému poškození a znehodnocení území z pohledu účelu jeho ochrany.

ÚVOD

Česká republika leží na rozhraní tří evropských povodí, a proto je nutné velmi dobře hospodařit s veškerou vodou, která k nám přichází ve formě srážek. V posledních dvaceti letech dochází k častějším hydrologickým extrémům: v letech 1997, 2002, 2010 a 2013 naše území zasáhly významné povodně, zatímco v roce 2003, 2014 a zejména v roce 2015 vedlo dlouhodobé sucho k potížím v zásobování obyvatelstva pitnou vodou a i v zemědělství byly hlášeny značné ztráty. V nadcházejících desetiletích je očekáváno další stupňování těchto negativních hydrologických situací [1].

Ke zmírnění dopadů těchto hydrologických výkyvů je nutné přijmout celou řadu opatření, která povedou k vyššímu zadržování vody v krajině. Technickou stránkou řešení se zabývají různé projekty, jejichž výstupy a závěry jsou publikovány na odborných akcích a v odborných časopisech (např. [2]). Z technického hlediska se pak jeví jako nejvhodnější kombinace tzv. „měkkých opatření“ v krajině s výstavbou údolních nádrží s dostatečně velkým zásobním objemem, který umožní zachytit povodňové vody, ochránit osídlení níže po toku a naopak poskytovat vodu pro obyvatele i pro závlahy zemědělských pozemků nalepšováním nízkých průtoků v době sucha.

Výstavba těchto nádrží je časově a finančně náročná, ale také politicky citlivá. Obyvatelé obcí, kterých by se nová výstavba nádrží dotkla, se obávají negativních dopadů na svůj dosavadní život. Benefity, které výstavbou velkých nádrží vznikají, jsou přínosem pro celou společnost, ale nejvíce se projevují v lokalitách značně vzdálených, zatímco místní lidé vnímají zejména negativa spojená s výstavbou. Působení těchto společenských jevů můžeme pak pozorovat např. při projednávání výstavby nádrže Nové Heřmínovy, které intenzivně probíhá od povodní v roce 1997 [3].

V současné době řešený projekt Analýza a hodnocení sociálně-ekonomických dopadů na rozvoj společnosti v územích chráněných pro akumulaci povrchových

vod má přispět, vedle projektů zaměřených na technické řešení, k snadnějšímu pochopení společenských problémů vznikajících v souvislosti s ochranou a výstavbou ve výhledových lokalitách akumulace povrchových vod.

Seznam takto chráněných lokalit (vizualizovány jsou na obr. 1), které by byly z geologického i hydrologického hlediska vhodné pro výstavbu, je jmenovitě uveden v Generelu území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základních zásad využití těchto území (dále jen Generel) [4], připraveném ve spolupráci MZe a MŽP v roce 2011. K 22. prosinci 2015 má být tento materiál aktualizován, jak je uvedeno přímo v jeho vstupní části. Lokality zahrnuté v současné době do Generelu jsou výběrem z více než 400 studijně zpracovaných míst na tocích v celé České republice, kde přírodní podmínky umožňují vytvoření akumulací povrchové vody [5].

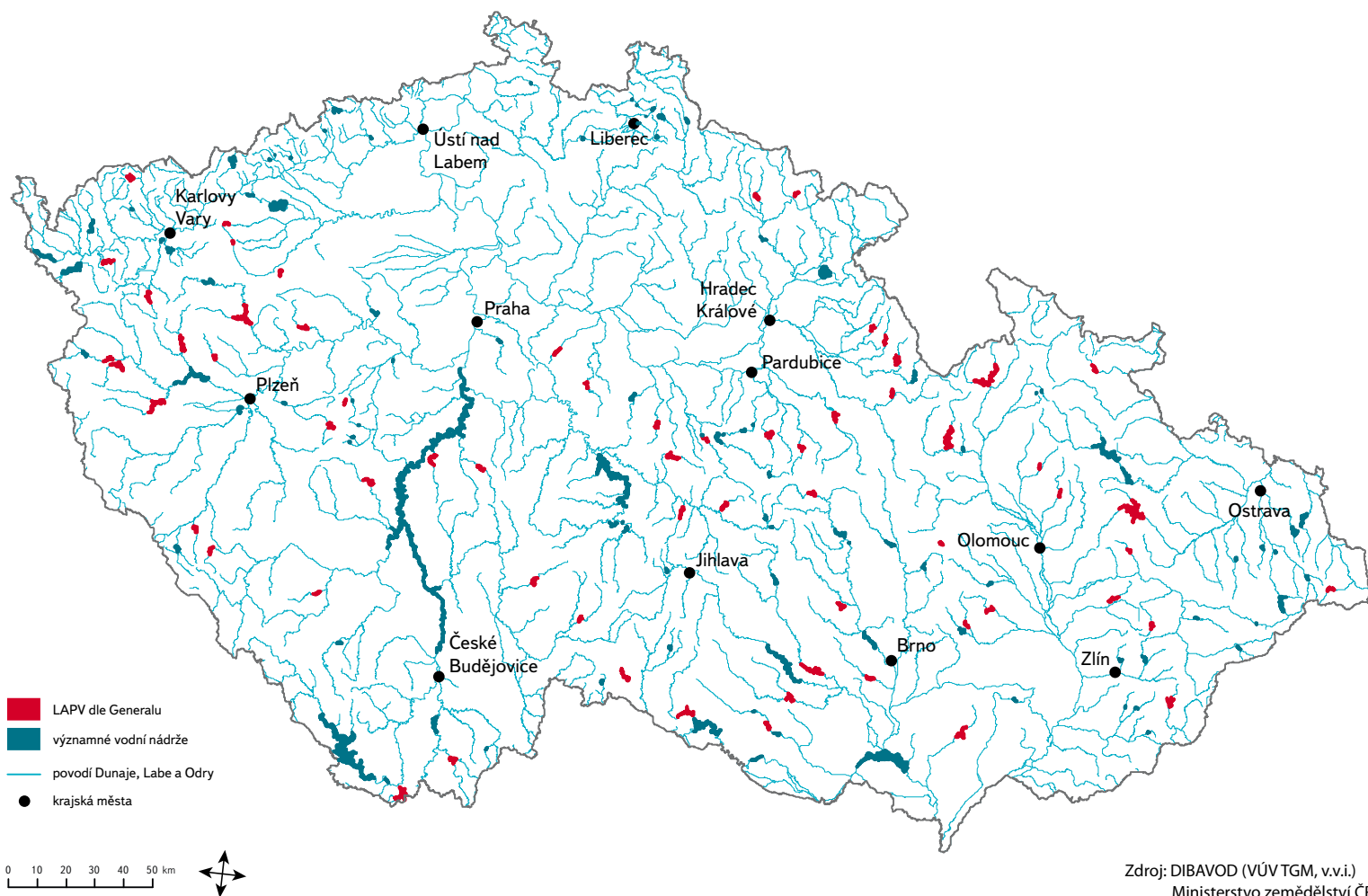
Jeden z kroků k aktualizaci Generelu podpořila v letošním roce i vláda České republiky formou Usnesení k přípravě realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody ze dne 29. července 2015 [6].

PLÁNOVÁNÍ V OBLASTI VOD A ÚZEMNÍ PLÁNOVÁNÍ VE VZTAHU K LAPV

Ochrana lokalit chráněných pro akumulaci povrchových vod (LAPV) je dlouhodobá, již od 60. let 20. století [5], a výhledově bude trvat několik dalších desetiletí, než dojde ke skutečné výstavbě nebo k případnému vyřazení některé lokality z tohoto seznamu. Z tohoto pohledu nejsou LAPV předmětem vodního plánování probíhajícího v současné době v intencích Rámcové směrnice pro vodní politiku [7], ale určitým výhledem pro budoucí využití území. V případě údolních nádrží není rozhodování jen v rukou Ministerstva zemědělství a Ministerstva životního prostředí, velkou roli mají i nástroje územního plánování, a tím Ministerstvo pro místní rozvoj.

Dlouhodobá územní ochrana lokalit vhodných pro akumulaci povrchových vod je zakotvena i v dokumentech územního plánování. Na základě dokumentu Politika územního rozvoje ČR [8], ve znění Aktualizace č. 1, který je určen zejména pro koordinaci územního rozvoje na celostátní úrovni a pro koordinaci územně plánovací činnosti krajů, mají kraje za povinnost v Zásadách územního rozvoje (ZÚR) vymezit jako územní rezervy plochy pro vodní nádrže uvedené v Generelu [4]. Na základě stavebního zákona [9] s ohledem na ustanovení § 28a odst. 1 zákona o vodách [10], byly v Generelu stanoveny základní zásady využití těchto územních rezerv a stanoveny podmínky jejich využití v územně plánovací dokumentaci. V těchto lokalitách není možné navrhnout záměry na umístění zejména [4]:

- nových staveb technické a dopravní infrastruktury mezinárodního, republikového a jiného nadmístního významu s výjimkou staveb, kde bude prokázáno projektovou dokumentací, že jejich umístění nebo provedení anebo



Obr. 1. Lokality chráněné pro akumulaci povrchových vod podle Generalu (2011)

Fig. 1. Localities suitable for surface water accumulation, according to "General" (2011)

užívání neztíží budoucí využití území dotčené předmětnou stavbou pro akumulaci povrchových vod;

- změny dokončených staveb technické a dopravní infrastruktury mezinárodního, republikového a jiného nadmístního významu s výjimkou staveb, kde bude prokázáno projektovou dokumentací, že jejich umístění nebo provedení anebo užívání neztíží budoucí využití území dotčené předmětnou stavbou pro akumulaci povrchových vod;
- staveb a zařízení pro průmysl, energetiku, zemědělství, těžbu nerostů a dalších staveb, zařízení a činností, které by mohly narušit geologické a morfologické poměry v území předpokládaného profilu přehrady nebo jinak nepříznivě ovlivnit budoucí vodohospodářské využití plochy zátopy vodní nádrže, a to jak samotným rozsahem staveb ve vymezeném území (např. sídelní útvary), velkými plochami pro podnikání s investičně náročnými vedeními technické infrastruktury, tak jejich následným provozem (např. sklady zvláštních a nebezpečných odpadů, odkališť, sklady pohonných hmot).

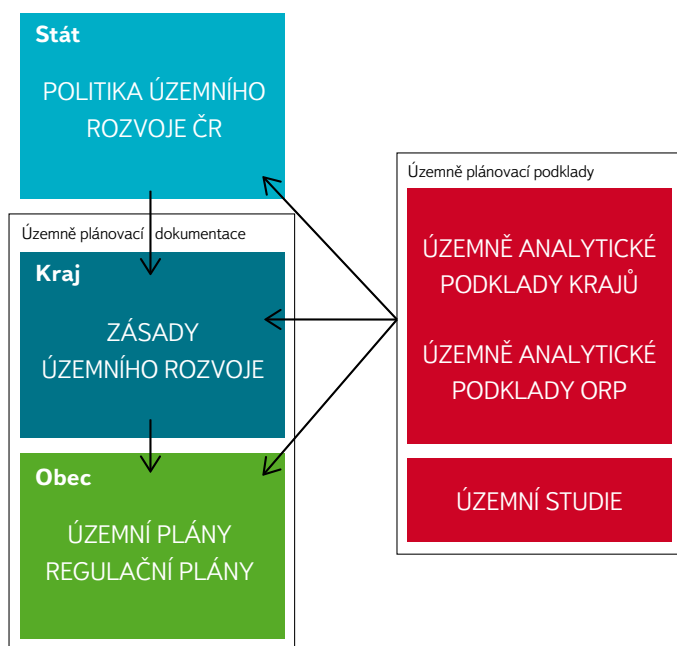
Vymezení územních rezerv pro LAPV v ZÚR se odráží i v dalších nástrojích územního plánování, a to zejména v územních plánech pořizovaných na úrovni obcí. Vazby mezi uvedenými územně plánovacími nástroji jsou přiblíženy ve schématu na obr. 2.

HODNOCENÍ VYBRANÝCH STÁVAJÍCÍCH NÁDRŽÍ

Ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka, v.v.i., je nyní řešen projekt, který hodnotí sociálně-ekonomické a společenské dopady a dopady na životní prostředí spojené s využitím a ochranou území určených pro budoucí akumulaci povrchových vod. V rámci řešení jsou analyzovány faktory ovlivňující sociální a hospodářský vývoj obcí a obyvatelstva, kterých se přímo dotýká hájení a budoucí využití těchto lokalit. Dále jsou posuzovány kladné i negativní dopady rozhodnutí o další ochraně těchto území nebo o výstavbě, a také míra omezení rozvoje místních komunit tímto nadregionálním rozhodnutím.

Metodika řešení projektu zahrnovala nejprve průzkum a posouzení již postavených nádrží a jejich dopad na místní komunity. Tato analýza poskytla přehled o problémových až kritických místech v chránění lokalit, plánování a projektování velkých nádrží. Pozornost při tomto rozboru byla zaměřena zejména na nádrže Vranov, Šance a Slezská Harta.

Za účelem postihnouti změn ve využití území před a po výstavbě nádrže byl ve spolupráci s VÚKOZ, v.v.i., hodnocen vývoj využití krajiny v různých časových obdobích. Pro sledované lokality byla vytvořena obalová zóna (buffer) tak, aby bylo zachyceno okolí nádrže včetně blízkých zastavěných ploch, ve kterých došlo k významným změnám v důsledku výstavby nádrže.



Obr. 2. Schéma vazeb základních dokumentů v oblasti územního plánování

Fig. 2. Diagram of links of basic documents in the field of spatial planning

Na základě starých topografických map v měřítku 1 : 10 000 nebo 1 : 25 000 a starých základních map 1 : 10 000, vždy časově nejbliže před termínem budování vodního díla, byly zpracovány historické mapy využití krajiny. Pro nejstarší sledovanou nádrž VD Vranov, vybudovanou v letech 1930–1933, byly jako základ použity Digitalizované mapy reambulovaného vojenského mapování v měřítku 1 : 25 000 z roku 1933. V té době však již část nádrže byla do map zakreslena, proto byla plocha zátopy doplněna z nejbližších starších dat, a to z Digitalizovaných map III. vojenského mapování v měřítku 1 : 25 000 (z roku 1876). Vojenské topografické mapy 1 : 10 000 z roku 1962 se staly zdrojem dat pro zpracování využití krajiny VD Šance, která byla vybudovaná v letech 1964–1969, Základní mapy ČR 1 : 10 000 z let 1994–1995 pak zdrojem dat pro lokalitu VD Slezská Harta, vybudovanou v letech 1987–1997.

Tabulka 1. Změna ve využití půdy před a po výstavbě sledovaných vodních děl

Table 1. The land use change, status before and after construction of the water reservoir

Třída a název	Vranov			Slezská Harta			Šance		
	1933 (1876)	2012	rozdíl	1995	2012	rozdíl	1962	2012	rozdíl
1 orná půda	34,38	26,63	-7,74	46,41	10,81	-35,61	2,61	0,11	-2,51
2 trvalý travní porost	5,84	3,08	-2,75	18,92	42,80	23,88	13,31	6,51	-6,79
3 sad a zahrada	0,02	0,12	0,10	–	0,03	0,03	0,06	–	-0,06
4 vinice a chmelnice	–	0,02	0,02	–	–	–	–	–	–
5 les	55,19	54,86	-0,34	29,17	31,19	2,02	81,64	84,28	2,64
6 vodní plocha	1,91	8,42	6,51	1,00	10,09	9,08	0,86	7,21	6,36
7 souvislá zástavba	2,44	3,05	0,61	3,65	4,13	0,47	0,80	0,87	0,07
8 rekreační plocha	–	3,57	3,57	0,23	0,19	-0,05	0,31	0,97	0,65
9 roztroušená zástavba	0,18	0,09	-0,09	0,10	0,04	-0,06	0,39	0,02	-0,37
0 ostatní	0,04	0,16	0,12	0,51	0,73	0,22	0,02	0,03	0,00

Aktuální mapa využití krajiny byla vytvořena nad současnými základními mapami 1 : 10 000 z mapového serveru ČÚZK. Celkem bylo vymezeno 10 kategorií (tříd) využití krajiny: 1 – orná půda, 2 – trvalý travní porost, 3 – sad a zahrada, 4 – vinice a chmelnice, 5 – les, 6 – vodní plocha, 7 – souvislá zástavba, 8 – rekreační plocha, 9 – roztroušená zástavba, 0 – ostatní.

Změny ve využití krajiny byly stanoveny na základě provedené prostorové analýzy s využitím nástrojů GIS. Zjištěné výsledky dokumentuje *tabulka 1*.

Nejvýznamnější změna ve využití půdy mezi dobou před výstavbou nádrže a v současnosti byla zaznamenána u VD Slezská Harta, kdy ubylo 35,6 % orné půdy, většinou se jednalo o změnu v trvalý travní porost, jak je patrné z *obr. 3 a 4*.

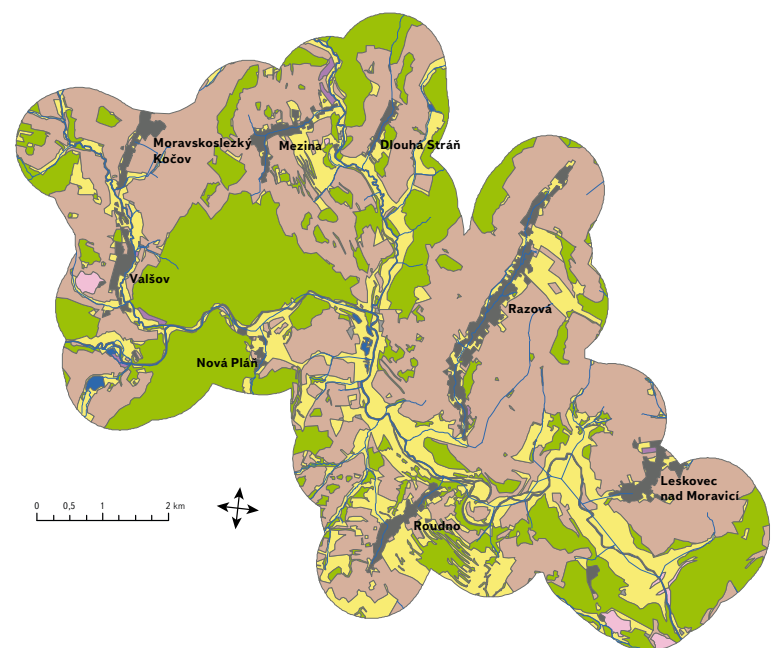
Součástí této fáze projektu bylo rovněž dotazníkové šetření prováděné Fakultou sociálních studií MU v Brně [11]. Toto šetření, realizované pomocí kvantitativně-kvalitativních metod na reprezentativním vzorku domácností v lokalitách dotčených výstavbou, poskytl unikátní data týkající se názorů, postojů a zkušeností veřejnosti s výstavbou velkých vodních děl. Díky nim mohla být formulována některá doporučení, která by měla minimalizovat socio-ekonomická rizika spojená s přípravou i realizací takovýchto staveb.

Z Databáze demografických údajů za obce ČR Českého statistického úřadu [12] byla získána základní statistická data. Graf na *obr. 5* dokumentuje vývoj migračního přírůstku v oblasti VD Slezská Harta, kde je patrná změna v počtu obyvatel v důsledku zaplavení části obcí v době výstavby nádrže a vývoj tohoto osídlení v následujících letech.

Výsledky šetření u stávajících nádrží

Projednávání žádné ze sledovaných nádrží neprobíhalo v nových společenských podmínkách, tzn. po roce 1989. U nejnovější z nádrží – Slezské Harty, byly získány nejcennější poznatky, využitelné pro budoucí činnost ve státní správě a územním plánování.

Ukazuje se, že do budoucna bude potřebná větší komunikace s veřejností v širším území, dotčeným ochranou lokality a výstavbou nádrže. V místních komunitách dlouho přetrvávají subjektivní pocity křivdy i negativní nálady z nedodržení slibů o kompenzačních opatřeních (zejména Slezská Harta). Tyto postoje se přenášejí i do další generace a i v případech, kdy se lidé zcela odstěhují z obcí postižených výstavbou (Šance). Lze však dokladovat, že se



orná půda trvalý travní porost les vodní plocha souvislá zástavba rekreační plocha rozptýlená zástavba ostatní plocha

Obr. 3. Využití krajiny před výstavbou nádrže v lokalitě Slezská Harta
Fig. 3. Land use before the construction of reservoir in the area of Slezska Harta

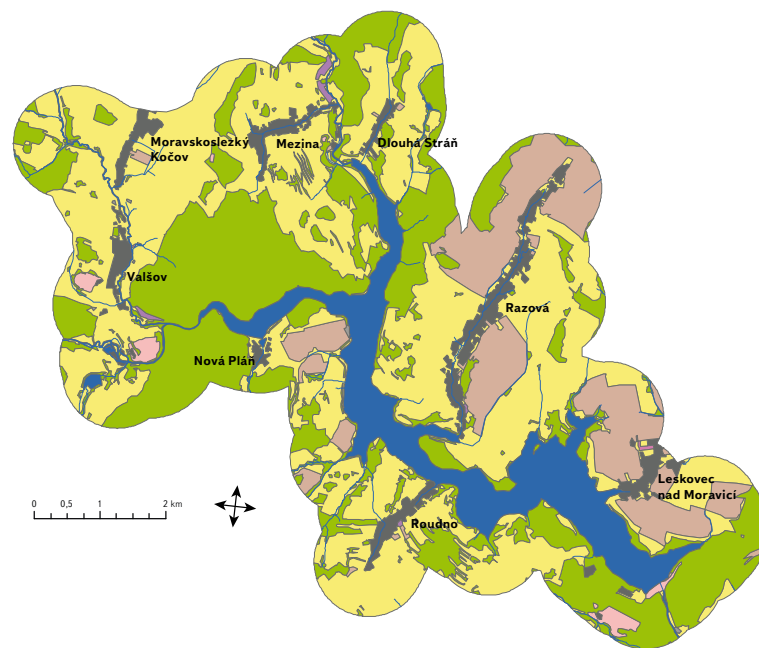
objektivně zhoršily podmínky pro běžný život v dotčených obcích, jedná se zejména o zhoršenou dopravní obslužnost, přerušení historických komunikačních koridorů a v návaznosti na to zhoršení dostupnosti zdravotní péče, dojíždění do zaměstnání apod. V případě Slezské Harty jsou tyto dopady, vyvolané výstavbou, řešeny až nyní územní studií [13].

Lze předpokládat, že tyto negativní zkušenosti místních lidí se promítly i do postojů veřejnosti při záměru výstavby nádrže Nové Heřmínovy a při ochraně dalších území určených pro případnou budoucí výstavbu. Vzniká otázka, jakým legislativním nástrojem lze zajistit splnění všech plánovaných doprovodných a kompenzačních opatření, aby nebyly jen na úrovni politických slibů a nedocházelo k jejich následnému škrtnutí z projektu z důvodů nedostatku finančních prostředků, což je častá obava místních obyvatel.

ŠETŘENÍ V LOKALITÁCH VHODNÝCH PRO AKUMULACI POVRCHOVÝCH VOD (LAPV)

V rámci dalšího řešení projektu byly zkoumány a posuzovány socioekonomické a demografické údaje a vztahy, včetně názorů a postojů laické veřejnosti ve vztahu k LAPV. Tyto údaje byly porovnávány na druhé straně s objektivními technickými údaji o území, jeho ochraně a stávajícím i budoucím využitím. Do výzkumu byly také zahrnuty prokázané i předpokládané dopady na životní prostředí.

Kromě objektivních i subjektivně vnímaných potíží místních obyvatel vstupují do jednání nadregionální nevládní organizace, případně i oficiální odbory ochrany přírody. Názor části těchto profesních ekologů i části veřejnosti je, že výstavba velkých nádrží je zbytečná a že všechny požadované funkce lze zajistit jinými, méně viditelnými zásahy v krajině. Zkušenost však ukazuje a hydrologické výpočty dokládají, že protierozní opatření, dobře provedená pozemková úprava, výstavba a obnovování rybníků a mokřadů jsou důležité a nenahraditelné i v povodích výhledových LAPV. Samy o sobě však tato opatření v případě postupujícího sucha nebudou dostačující.



orná půda trvalý travní porost les vodní plocha souvislá zástavba rekreační plocha rozptýlená zástavba ostatní plocha

Obr. 4. Současné využití krajiny v lokalitě Slezská Harta
Fig. 4. Current land use in the area of Slezska Harta

Situace na toku Jevišovka, LAPV Plaveč

Významnější pozornost byla věnována toku Jevišovka a lokalitě Plaveč, která byla při řešení projektu vybrána jako pilotní území. Povodí této řeky není velké – 779 km², avšak rozkolísanost průtoků je značná (tabulka 2).

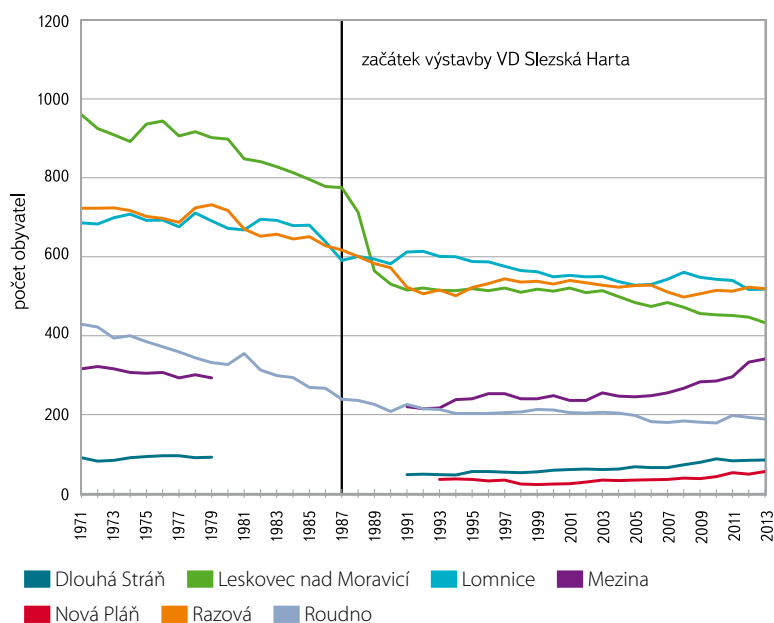
To již v minulosti vedlo postupně k výstavbě dvou nádrží, a to nádrže Jevišovice v roce 1896 (nejstarší přehrada na Moravě) se zásobním objemem 0,131 mil. m³ a nádrže Výrovice v roce 1983 se zásobním objemem 2,984 mil. m³ [15]. Přes tato opatření přetrvávají problémy jak s povodňovými stavy, tak zejména s nízkými stavy v období sucha, jak je patrné z obr. 6. V letošním suchém roce 2015 byl přítok do nádrže Jevišovice po dlouhé období téměř neměřitelný (oficiálně 2 l.s⁻¹), zatímco z nádrže odtékal požadovaný minimální průtok 20 l.s⁻¹.

Na této řece je chráněna další výhledová lokalita Plaveč, která by zvětšila celkový zásobní i retenční prostor. Při její případné realizaci by se jednalo o hledání kompromisu mezi různými variantami. V současné době je hájena varianta s menším rozsahem nádrže (celkový potenciální objem až 8,2 mil. m³) [4], ovšem také s menším účinkem na ovladatelnost průtoků.

Také v případě této nádrže by se její přínos neprojevil v místě výstavby, ale zejména na dolním toku, kde by Jevišovka poskytovala v obdobích sucha více vody pro závlahy a dostatek technologické vody pro cukrovar v Hrušovanech nad Jevišovkou.

Dotazníkové šetření v obcích dotčených LAPV

V rámci řešeného projektu bylo provedeno dotazníkové šetření mezi starosty všech obcí, do jejichž katastru zasahuje některá z 65 lokalit vhodných pro akumulaci povrchových vod. Dotazníkové šetření proběhlo formou e-mailu s příloženým elektronickým dotazníkem (obr. 7). Ten byl odeslán na oficiální e-mailové adresy obcí. Vyplněné dotazníky jsou k dispozici na pracovišti řešitelů a budou dále zpracovány v rámci řešení.



Obr. 5. Vývoj počtu obyvatel v obcích zasažených stavbou VD Slezská Harta (rok 1987 – začátek výstavby)

Fig. 5. Number of inhabitants in the municipalities affected by the construction of reservoirs (the year 1987 – start of construction)

Z celkového počtu 205 oslovených starostů odpovědělo 84 (úspěšnost 41 %). Dotazník byl ve valné většině vyplněn přímo starostou dané obce (89 %), ve zbylých případech místostarostou nebo vedoucím některého odboru dané obce. Podrobnost odpovědí byla velmi různorodá, od podrobného rozepsání postojů obce po vyjádření, že nemohou posoudit. Z výsledků vyplývá, že dostatečně informováno o problematice LAPV je 30 % obcí, 48 % pociťuje nedostatek informací k této problematice a 12 % dokonce nevědělo, že jejich katastrální území je dotčeno záměrem LAPV.

Na otázku „Jaký je postoj obce k záměru LAPV?“ uvedlo 37 % respondentů, že kladný, a 20 %, že záporný, zbyvajících reakce nebyly jednoznačné. Zajímavá je rovněž existence vymezení LAPV v územních plánech obcí. Z 84 sledovaných obcí má územní plán 89 %. Podle vedení obcí je LAPV vymezena v územních plánech 38 % obcí. Další 8 % připravuje takový územní plán, kde bude LAPV zanesena. Pozemkové úpravy, které zasahují do LAPV, byly projektovány pouze v 6 % obcí, ani tady však s případnou budoucí nádrží při řešení nebylo uvažováno, žádná z pozemkových úprav se záměrem LAPV nepočítá.



Obr. 6. Dolní tok Jevišovky u obce Jevišovka, povodeň v roce 2006 a nízké průtoky v roce 2015

Fig. 6. The lower course of the Jevišovka river by Jevišovka village, flood in 2006 and low water flow in 2015

VÝSLEDKY A DISKUSE

Z provedených rozborů a výzkumů vyplývá, že postoje obcí a veřejnosti nejsou již jednoznačně negativní k záměrům ochrany lokalit a budoucí výstavby nových nádrží. Přispělo k tomu pravděpodobně i probíhající období sucha. Dotčené obce se o problematiku většinou aktivně zajímají a v případě, že jim to bude umožněno, budou aktivní i při hledání řešení dílčích problémů spojených s ochranou LAPV. Přetrvává pocit, že užitek z výstavby je jinde než v dotčených obcích a že by tyto obce měly mít určité kompenzace již v době hájení a také záruky, že v případě realizace stavby nebudou jejich zájmy opomíjeny.

Obecně se soudí, že ze strany úřadů a investorů nebude problém s náhradou za ztracené obytné budovy. Již nyní se však projevují individuální námitky proti záměrům výstavby nádrží, další se dají předpokládat i do budoucna. V případě realizace výstavby nádrže se tedy nabízejí otázky např. jak nahradit individuální

Tabulka 2. Hydrologická data z profilů na řece Jevišovce [14]

Table 2. Hydrological data from profiles on the Jevišovka river [14]

Profil	Plocha povodí [km ²]	Qa [m ³ .s ⁻¹]	m – denní průtoky [m ³ .s ⁻¹]							N-leté průtoky [m ³ .s ⁻¹]						
			30	90	180	270	330	355	364	1	2	5	10	20	50	100
VD Jevišovice	140,72	0,26	0,63	0,27	0,13	0,07	0,03	0,01	0,01	4	7	12,5	17,5	24	34	43
VD Výrovce	383,12	0,57	1,5	0,65	0,35	0,15	0,07	0,02	0,01	6	13	21,5	29,5	38,5	52,5	65
LG Hrušovany nad Jevišovkou	770,13	1,03	2,23	1,01	0,53	0,28	0,14	0,05	0,01	6,5	11,5	21	30	42	60,5	78,5

DOTAZNÍK - VYMEZENÍ ÚZEMNÍCH REZERV PRO LAPV (lokality pro akumulaci povrchových vod)	
Název obce:	<input type="text"/>
Vyplní (jméno, funkce):	<input type="text"/>
Víte, že katastrální území obce je dotčeno záměrem LAPV?	
<input type="text"/>	
Je obec dostatečně informována o této problematice?	
<input type="text"/>	
Jaký je postoj obce k záměru LAPV?	
<input type="text"/>	
Jaká pozitivita vidíte v případě výstavby nádrže (i v širším kontextu)?	
<input type="text"/>	
Jaká negativa vidíte v případě výstavby nádrže (i v širším kontextu)?	
<input type="text"/>	
Je LAPV vymezena v územním plánu obce, pokud ÚP existuje?	
<input type="text"/>	
Byly v obci projektovány pozemkové úpravy? Pokud ano, je v nich vymezeno LAPV?	
<input type="text"/>	
Pocítujete omezení v možném rozvoji obce v souvislosti s touto územní rezervou? Pokud ano, jaká?	
<input type="text"/>	
Byla by případnou výstavbou nádrže významně narušena dopravní obslužnost, propustnost krajiny apod.? Pokud ano, jak konkrétně.	
<input type="text"/>	
pozn. LAPV - lokalita pro akumulaci povrchových vod	

Obr. 7. Dotazník určený zástupcům obcí dotčených vymezením LAPV
Fig. 7. Questionnaire addressed to the mayors of municipalities affected by LASW delimitation

i komerční rekreaci vázanou na prostředí vodního toku (např. Čučice nebo Horní Lomná, obr. 8) nebo jak kompenzovat ztrátu živnosti vázanou na vodní tok – malá vodní elektrárna, mlýn (např. Plaveč, Podolí), rybářské rekreační zařízení se pstruhovými rybníčky (např. Rajnochovice, Juhyně) apod.

Předložený článek se orientuje zejména na postoje a problémy jednotlivých obyvatel a celých místních komunit, avšak v řešeném projektu byly v hájených lokalitách sledovány i zájmy jiných resortů. Z řešení vyplynulo, že v dokumentaci LAPV by byla potřebná podrobnější inventarizace památek i drobného kulturního dědictví. Podobná je situace s ochranou přírody. V pasportech v rámci Generelu jsou zaznamenány výskytů chráněných rostlin a živočichů, bylo by však potřebné provést inventarizační průzkumy a posouzení i z pohledu jedinečnosti a dalšího časového výhledu.

ZÁVĚR

Nové poznatky a výsledky řešení projektu se promítají do návrhu metodiky zaměřené na přípravu podkladů k územnímu plánování a využívání území v lokalitách chráněných pro akumulaci povrchových vod. Tato navrhovaná metodika je jedním z výstupů projektu a je připravována pro Ministerstvo pro místní rozvoj a pro státní správu v oblasti územního plánování. Ukazuje se, že zařazení LAPV do ZÚR formou územní rezervy byl dobrý vstupní krok, avšak pro úspěšný rozvoj dotčených území je potřeba tyto lokality v rámci územního plánování podrobněji rozpracovat. Podklady připravené podle metodiky umožní zapracování návrhů LAPV do celé struktury územně plánovacích podkladů (územně analytické podklady, územní studie), do aktualizace strategického dokumentu Politika územního rozvoje ČR, do územně plánovací dokumentace různých stupňů (zásady územního rozvoje, územní plány) a napomohou optimalizovat řešení těchto lokalit při odborném rozhodování orgánů na dotčených úrovních řízení.

Dotazení celého procesu územního plánování až k územním plánům jednotlivých dotčených obcí při respektování potřeb ochrany LAPV umožní plynulý rozvoj těchto obcí včetně jejich oprávněných požadavků na podporu z regionu. Současně bude rozvoj probíhat tak, aby nedošlo k poškození a znehodnocení území z pohledu účelu, pro který je hájeno.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl v rámci projektu TD020084 *Analýzy a hodnocení sociálně-ekonomických dopadů na rozvoj společnosti v územích chráněných pro akumulaci povrchových vod, který je řešen s finanční podporou Technologické agentury České republiky v rámci programu OMEGA.*

Literatura

- [1] MZE. Příprava realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody, 2015 [online, cit. 2015-10-01]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/file/417667/_3_material_VLADA.pdf>
- [2] Kožlín, R. aj. Možnosti zmírnění dopadů změny klimatu využitím území chráněných pro akumulaci povrchových vod. VTEI, roč. 57, 2015, č. 4–5, s. 11–17, ISSN 0322-8916.
- [3] Usnesení vlády České republiky č. 251 ze dne 16. dubna 2014 k zabezpečení finančních prostředků na přípravu a dílčí realizaci opatření ke snížení povodňových rizik v povodí horního toku řeky Opavy s využitím přírodních blízkých opatření.
- [4] MZe a MŽP. Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území. Praha: MZe a MŽP, 2011, 153 s.
- [5] SVP. Směrný vodohospodářský plán ČSR. Vodní nádrže. Publikace SVP č. 34, 1988, Ministerstvo lesního a vodního hospodářství a dřevozpracujícího průmyslu ČSR, Praha.
- [6] Usnesení vlády České republiky č. 620 ze dne 29. července 2015, k přípravě realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody.
- [7] ES. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000 ustanovující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky (Rámcová směrnice o vodě).
- [8] MMR. Politika územního rozvoje ČR, ve znění Aktualizace č. 1, MMR, 2015 [cit. 2015-09-20]. Dostupné z: <http://www.mmr.cz/getmedia/e7ff2b3b-b634-425f-8fa5-6699b8d2f755/2015_VI_8_cistopis_apur_1.pdf?text=.pdf>
- [9] Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon).
- [10] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změnách některých zákonů (vodní zákon).
- [11] Kala, L. a T. Chabada. Analýzy a hodnocení sociálně ekonomických dopadů na rozvoj společnosti v územích chráněných pro akumulaci povrchových vod. Syntéza výsledků. MU FSS Brno, 2015, 14 s.
- [12] ČSÚ. Databáze demografických údajů za obce ČR, 2015 [online, cit. 2015-02-01]. Dostupné z: <<https://www.czso.cz/csu/czso/databaze-demografickych-udaju-za-obce-cr>>
- [13] Povodí Odry, s. p. Územní studie využitelnosti vodní plochy a břehových pozemků vodní nádrže Slezská Harta. Sweco Hydroprojekt a. s., Praha, 2014, s. 249.
- [14] Povodí Moravy, s. p. Plán oblasti povodí Dyje, 2009 [online, cit. 2015-08-20]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/pop/2009/Dyje/end/a-popis/a-2.html#a_2_>
- [15] Povodí Moravy, s. p. Vodní díla, 2015 [online, cit. 2015-08-16]. Dostupné z: <<http://www.pmo.cz/cz/uzitecne/vodni-dila/>>



Obr. 8. Moravskoslezské Beskydy, údolí LAPV Horní Lomná
Fig. 8. Moravskoslezské Beskydy Mountains, LAPV Valley Horní Lomná

Autoři

Ing. Milena Forejtníková

✉ milena_forejtnikova@vuv.cz

Mgr. Jana Ošlejšková

✉ jana_oslejskova@vuv.cz

Tomáš Morávek

✉ tomas_moravek@vuv.cz

Výzkumný ústav vodohospodářský TGM, v.v.i., pobočka Brno

Príspevek prošel lektorským řízením.

DROUGHT MANAGEMENT AND WATER RESERVOIRS CONSTRUCTION IN THE CONTEXT OF SPATIAL PLANNING

FOREJTNIKOVA, M.; OSLEJSKOVA, J.; MORAVEK, T.

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

Key words: water reservoir – water planning – spatial planning – drought – the impacts of climate change – questionnaire survey

In the Czech Republic long-term protection of localities suitable for surface water storage (LASW) is done. Currently the number of them is 65; in the near future this list will be updated. The protection of these areas, however, has impacts on social and economic development of communities, local people and on the landscape itself, too. Sociological survey was carried out around several existing reservoirs, field survey and questionnaire survey in municipalities affected by the territorial reserve LASW was also done. On the basis of these surveys methodology has been worked up, which is focused on preparing documents for spatial planning and future land use in these areas. This methodology includes also the principles that should be followed to avoid irreparable damage and impairment of the territory from the view of its intended protection.

Vyhodnocení komplexních pozemkových úprav v povodí Litavy

JANA UHROVÁ, KAMILA ZÁRUBOVÁ

Klíčová slova: komplexní pozemkové úpravy — plán společných zařízení — eroze — povodí Litavy

SOUHRN

V rámci projektu QJ1520268 Nové postupy optimalizace systémů integrované ochrany území v kontextu jejich ekonomické udržitelnosti realizovaného na brněnské pobočce VÚV TGM, v.v.i., s počátkem řešení v roce 2015 byla vyžadována prvotní analýza dostupných dat a podkladů jednoho z pilotních povodí, povodí Litavy. Na jednotlivých pobočkách Státního pozemkového úřadu (SPÚ) byl proveden sběr dat – projektů komplexních pozemkových úprav (KoPÚ), zejména navržených či realizovaných prvků plánů společných zařízení, které tvoří kostru pozemkové úpravy. Z těchto projektů vznikla ucelená databáze, aktuální k datu 30. 6. 2015. Cílem příspěvku je komplexní analýza získaných dat a vyhodnocení účinnosti stávajícího krajinného pokryvu při ochraně proti vodní erozi na zemědělských půdách podle dnes platných podmínek, ze kterého bude dále vycházet doplňující návrh ochranných opatření v ploše povodí.

ÚVOD

Pozemkové úpravy jsou v České republice (ČR) za posledních téměř již 25 let stále častěji využívaným nástrojem pro uspořádání vlastnických vztahů k zemědělským a lesním pozemkům s ohledem na hospodaření a na potřeby krajiny. Zejména v rámci komplexních pozemkových úprav se na území řeší nejen vlastnické vztahy, ale v posledních letech mnohem častěji i ochrana před erozí a povodněmi, zpřístupnění pozemků i ochrana a tvorba životního prostředí. Takto fungující opatření tvoří společně tzv. plán společných zařízení (PSZ).

Návrh a následná realizace PSZ, který tvoří kostru uspořádání zemědělské krajiny, je jedním z vhodných řešení dvou extrémů počasí, které v posledních několika letech sužují střední Evropu – sucho a přívalové deště. Ty způsobují, že půda po dlouhém období sucha není schopna při příchodu větších srážkových úhrnů vodu dostatečně infiltrovat, většina srážkových vod tak odtéká povrchovým odtokem rychle z povodí, čímž způsobuje velké materiální škody. Je nutné utvořit takové podmínky, aby se voda v krajině zadržela co nejdéle a zpomalil se povrchový odtok. Toho lze docílit komplexním systémem organizačních, agrotechnických, technických i ekologických opatření, tedy i opatřeními plánu společných zařízení.

Zasáhnout a pozitivně ovlivnit stávající výše popsané problémy, a nejen ty, má právě proces pozemkových úprav, který v České republice vychází z platné legislativy zákona č. 139/2002 Sb., o pozemkových úpravách a pozemkových úřadech a o změně zákona č. 229/1991 Sb., o úpravě vlastnických vztahů k půdě a jinému zemědělskému majetku. V rámci projektu QJ1520268 Nové postupy optimalizace systémů integrované ochrany území v kontextu jejich ekonomické udržitelnosti realizovaného na brněnské pobočce VÚV TGM, v.v.i., s počátkem řešení v roce 2015 byla vyžadována prvotní analýza dostupných dat

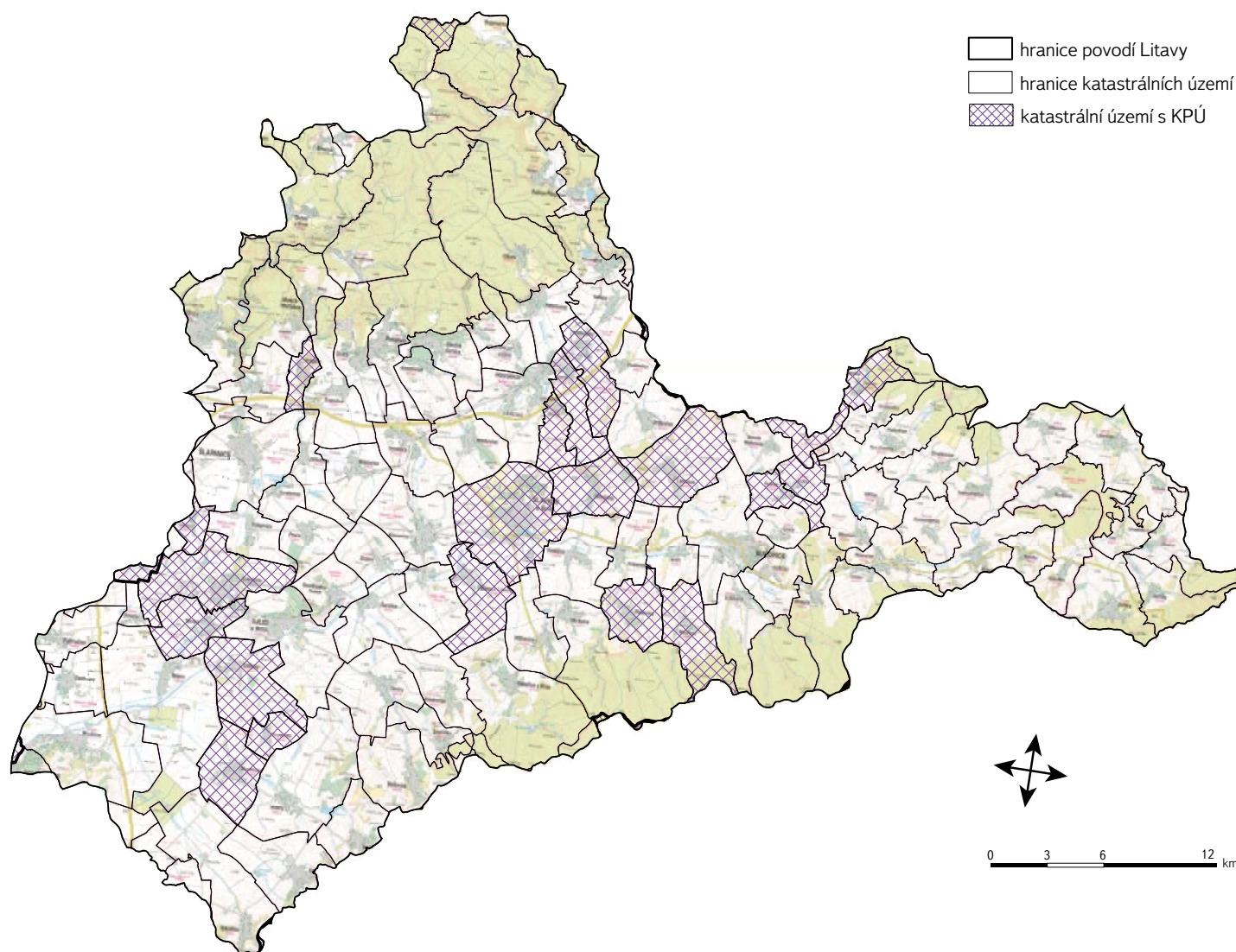
a podkladů jednoho z pilotních povodí, a to povodí Litavy. Sběrem projektů KoPÚ z jednotlivých poboček Státního pozemkového úřadu (SPÚ), zejména pak navržených či realizovaných prvků plánů společných zařízení, vznikla ucelená databáze těchto dat, aktuální k 30. 6. 2015. Článek popisuje způsob získání těchto dat, jejich postup zpracování, následnou analýzu i posouzení vlivu stávajícího krajinného pokryvu na ochranu zemědělsky využívané části krajiny v povodí Litavy před projevy vodní eroze na půdě.

MATERIÁLY A METODA VEKTORIZACE PSZ

Projekty KoPÚ byly brněnské pobočce VÚV TGM, v.v.i., poskytnuty jednotlivými pobočkami Státního pozemkového úřadu a byly podle zvoleného, dále popsaného postupu zpracovány. Následně byla provedena podrobná analýza těchto prvků, to vše s využitím nástrojů GIS.

Veškeré prvky plánu společných zařízení v rozdílných formátech byly následně jednotně vektorizovány v GIS systémech, čímž byla vytvořena databáze navržených či realizovaných PSZ. Každý typ dat vyžadoval individuální přístup, a to jak z důvodu rozdílných zdrojových formátů (shp, dgn, dwg, pdf, jpg), ve kterých byly získány, tak i z důvodu odlišných kvalit, podrobnosti nebo způsobu tvorby výsledných map.

Všechna opatření byla převedena ze získaných typů dokumentací do shapefilů tak, aby nedošlo ke geometrické deformaci, a následně nadefinována v atributové tabulce. Nejméně přesný převod a zakres ochranných prvků PSZ nastal při převodu nafotografovaných dokumentací. Jako hlavní podklad pro vytvoření shapefilu byla použita digitální katastrální mapa (dále jen DKM). DKM se rozumí mapa ve tvaru číselného záznamu svého obsahu, který je možno prostřednictvím výpočetní a zobrazovací techniky znázornit a jinak účelově využít; záznam se pořízuje početním zpracováním měřických údajů a číselným záznamem nového uspořádání pozemků podle schváleného návrhu pozemkových úprav. Souřadnicový systém DKM je S-JTSK. Zásadním kritériem pro zakres daného prvku PSZ bylo jeho parcelní vymezení, jelikož všechna ochranná opatření by měla být parcelně vymezena (technická opatření), a to na obecních pozemcích. Není-li ochranný prvek parcelně vymezen, je jen malá pravděpodobnost, že bude v budoucnu realizován. Byla-li například polní cesta v projektovaném výkresu zakreslena jinak, než bylo její parcelní vymezení, prvek se zakreslil právě podle DKM. K některým katastrálním územím nebyla DKM k dispozici, zejména u projektů ukončených v roce 2015. Neproběhl tedy ještě záznam nového uspořádání pozemků podle návrhu pozemkových úprav. V tomto případě byly prvky PSZ zakresleny podle mapy PSZ (mapa s označením G5 podle Technického standardu dokumentace plánu společných zařízení) a skutečnost, že byl shapefile vytvořen bez DKM, byla zapsána do atributové tabulky.



Obr. 1. Lokalizace ukončených KoPÚ v povodí Litavy
 Fig. 1. The localization of completed land consolidations in the Litava basin

V atributové tabulce bylo u každého prvku zaznamenáno, zda se jedná o stávající opatření (opatření, která se nacházejí v území již před zahájením KoPÚ), o návrh opatření v rámci KoPÚ, nebo zda stav prvku není specifikován. V některých případech došlo u prvků PSZ k překrytí (dochází k překryvu územním systémem ekologické stability – ÚSES s prvky protierozní ochrany – PEO nebo vodohospodářskými opatřeními – VHO; nedochází k překryvu VHO s PEO) – např. navržená retenční nádrž je zároveň i biocentrem apod. V tomto případě byl prvek zařazen do více shapefilů podle konkrétního zařazení. Liniové prvky podél polních cest, jako například liniová zeleň nebo cestní příkop, které nemají svá parcelní vymezení, byly popsány a přiřazeny k dané cestě.

Vektorizovaná opatření byla zakreslena v typu geometrie polygon, aby bylo možné vypočítat jejich plošné vymezení (výjimku tvoří propustky, které byly zakresleny bodově). Jednotlivé návrhy opatření, popřípadě objekty plánu společných zařízení byly rozděleny do osmi typů. Byl zvolen systém zápisu prvků jednoho typu vždy do samostatných shapefilů:

— technická ochranná opatření liniového typu – větrolamy, průlehy, meze, příkopy, hrázky, zasakovací pásy a stabilizace údolnic;

— ochranná opatření plošného typu – organizační a agrotechnická opatření, ochranné zatravnění (TTP) a zalesnění;
 — nádrže – suché retenční nádrže, nádrže se stálým nadržněním a mokřady;
 — terasy;
 — meliorace – odvodněné plochy;
 — ÚSES – interakční prvky, krajinná zeleň, biocentra a biokoridory;
 — polní cesty – hlavní, vedlejší a doplňkové polní cesty;
 — propustky.

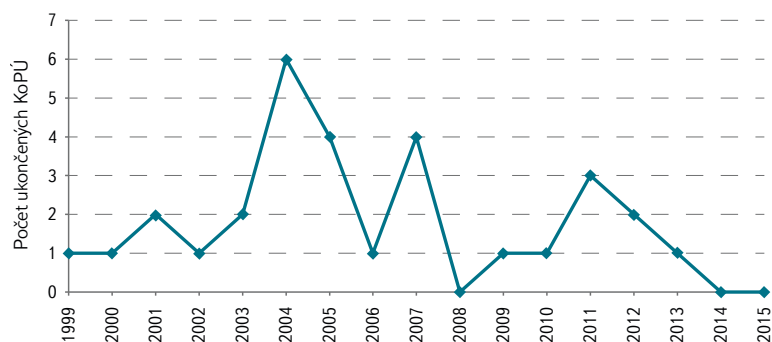
Celkem 57 % ploch povodí Litavy zaujímají pozemky zemědělsky využívané. Tato plocha je potenciaálně ohrožena výskytem vodní eroze půdy, která může způsobit velké škody na samotné půdě, ale i okolní zástavbě. Proto bylo hodnocení protierozní ochrany území provedeno na zájmovém území pomocí podmínky ČR verifikovaného stanovení průměrné dlouhodobé ztráty půdy, tzv. univerzální rovnicí ztráty půdy (USLE) [1, 2]. Při stanovování LS faktoru bylo využito programu USLE 2D [3] při algoritmu podle McCoola [4]. U faktorů R a P jsou použity konstantní hodnoty ($R = 40 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ a $P = 1,0$). Pro stanovení K faktoru bylo využito údajů z celostátní databáze BPEJ. Na základě hlavní půdní

jednotky je přiřazena každému elementu vektorové vrstvy BPEJ hodnota K faktoru [2]. Při stanovení C faktoru byl využit jako podklad celostátně dostupný registr půdních bloků LPIS (Land parcel identification system). Jednotlivé hodnoty C faktoru byly stanoveny v závislosti na klimatickém regionu, který je vyjádřen prvním číslem kódu BPEJ [5].

VYHODNOCENÍ KOMPLEXNÍCH POZEMKOVÝCH ÚPRAV

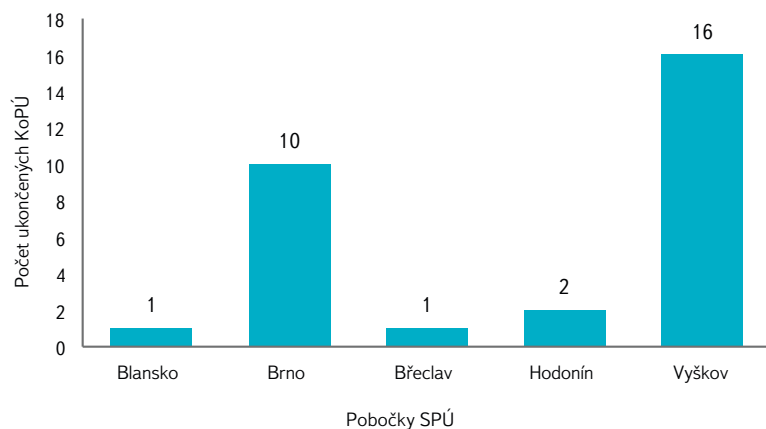
Jak již bylo výše uvedeno, vybraným zájmovým územím pro vyhodnocení komplexních pozemkových úprav je povodí Litavy. Litava je významný levostranný přítok Svratky pramenící ve Chříbech, s délkou toku 58,55 km, jejíž povodí zaujímá plochu 788,36 km² o průměrném sklonu povrchu 14,01 %. V této ploše se nachází nebo do ní jen minimálně zasahuje 144 katastrálních území. Z celkového počtu katastrálních území proběhly KoPÚ ve třiceti z nich a ve třech aktuálně probíhají, což odpovídá 20,8 % (obr. 1). V plošném vyjádření prošlo procesem pozemkových úprav 139,32 km² plochy, tedy zhruba 17,7 % plochy povodí. Protože je proces KoPÚ zaměřen na zemědělsky využívané plochy, je tedy třeba se zabývat zemědělsky využívanými plochami, které jsou v povodí Litavy na necelých 57 % (447,18 km²), z toho prošlo procesem KoPÚ téměř 23 % (101,29 km²) zemědělsky využívaných ploch [6].

Z časového trendu získaných dokumentací KoPÚ pro povodí Litavy (obr. 2) byl zaznamenán nejvyšší počet ukončených komplexních pozemkových úprav v povodí v letech 2003–2005, a to převážně v okresech Vyškov a Brno-venkov. Podíl úspěšně ukončených KoPÚ v povodí v jednotlivých okresech uvádí obr. 3.



Obr. 2. Časový trend počtu ukončených KoPÚ v povodí Litavy

Fig. 2. Time-trend in the number of completed land consolidations in the Litava basin



Obr. 3. Počty ukončených KoPÚ na jednotlivých pobočkách SPÚ

Fig. 3. Numbers of completed land consolidations in each branch of the State Land Office

SKLADBA PRVKŮ PLÁNU SPOLEČNÝCH ZAŘÍZENÍ

Vyhodnocení jednotlivých prvků zaznamenaných plánů společných zařízení vzniklých při KoPÚ bylo provedeno na základě dat poskytnutých Státním pozemkovým úřadem. Počet identifikovaných prvků výše popsanou vektorizací i jejich plošnou výměru ukazuje *tabulka 1*, kde jsou započítány i prvky z právě probíhajících KoPÚ.

Počty prvků jednotlivých opatření bylo velice obtížné určit, zejména proto, že zásadním kritériem pro zakres daného prvku PSZ bylo jeho parcelní vymezení, a ne vždy je splněna podmínka 1 prvek = 1 parcela. Zejména u prvků územního systému ekologické stability (ÚSES), kde biocentra zaujímají velkou plochu v řádu až několika desítek hektarů a biokoridory dosahují délky několika kilometrů a zároveň protínají ostatní prvky PSZ, není možné, aby každý prvek měl pouze jednu parcelu. Nastaly také situace, kdy nebyla DKM k dispozici – jednalo se o nejnovější projekty KoPÚ, které ještě nebyly digitálně zakresleny do katastrální mapy. Podle analýzy zhruba jedna třetina navržených prvků nemá parcelní vymezení, jedná se zejména o prvky ÚSES. Počty jsou tedy pouze orientační. Vyšší vypovídací hodnotu má proto plošná výměra prvků. V tabulce jsou rozlišeny prvky „stávající“ – prvky, které byly zjištěny v rámci analýzy současného stavu a v zájmovém území se nacházely před zahájením KoPÚ, prvky „navržené“ – prvky, které byly navržené v rámci KoPÚ a „nespecifikováno“ – prvky, jejichž stav nebylo možné ze získaných dat vyčíst.

Mezi nejčastěji navrhované prvky patří bezesporu opatření sloužící ke zpřístupnění pozemků – polní cesty. Polní cesty byly navrženy ve všech k. ú., kde byly zpracovány KoPÚ. Celkově se jednalo o rozšíření stávající cestní sítě asi o 331 polních cest o celkové výměře téměř 85 ha, z nichž bylo 53 navrhovaných jako hlavních a 278 vedlejších či doplňkových. V třiceti katastrálních územích se tak v rámci KoPÚ různou měrou řešilo přibližně 700 polních cest zaujímajících zhruba 232 ha plochy řešených katastrů obcí. Cestní síť polních cest dotvářelo 223 propustků, z nichž je 121 nově navrhovaných. Asi v 53 % proběhlých KoPÚ v povodí Litavy byla navržena technická protierozní opatření (TPEO) na ochranu zemědělského půdního fondu. Nejčastěji navrhovaným ochranným prvkem byly protierozní příkopy v počtu 82 návrhů. Ochrannou protierozní funkci, ale i funkci ochrany před případným odtokem z plochy povodí mohou jako druhotnou mít ale i navržené polní cesty doplněné příkopy. Velmi pozitivním doprovodným efektem realizace ochranných opatření (navržené liniové biotechnické prvky jsou navrhovány s doprovodným ozeleněním) je zvýšení ekologické stability území. Opatření určená výhradně ke zvýšení ekologické stability krajiny na plochách řešených v ukončených KoPÚ zaujímají rozlohu asi 1023 ha. Hydrologická opatření v podobě suchých nádrží nebo nádrží se stálým nadržem se v projektech na sledovaném území objevují v počtu 25, z toho jde u devíti nádrží o nové návrhy.

Opatření jako jsou plošná opatření proti vodní erozi (organizační, agrotechnická apod.) nebo odvodněné plochy (meliorace) většinou parcelní vymezení nemají, výjimku mohou tvořit trvalé travní porosty (TTP), které znamenají změny druhu pozemku. Stanovení počtů těchto opatření nemá tedy dostatečnou vypovídající hodnotu, vhodnější je jejich plošné vymezení (*tabulka 2*). Ochranná opatření plošného typu na zemědělsky využívaných pozemcích zaujímají dle získaných podkladů celkovou rozlohu téměř 2750 ha.

S povodněmi a erozními jevy v povodí, kdy vlivem vzniklého povrchového odtoku dochází k odnosu úrodné části půdního horizontu do nižších poloh, často vznikají materiální škody v zastavěné části obce či dojde k újmám na zdraví obyvatel [7]. Nežádoucí účinky těchto povodní lze eliminovat vhodně navrženým komplexním systémem protipovodňových a protierozních opatření, který vychází z podrobné analýzy erozních a odtokových poměrů. Řadu vhodných opatření lze realizovat správnou zemědělskou praxí, na kterou je v rámci dotační politiky státu a EU kladen stále větší důraz dodržováním zákonných opatření stanovených v Kontrole podmíněnosti (crosscompliance) a zejména

Tabulka 1. Sumarizace prvků plánu společných zařízení z podkladů KoPÚ
Table 1. Sumarization of plans of collective equipment from completed land consolidations

OZNAČENÍ PRVKŮ		POČET PRVKŮ							
		Stávající		Navržené		Nespecifikováno		Celkem	
		Počet [ks]	Výměra [ha]	Počet [ks]	Výměra [ha]	Počet [ks]	Výměra [ha]	Počet [ks]	Výměra [ha]
Polní cesty	Hlavní	111	63,85	53	22,23	4	0,98	168	87,06
	Vedlejší	219	70,58	240	53,72	8	3,01	467	127,31
	Doplňkové	27	6,56	38	8,77	5	2,39	65	17,72
Protierozní opatření	Větrolam	12	13,06	10	4,84	0	2,33	22	17,90
	Protierozní průleh	0	0,00	15	10,44	1	0,55	16	10,99
	Protierozní mez	15	4,26	34	27,51	0	0,64	49	32,41
	Protierozní příkop	4	1,09	82	13,33	1	0,09	87	15,54
	Ochranné hráze	0	0,00	4	0,44	0	0,00	4	0,44
	Zasakovací pás	4	1,09	16	33,13	0	0,00	20	34,22
	Asanace dráhy soustř. odtoku	1	0,93	9	19,03	0	0,00	10	19,96
Územní systém ekol. stability	Interakční prvek	125	91,37	261	111,26	2	0,32	388	202,95
	Krajinná zeleň	36	33,66	3	0,40	26	1,19	65	42,15
	Biocentrum	62	358,49	51	179,65	0	76,82	113	538,14
	Biokoridor	90	108,40	137	121,58	10	8,10	237	238,08
	Revitalizace	0	0,00	1	1,51	0	0,00	1	1,51
Mokřad		2	2,47	0	0,00	0	0,00	2	2,47
Suchá nádrž		3	2,51	5	5,66	2	0,61	10	8,87
Vodní nádrž		11	17,21	4	7,91	0	0,00	15	25,11

Tabulka 2. Výměra ochranných opatření plošného typu
Table 2. Acreage of erosion control measures in the area with soil

OCHRANNÁ OPATŘENÍ		VÝMĚRA [ha]			
		Stávající	Navržené	Nespecifikováno	Celkem
Ochranná opatření plošného typu	Organizační opatření	0,00	2045,13	0,00	2045,13
	Agrotechnická opatření	0,00	584,60	0,00	584,60
	Ochranné zatravnění	15,21	33,09	0,29	48,30
	Zalesnění	1,37	35,72	0,39	37,09
	Sady	34,61	0,00	0,00	34,61
Terasy		3,76	0,00	0,00	3,76
Odvodněné plochy		882,45	0,00	0	882,45

jejích standardů GAEC. Vymezené standardy hospodaření jsou definovány členskými státy Evropské unie v souvislosti se zachováním kvality půdy, minimální úrovní péče a ochrany vody a hospodaření s ní (na základě rámce stanoveného v příloze č. III nařízení Rady (ES) č. 73/2009). S účinností od 1. 7. 2011 došlo k dalšímu zpřísnění podmínek hospodaření, zemědělci musí chránit i tzv. mírně erozně ohrožené půdy. Další opatření se realizují prostřednictvím komplexních pozemkových úprav, především pak budováním společných zařízení.

VYHODNOCENÍ OHROŽENOSTI ÚZEMÍ

V povodí Litavy je v současné době podle našich analýz téměř 60 % zemědělské půdy potenciálně ohroženo nadlimitním odnosem půdy. Pokud se zaměříme na k. ú. s ukončenými KoPÚ, tak v těchto katastrech je zemědělské využití plochy průměrně vyšší než je průměr v celém povodí Litavy. Obděláváno je až 72 % ploch katastrů a k dnešnímu stavu povodí je v k. ú. obcí s ukončenými KoPÚ stále ohroženo, podle dnes platných limitů v ČR (4 t/ha/rok), až 57 % ploch zemědělsky využívané půdy odnosem půdy způsobeným plošnou erozí půdy.

Je třeba vzít v úvahu, že se jedná o stav v době, kdy nejsou realizovány všechny navržené protierozní prvky. Protože ale v průběhu let trvání KoPÚ došlo k vývoji způsobu stanovení jednotlivých vstupních charakteristik pro výpočet hodnoty ztráty půdy i výše limitních odnosů, nebude území dostatečně chráněno ani po realizaci všech v rámci KoPÚ navržených ochranných protierozních opatření. Zásadní změnu při stanovení erozního ohrožení zaznamenalo navýšení hodnoty R faktoru z původních 20 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹ na dnešních 40 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹, které tak navyšuje stanovenou erozní ohroženost na dvojnásobek. Nejen z těchto zmíněných důvodů ani nemůže být dnešní stav území z pohledu protierozní ochrany vyhovující. Je však velice málo pravděpodobné, že již proběhlé KoPÚ budou revidovány a doplněny o nové návrhy TPEO, a to zejména proto, že zde jsou již vyřešeny vlastnické vztahy a jen těžko by se vyčleňovaly nové pozemky pro prvky PSZ. Snížení erozního smyvu by se však dalo docílit dodržováním vhodných organizačních a agrotechnických opatření.

ZÁVĚR A DISKUZE

Prvky PSZ analyzované v rámci příspěvku jsou analýzou projektů KoPÚ. Nejde tedy o zaznamenání všech prvků, které se dnes skutečně nacházejí nebo jsou navrhovány v oblasti povodí Litavy.

Celkem 18 % plochy celé ČR (16 % katastrálních území) prošlo procesem komplexních pozemkových úprav. V rámci JMK prošlo tímto procesem 27 % plochy z celkové rozlohy kraje (23 % katastrálních území v kraji) a v povodí Litavy toto procento činí jen 17,7 %. Nižší procento pokrytí plochy povodí KoPÚ je způsobeno zalesněním severní části povodí. Při zaměření na zemědělsky využívané plochy prošlo v povodí procesem KoPÚ 23 % těchto ploch. S ohledem na skoro 25leté trvání tohoto procesu se zdá, že vidina zpracování celého území není příliš blízkou budoucností. Je třeba ale brát v úvahu urychlení procesu v posledních letech a také jeho stále se zvyšující pozitivní přístup k ochraně krajiny.

Ochrana zastavěných území obcí před dopady zejména povodní z přívalových srážek a s nimi související projevy eroze půdy jsou dlouho akcentovanými problémy, které představují rozsáhlou problematiku. Povodně z přívalových srážek, které charakterizují vysoké srážkové úhrny a doby trvání deště do 180 minut [8], jsou v poslední době vzhledem k častému výskytu výrazným problémem. Souvislosti jsou spatřovány ve změnách extremity klimatických jevů v rámci hydrologického roku, na jedné straně jde o nebyvale suchá období způsobená zvýšenými teplotami vzduchu a nedostatkem srážek, na druhé straně jsou zaznamenávány intenzivní srážky spadlé v krátkém časovém intervalu. Tyto skutečnosti poukazují na potřebu navýšení protierozní ochrany navržené obzvláště v začátcích vzniku procesů KoPÚ.

I přes ukončené návrhy komplexních pozemkových úprav je z pohledu erozní i hydrologické ochrany území nejdůležitější samotná realizace navržených prvků. Tisková zpráva Nejvyššího kontrolního úřadu ze dne 1. 6. 2015 z kontrolní akce proběhlé na Ministerstvu zemědělství, Státním pozemkovém úřadě v Praze a na Státním zemědělském intervenčním fondu v Praze v rámci již ukončeného Programu rozvoje venkova České republiky na období 2007–2013 uvádí, že od roku 1995 bylo realizováno pouze 9 % ze všech navrhovaných opatření. Z navrhovaných protierozních opatření bylo realizováno jen 7 % a z navrhovaných vodohospodářských opatření pouze 10 %. Zde hraje největší roli financování prvků PSZ, které v České republice, na rozdíl od okolních států, kde jsou opatření částečně hrazena obcemi i vlastníky pozemků, hradí v plné výši stát. V letech 2007–2014 vynaložilo MZe na pozemkové úpravy z různých zdrojů celkem 13 miliard Kč [9].

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] Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. *Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning*. Agricultural Handbook. 1978, no. 537. US Department of Agriculture, Washington, DC.
- [2] Janeček, M. aj. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*: Metodika. Praha: ČZU, 2012. ISBN 978-80-87451-42-9.
- [3] Govers, G. and K. Van Oost. USLE2D Homepage: Division of Geography of K.U. Leuven. Geography of K.U. Leuven [online]. 2000 [cit. 2010-09-03]. Dostupné z: <http://geo.kuleuven.be/geography/modelling/erosion/usle2d/index.htm>.
- [4] Mc Cool, D.K., L.C. Brown, G.R. Foster, C.K. Mutchler, and L.D. Meyer. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions ASAE*, 1987, vol. 30, p. 1387–1396.
- [5] Kadlec, M. a F. Toman. Závislost faktoru protierozní účinnosti vegetačního pokryvu C na klimatickém regionu. In: *Bioklima – Prostředí – Hospodářství*, Československá bioklimatologická konference, 2002, Lednice, s. 544–550, ISBN 80-85813-99-8.
- [6] Charakteristiky toků a povodí DIBAVOD [online]. 2014 [cit. 2015-20-01]. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/24/charakteristiky-toku-a-povodi-cr.html>
- [7] Drbal, K. aj. *Vyhodnocení povodní v červnu a červenci 2009 na území České republiky*, DÚ Metodika mapování povodňového rizika. VÚV TGM: Brno, 2009.
- [8] Starý, M. *Hydrologie. Studijní opory pro stud. programy s komb. formou studia*. Brno: VÚT Brno, 2005, 368 s.
- [9] Informace z kontrolní akce NKÚ č. 14/40 – Peněžní prostředky určené na úhradu nákladů pozemkových úprav (Tisková zpráva 1. 6. 2015).

Autoři

Ing. Jana Uhrová, Ph.D.

✉ jana_uhrova@vuv.cz

Ing. Kamila Zárubová

✉ kamila_zarubova@vuv.cz

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

Příspěvek prošel lektorským řízením.



Litava mezi Měním a Blučinou

EVALUATION OF THE LAND CONSOLIDATIONS PROCESS IN THE LITAVA BASIN

UHROVA, J.; ZARUBOVA, K.

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

Key words: land consolidation – plan of collective equipment – erosion – Litava basin

Under the project New procedures of optimization of integrated protection area systems in the context of their economic sustainability, analysis of plans of collective equipment was done within the complex process of land consolidation based on data from all branches of the State Land Office in the Litava basin. Every project of land consolidation was vectorised to shapefile format in ArcGIS geographical information system. As the main base map for the vectorization a digital cadastral map was used, which shows plot demarcation of each measure. If a measure has not plot demarcation, there is only small chance of its implementation. These eight shapefiles were created: technical erosion

control measures, area measures, reservoirs, terraces, drainage areas, environmental measures (ÚSES), agricultural roads and culverts. After vectorization and analysis of the measures soil loss by erosion by mathematical model Universal Soil Loss Equation (USLE) was evaluated. The USLE is composed of six factors to predict the long-term average annual soil loss (G). The equation includes the rainfall erosivity factor (R), the soil erodibility factor (K), the topographic factors (L and S) and the cropping management factors (C and P). The R and P factors are constant: $R = 40 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ and $P = 1.0$; the other factors were determined in GIS software based on maps (Land parcel identification system, DEM, etc).

Based on these calculations, currently about 57% of agricultural land is threatened by erosion. The soil loss by erosion (caused mainly by water) is almost $8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. This situation is a consequence of the fact that the designed measures were not realized in time, mainly because of the lack of funds. According to the Supreme Audit Office of the Czech Republic only 9% of designed measures were realized.

The process of land consolidations is ever more considered as important tool for landscape water regime, though it mainly solves agriculture and forest land. Water measures – especially in riverbeds – are applied by the state enterprises of the catchment. Therefore cooperation is needed. As the land consolidations are included into the plans of the sub-basins in the Czech Republic, the cooperation will probably be better.

Přesnost simulace rozlivu pomocí alternativního nástroje AIZM

MARTIN CALETKA

Klíčová slova: AIZM – ArcGIS – ArcGIS ModelBuilder – inundace – rozliv

SOUHRN

Relativně přesné určení rozsahu povodňových rozlivů umožňuje matematické či fyzikální modelování, které se používá a rozvíjí po dlouhou řadu let. Ruku v ruce s růstem přesnosti, plynoucí z přesnějších měřicích zařízení, vzrůstají rovněž nároky na výpočetní kapacity a čas. Existuje však řada úseků vodních toků bez namodelovaných inundací, popř. by bylo žádoucí modelovat úseky vodních toků, pro něž by bylo možno odvodit rozsah zaplaveného území, a to na základě známé úrovně hladiny. Alternativním přístupem k vizualizaci inundací je model AIZM (Alternativní indikativní záplavový model). Jedná se o nástroj vytvořený zřetěžením několika dílčích submodelů v prostředí ArcGIS ModelBuilderu umístěných v ArcToolboxu. AIZM je schopen při minimu požadovaných vstupních dat a v krátkém čase vygenerovat indikativní rozsah záplavy a pole hloubek ve formě rastru. Je však potřeba brát v potaz jisté nedostatky, kterými je tento model zatížen.

Předložený článek shrnuje první část výsledků analýzy vlivu různých charakteristik úseků třicítky různých vodních toků (např. šířky koryta, podélného sklonu či antropogenního ovlivnění průběhu koryta) na míru shody či neshody výstupů AIZM s referenčními výsledky vypočítanými v rámci tvorby map povodňového nebezpečí a rizik s využitím 1D či 2D numerického modelování. Díky tomu je možno identifikovat typy vodních toků, na nichž poskytuje AIZM dobré výsledky, resp. určit ty charakteristiky, které nejvíce ovlivňují přesnost výstupu.

ÚVOD

Technologie geografických informačních systémů (GIS) jsou v rámci hydrologického modelování používány pro zpracování velikých objemů prostorových dat. Výhodou GIS je, že umožňují získat, resp. odhadnout řadu charakteristik území vymezených povodí. Díky dobré analýze a popisu prostorové variability jednotlivých ukazatelů nabízí GIS možnost zlepšení kalibrace modelů [1]. V podmínkách České republiky se GIS systémy např. dobře osvědčují při stanovování parametrů hydrologických modelů [2]. Základní koncept používání GIS technologií v rámci hydrologického modelování může být charakterizován třemi kroky: 1. přípravou vstupních dat (tj. pre-processingem) a následným exportem do hydrologického modelu, 2. modelováním samým, 3. finálním exportem zpět do prostředí GIS s následným zpracováním, vizualizací a interpretací [3, 4].

Přístupy k vzájemnému propojení GIS nástrojů s hydrologickými modely mohou být různé: 1. přístup – jádro GIS je využito v modelu, 2. přístup – model je zakomponován přímo do GISu formou programovacího jazyka Python či ModelBuilderu, 3. přístup – GIS a model jsou odděleny a GIS slouží pro přípravu dat a zpracování výsledků, 4. přístup – úzké programové provázání GIS,

hydrologického modelu a statistického softwaru [5]. Další modifikace uvedených přístupů jsou založeny na propojení s webovými aplikacemi [6].

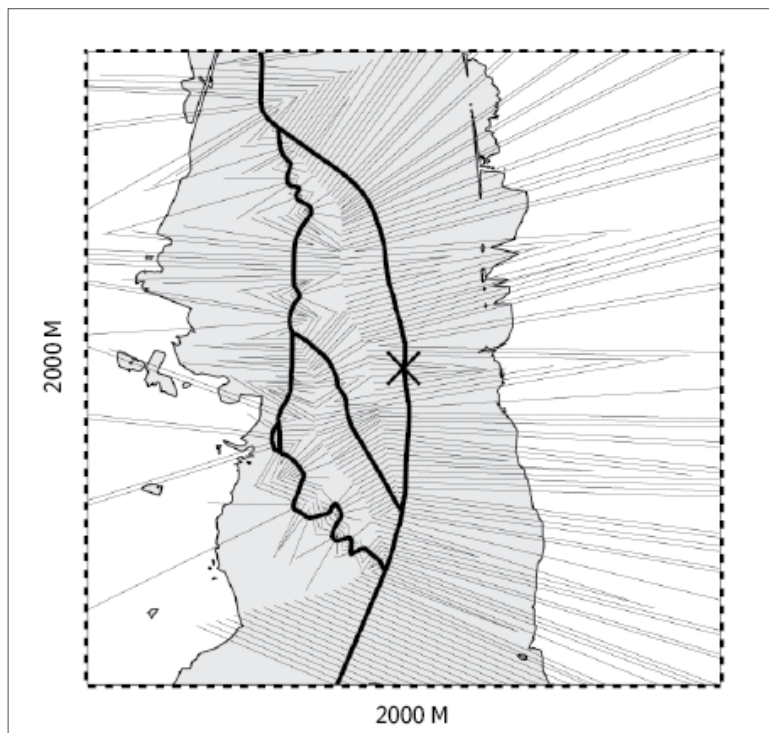
Jedním z alternativních přístupů k určení a analýze rozlivů je model AIZM, který byl vyvinut na Přírodovědecké fakultě Univerzity Komenského v Bratislavě [7]. Byl vyvinut jako nástroj k analyzování relativních výšek nad terénem v okolí vodních toků. Možnost aproximace úrovně hladiny v oblastech, kde nejsou k dispozici výstupy hydraulických modelů, se jeví jako užitečná a žádoucí. Zde je však potřeba zdůraznit, že představovaný model v žádném případě neaspíruje na to, aby nahrazoval výstupy zavedených sofistikovaných postupů hydrologického modelování. V danou chvíli se jedná o nástroj, který je schopen na základě zadání základních vstupních údajů (jsou zmíněny níže) v krátkém čase simulovat rozsah inundace. Výsledky modelu AIZM je pak nutné náležitě interpretovat odborníkem se znalostí stanovení rozlivů a hloubek vody v inundačním území s vědomím určitých nevyhnutelných nedostatků.

Model AIZM pracuje na platformě ESRI ArcGIS for Desktop Advanced 10.x s extenzemi 3D Analyst a Spatial Analyst. Určité modifikace modelu formou zásahu do jeho struktury jsou v případě nižších verzí možné, ale s nutností instalace dalších nástrojů, např. sady ArcHydro.

ArcGIS nabízí grafické vývojové prostředí ModelBuilder, v němž je možné řetězit za sebe různé GIS nástroje a objekty. V ModelBuilderu tedy lze sestavovat komplexní nástroje a částečně automatizované pracovní postupy. Vytvořené modely mohou být uloženy v toolboxech, nebo ve formě toolsetů. Model AIZM se skládá ze tří základních částí a nástroje na vygenerování příčných profilů. Jednotlivé části jsou samostatnými toolboxy, které jsou sestaveny zřetěžením základních nástrojů ArcGIS. Ve smyslu výše uvedeného rozdělení [5] je model AIZM založený na integraci modelu do systému GIS. Tyto řetězce fungují jako samostatné nástroje toolboxu s vlastními vstupy, výstupy a parametry. První toolset pracuje s povrchem TINu (Triangulated Interpolated Network), druhý zpracovává povrch ve formě rastru a třetí obsahuje analytické nástroje zpracovávající data z TINu i rastru.

Možnosti práce s modelem AIZM jsou různé. Jednak z hlediska příčných profilů, kdy jsou buď do výpočtu zahrnuty příčné profily generované automaticky pomocí vstupního digitálního modelu terénu, nebo je možné zadávat je také ručně. Jednak také z hlediska způsobu generování rozlivu s povolením či zakázáním průsaků podzemních vod mimo samotný rozliv.

K provedení všech výpočtů vyžaduje AIZM vstupní data (viz obr. 1). Konkrétně se jedná o linii vodního toku, centrální body ležící přesně uprostřed výpočetní masky, tabulku hloubek vody (pro každý rozliv jednu) v úrovni koryta, resp. centrálního bodu, dále data daného digitálního modelu terénu (rastr nebo povrch TIN) a také sadu příčných profilů, jež jsou generovány v rámci běhu modelu AIZM, nebo mohou být zadány ručně.



Obr. 1. Schéma výpočtu rozsahu rozlivu modelem AIZM – uprostřed středový bod, na okraji vymezeno území (výpočetní maska) o rozměru 2000×2000 m, na linii vodního toku vyznačeny příčné profily, plocha rozlivu stanoveného modelem AIZM znázorněna šedým polygonem

Fig. 1. Scheme of flood extent computation by the AIZM model – the central point in the centre, the mask of 2000×2000 m is marked out at the edges, stream line drawn together with crosssectional profiles, the flooded area computed by the AIZM model is represented by the grey polygon

Výpočet modelu AIZM probíhá od centrálního bodu, kolem něhož se vygeneruje čtvercová maska o rozměru 2000×2000 m (rozměr je možno i zmenšit, zvětšení by vyžadovalo zásah do algoritmu výpočtu). Veškeré výpočty se pak odehrávají v ploše masky. Je-li vstupní digitální model terénu v TIN (v případech, kdy sada bodů pro interpolaci digitálního modelu terénu je nepravidelně uspořádaná), je v ploše masky převeden do rastru a opětovně interpolován do podoby rastru s velikostí buňky 2 m (nastaveno implicitně).

Linie vodního toku je rovněž ořezána podle rozměru masky a poté je rozdělena na úseky tak, že vzdálenost dvou sousedních okrajových bodů těchto úseků je vždy maximálně 20 m. Následuje vykreslení příčných profilů založené na metodě Thiessenových polygonů. Zde je nutno zmínit skutečnost, že automatické vykreslování příčných profilů představuje jeden z největších problémů modelu AIZM, což je diskutováno dále.

Výpočet rozsahu inundace vychází ze známých hloubek vody pro danou masku. Na základě těchto známých hloubek z tabulky se určí úroveň hladiny vody pro daný příčný profil. Hodnota relativní hloubky platí vždy pro průsečík příčného profilu s linií vodního toku. Protnutí linie příčného profilu s modelovaným reliéfem definuje rozsah rozlivu ve směru příčného profilu. Rozliv mezi sousedními profily je odvozen na základě povrchu TIN, vzniklého převedením linií příčných profilů na body (vertexy), a na základě digitálního modelu terénu, který je v rámci běhu modelu převeden také na povrch TIN. Odečtením úrovní hladin v rozlivu a digitálního modelu terénu vzniká rastr hloubek jako jeden z výstupů. Opakování výpočtu probíhá podle počtu hodnot hloubek ve vstupní tabulce (každému rozlivu odpovídá jedna hodnota). Výstupy modelu jsou ukládány ve formě rastru i vektoru.

METODIKA A DATA

Pro určení přesnosti výstupů modelu AIZM bylo vybráno celkem třicet různých úseků vodních toků České republiky v oblastech s významným povodňovým rizikem na základě směrnice 2007/60/ES o vyhodnocení a zvládnutí povodňových rizik. Pro tyto úseky jsou k dispozici hloubky ve formě rastrů a rozlivy ve formě vektorových polygonů pro povodňové průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} . Tato data jsou považována za referenční a následné analýzy vycházejí z jejich porovnání s výstupy nástroje AIZM.

Vstupní údaje AIZM

Jako linie, resp. osa vodních toků posloužila vrstva z databáze DIBAVOD (Digitální báze vodohospodářských dat) spravované VÚV TGM, v.v.i.

Digitální model terénu byl interpolován s využitím příslušných mapových listů (klad listů je totožný s kladem listů Státní mapy 1 : 5 000 – odvozené sady DMR 4G od ČÚZK, která byla pořízena leteckým laserovým skenováním. Je tvořena sítí bodů rovnoměrně rozmístěných po ploše České republiky ve vzdálenosti 5 m. Jednotlivé body přitom leží ve středu každého gridu, jemuž také přísluší hodnota nadmořské výšky daného bodu.

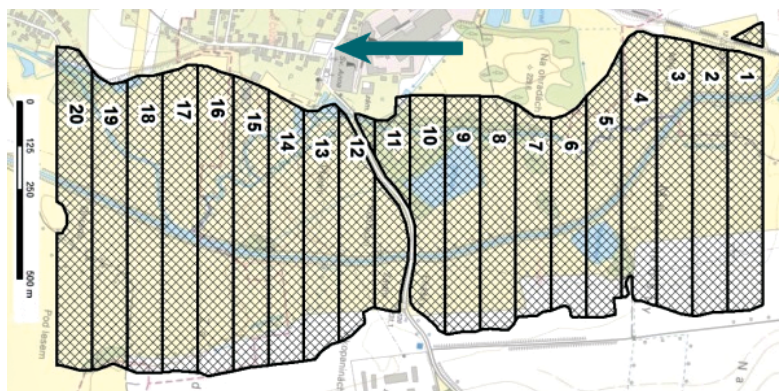
Pro zvolené centrální body všech úseků byly z referenčních modelů zjištěny hloubky pro rozlivy s dobou opakování 5, 20 a 100 let (tyto hloubky vstupují do tabulky hloubek pro daný úsek). Potřebné vrstvy byly poskytnuty Ministerstvem životního prostředí.

Porovnání rozlivů

Rozlivy vypočtené modelem AIZM byly porovnány s rozlivy stanovenými referenčními modely. Simulování a rozlivy na všech úsecích jsou rozděleny vždy na dvacet segmentů podle směru toku, resp. s ohledem na tvar záplavy (obr. 2). Každému segmentu pak jednoznačně odpovídá plocha rozlivu modelovaného A_m a referenčního A_r . Vzájemné porovnání kvantitativních charakteristik toků různých parametrů (např. Rtyňka – Ohře) není smysluplné, a proto je míra shody vyjádřena relativní mírou, čili poměrem.

$$S = \frac{A_m}{A_r} \quad (1)$$

Ze vztahu (1) je zřejmé, že pro $S > 1$ je rozliv modelovaný AIZM větší oproti modelu referenčnímu. Pro $S < 1$ je tomu naopak.



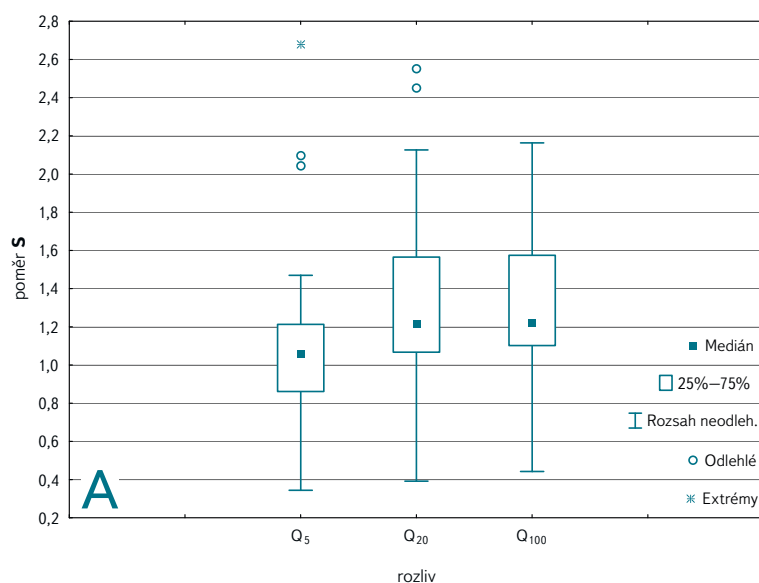
Obr. 2. Plocha rozlivu na úseku Cidliny rozdělená do dvaceti segmentů s vyznačením směru toku

Fig. 2. The flood extent on the Cidlina River cut into twenty segments with the flow direction

Porovnání rozlivů je provedeno v kontextu kvantitativních i kvalitativních charakteristik vodních toků, resp. všech vymezených segmentů. Z kvantitativních charakteristik se konkrétně jedná o šířku koryta vypočítanou s využitím břehových hran z databáze DIBAVOD a podélný sklon dna odvozený z digitálního modelu terénu. Sledovanými kvalitativními charakteristikami jsou antropogenní ovlivnění směru toku odvozená z leteckých snímků a dostupných historických map, průtočnost příbřežní zóny ve smyslu přítomnosti překážek (zástavba, souvislejší vegetace), charakter břehů a svahů blížící se přirozenému a přítomnost vodohospodářských objektů (např. jezů či stupňů). Metodika hodnocení je nastíněna v *tabulce 1*.

Tabulka 1. Klasifikace kvalitativních charakteristik úseků vodních toků
Table 1. Classification of qualitative characteristics for river sections

Charakteristika	Hodnocení
Ovlivnění břehů	0 – bez výrazného antropogenního ovlivnění
	1 – středně ovlivněné (obvykle koryto lichoběžníkového tvaru s travnatými břehy)
	2 – silně ovlivněné (betonové či kamenné břehy)
Směr (poloha) koryta	0 – blíží se přirozenému
	1 – významně ovlivněné
Vodohospodářské objekty (jezy, stupně)	0 – ne
	1 – ano
Průtočnost příbřežní zóny	0 – dobrá (volné povrchy s možností rozptýlené vegetace)
	1 – střední (rozptýlená zástavba, ploty, hustější vegetace)
	2 – nízká (hustá zástavba, ploty, hustá vegetace)



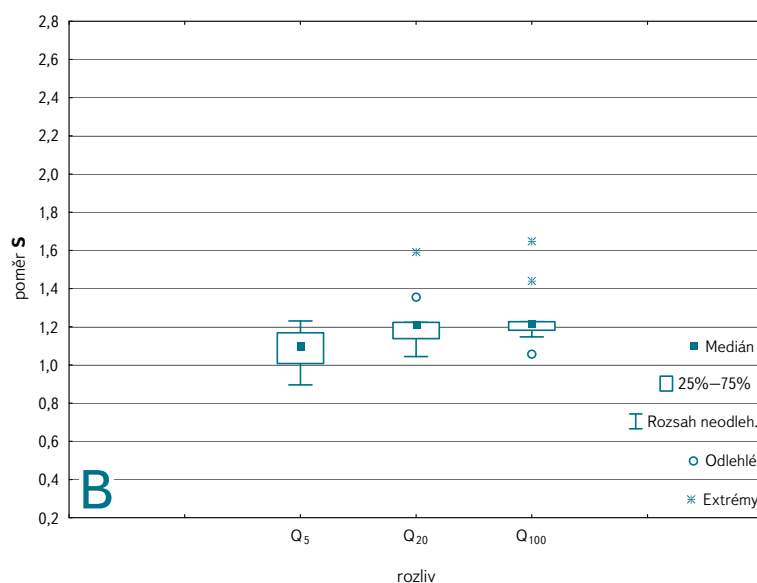
Tabulka 2. Procentuální zastoupení hodnot poměru $S > 1$ a $S < 1$ pro celou sadu dat a data zkrácená při rozlivu Q_5 , Q_{20} a Q_{100}
Table 2. Percentage of ratio $S > 1$ and $S < 1$ in both whole and shortened dataset for flood extents Q_5 , Q_{20} and Q_{100}

	Celá data		Zkrácená data	
	$S > 1$	$S < 1$	$S > 1$	$S < 1$
Q_5	77,2	22,8	81,7	18,3
Q_{20}	79,2	20,8	83,3	16,7
Q_{100}	71,0	29,0	74,7	25,3

Statistické zpracování za účelem zjištění popisných statistik a provedení následných analýz bylo uskutečněno s využitím softwaru PAST, Statistica a s pomocí programovacího jazyka R.

Prvotní průzkum dat prostřednictvím popisných statistik ukázal, že mezi třiceti vymezenými úseky vodních toků panuje značná variabilita hodnot poměrů S . Patrné je to z krabicových grafů sestavených pro každý úsek vodního toku tvořený vždy dvaceti dílčími segmenty (viz obr. 3). Bylo také zjišťováno, zda se výsledky liší s ohledem na vzdálenost od středového bodu. Jinými slovy, bylo ověřováno, zda se nejvzdálenější segmenty po směru toku podílejí na rozptýlení hodnot poměru S . Proto byly analýzy provedeny pro úseky se všemi dvaceti segmenty a pro úseky s odebranými prvními a posledními pěti segmenty (po směru toku). V *tabulce 2* je uvedeno procentuálně zastoupení hodnot S . Je evidentní, že pro všechny rozlivy je výrazně vyšší podíl $S > 1$ vyjadřující, že rozliv modelovaný pomocí AIZM je větší oproti referenčnímu a také že odstraněním zmíněných segmentů se tento podíl ještě zvyšuje.

Značná variabilita jednotlivých úseků může souviset s některými problematickými aspekty interpolace digitálního modelu terénu. V úrovni koryta se mohou objevit „falešné“ elevace, které se výpočtem přenesou a projeví v nadhodnoceném rozsahu rozlivu. Stejně tak se mohou objevit i případy depresí, které analogicky vedou k podhodnocenému rozlivu. Tento problém však



Obr. 3. Ukázka boxplotů hodnot poměrů S na úseku Ohře při rozliveních Q_5 , Q_{20} a Q_{100} : data celá (A), zkrácená (B)

Fig. 3. Example of boxplots of ratios S on the Ohře River section for flood extents Q_5 , Q_{20} and Q_{100} : whole dataset (A), shortened (B)

Tabulka 3. Hodnoty Spearmanova a Pearsonova korelačního koeficientu pro šířku koryta, podélný profil a poměr S rozlivu Q_5, Q_{20}, Q_{100}
 Table 3. Values of Spearman's and Pearson's correlation coefficient for width of channel, longitudinal profile and the ratio S of flood extent Q_5, Q_{20}, Q_{100}

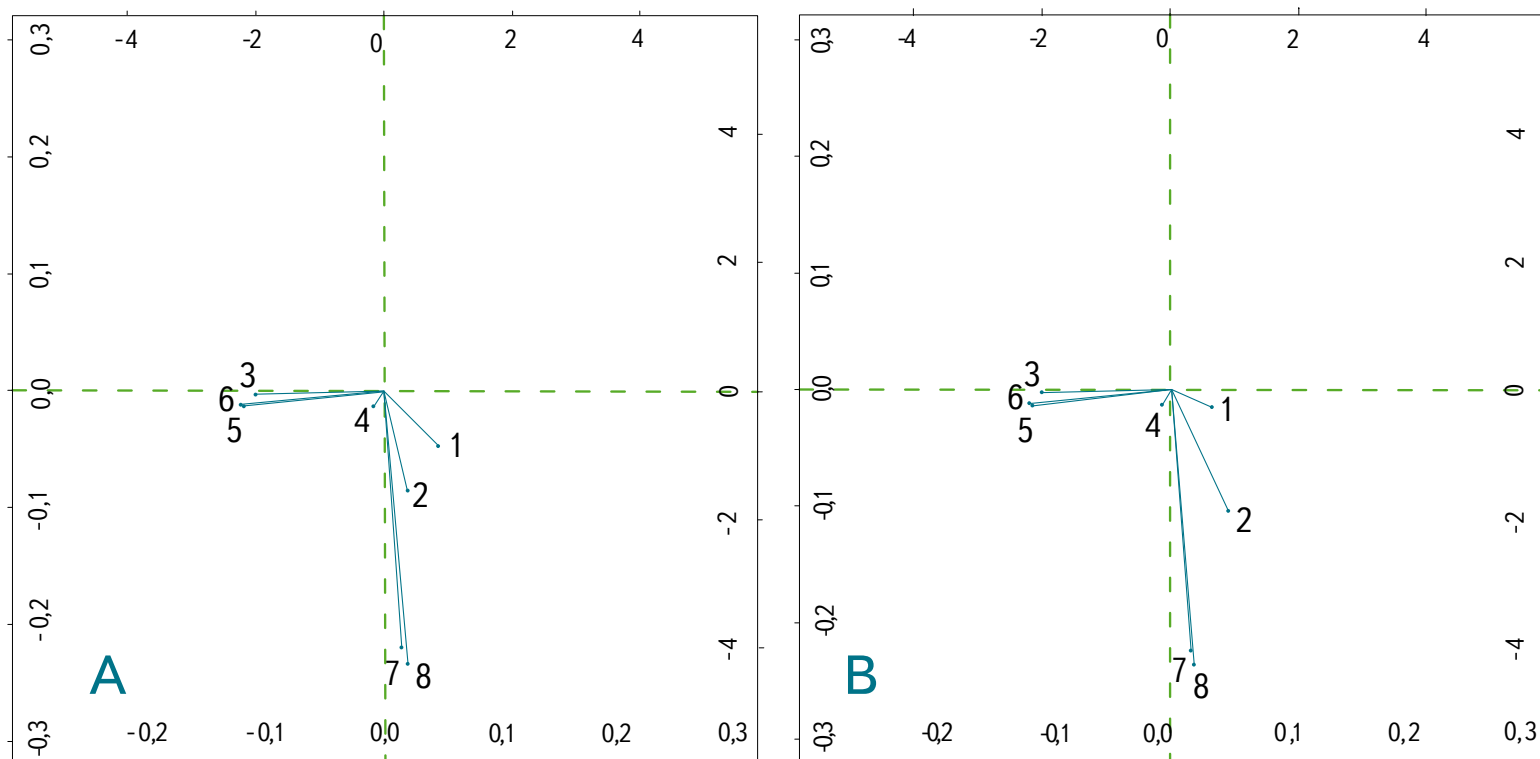
		Pearsonův koeficient					Spearmanův koeficient				
		Q_5	Q_{20}	Q_{100}	šířka	pod. sklon	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	šířka	pod. sklon
CELÉ	šířka	0,157	0,162	0,162	1,000	0,366	-0,057	-0,065	-0,080	1,000	0,409
	pod. sklon	0,328	0,323	0,368	0,366	1,000	0,090	0,076	0,103	0,409	1,000
ZKR.	šířka	-0,092	-0,091	-0,087	1,000	0,366	-0,089	-0,138	-0,130	1,000	0,409
	pod. sklon	-0,088	-0,078	-0,083	0,366	1,000	-0,010	-0,033	-0,004	0,409	1,000

nastává méně často. Další chyby bývají spojeny s meandrujícími úseky toků. Na konvexních březích se linie příčných profilů radiálně rozbíhají, tedy roste jejich vzdálenost. Plocha inundace pak může být buď nadhodnocena, nebo se v některých případech mohou objevit i falešné přetržky. Tomuto problému bude věnován následující výzkum směřující k upravení algoritmů tak, aby k těmto chybám nedocházelo.

Vztah mezi vzorky poměrů S a ostatními již zmíněnými kvantitativními charakteristikami je vyjádřen hodnotami Pearsonova a Spearmanova korelačního koeficientu. Spearmanův koeficient se vyznačuje tím, že není tolik ovlivňován odlehlými hodnotami, jako tomu je u Pearsonova koeficientu. Z ukázky vypočítaných hodnot v tabulce 3 je zřejmé, že Pearsonův korelační koeficient ukazuje

na vztah mezi průměrným podélným sklonem segmentu a odpovídajícím poměrem S . Obdobné výsledky vycházejí pro všechny zbylé rozlivy pro vzorek dat celý i zkrácený.

Soubor všech proměnných byl podroben analýze hlavních koordinát PCoA (z angl. *Principal Coordinates Analysis*), která byla publikována v r. 1966 [8]. Umožňuje odhalit vliv jednotlivých proměnných na výsledky modelu. Analýza je vhodná i v těch případech, kdy zkoumané charakteristiky zahrnují vícestavové kvalitativní znaky či smíšená data. Grafy na obr. 4 ukazují výsledky analýzy hlavních koordinát provedené pomocí programovacího jazyka R. Z výsledků získaných pro celou sadu dat se zdá, že spolu souvisejí jednak charakteristiky ovlivnění břehů a směru koryta, jednak charakteristiky průtočnosti břehů. Protože



Obr. 4. Výstupy analýzy hlavních koordinát pro celý (A) i zkrácený (B) vzorek segmentů; 1 = šířka koryta, 2 = podélný sklon, 3 = ovlivnění směru toku, 4 = přítomnost vodohospodářských objektů, 5 = ovlivnění levého břehu, 6 = ovlivnění levého břehu, 7 = průtočnost příbřežní zóny na pravém břehu, 8 = průtočnost příbřežní zóny na pravém břehu
 Fig. 4. Outputs of the principal coordinates analysis for the entire (A) and shortened (B) sample of the river segments; 1 = channel width, 2 = longitudinal profile, 3 = influencing of the channel's direction, 4 = presence of waterworks, 5 = influencing of the left bank, 6 = influencing of the left bank, 7 = flowage of the litoral zone on the right bank, 8 = flowage of the litoral zone on the right bank

však směřují podél nulových os, není jejich vliv na výsledky modelu významný. Naproti tomu charakteristika podélného sklonu od ostatních poměrně vybočuje, což vypovídá o jejím větším vlivu a velikosti poměru S , což koresponduje i s vypočítanými korelačními koeficienty. Podobně je tomu rovněž u dat zkrácených.

Další představu o struktuře dat a chování modelu v různých úsecích zřejmě poskytne precizní vyhodnocení provedené shlukové analýzy. Byla využita Wardova shlukovací metoda založená na analýze rozptylu. Vyznačuje se tím, že není zatížena efektem řetězení [9]. Hodnota kofenetického koeficientu CC je pro celou sadu dat 0,716 a pro zkrácená data 0,826. Tyto hodnoty značí, že použitou shlukovací metodu je možno považovat za vhodnou.

ZÁVĚR

Pro třicetku vybraných úseků vodních toků na území České republiky bylo sledováno, zda se modelované rozlivy podle AIZM shodují s výstupy z referenčních modelů. Automatizovaným výpočtem v prostředí ArcGIS byly určeny hodnoty kvantitativních charakteristik jednotlivých segmentů úseků vodních toků. Posouzením leteckých snímků a historických map byly určeny také kategorie charakteristik kvalitativních. Tyto charakteristiky společně s poměrnými hodnotami modelových a referenčních rozlivů prošly analýzou hlavních koordinát za účelem zjištění vlivu jednotlivých charakteristik na výsledky modelu. Z analýzy vyplynulo, že jak pro data úplná, tak i pro data zkrácená je nejdominantnější charakteristikou zejména podélný profil linie vodního toku, méně také šířka koryta. Toto zjištění koresponduje i s výsledky výpočtů korelačních koeficientů. Zkrácením úseků toků vzdálenějších od středového bodu s odečtenou hloubkou se rozptýly hodnot poměru S , resp. chyba stanoveného rozlivu zmenšily jen u některých z vybraných úseků. K přesnější interpretaci této skutečnosti však bude nutné dokončit další analýzy.

Uvedené výsledky představují pouze dílčí část rozsáhlejší analýzy. V následujících analýzách bude dokončeno důkladné vyhodnocení výsledků shlukové analýzy provedené Wardovou metodou a výsledky modelu AIZM vypočítané na podkladu DMR 4G budou porovnány s výpočty na podkladu DMR 5G.

Cílem analýz do budoucna je na základě objektivních výsledků statistických analýz identifikovat typy toků (s určitými charakteristikami), pro něž je užití modelu AIZM vhodné, či nikoli. Pokud to bude možné, budou také testovány modifikované verze modelu AIZM, zejména ve vztahu k interpolaci digitálního modelu terénu.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval především Mgr. Martinu Kolimu za spolupráci. Dále bych velmi rád poděkoval Výzkumnému ústavu vodohospodářskému TGM., v.v.i., za poskytnutí potřebných podkladových dat digitálního modelu reliéfu a N -letých rozlivů, bez nichž by tato práce nemohla vzniknout.

LITERATURA

- [1] Schuman, A.H., R. Funke, and G.A. Schultz. Application of a geographic information system for conceptual rainfall-runoff modelling. *Journal of Hydrology*, 2000, 240, p. 45–61, ISSN 0022-1694.
- [2] Šercl, P. Vliv fyzicko-geografických faktorů na charakteristiky teoretických návrhových povodňových vln. *Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu*. Praha: ČHMÚ, 2009, 88 s., ISBN 978-80-86690-62-9.
- [3] Jeníček, M. *Modelování průběhu extrémních povodní v kontextu krajinných změn a integrované protipovodňové ochrany*. Disertační práce. Praha: PfF UK, 2009, 128 s.
- [4] Adamec, M., M. Hanzlová, J. Horák, J. Unucka a D. Židek. Modelování hydrologických extrémů s podporou DPZ a GIS. In: Langhammer, J. (ed.) *Změny v krajině a povodňové riziko*. Praha: Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 2007, s. 51–62, ISBN 978-80-86561-87-5.
- [5] Sui, D.Z. and R.C. Maggio. Integrating GIS with hydrological modeling: practices, problems, and prospects. *Computers, Environment and Urban Systems*, 1999, 23, p. 33–51, ISSN 0198-9715.
- [6] Al-Sabhan, W., M. Mulligan, and G.A. Blackburn. A real-time hydrological model for flood prediction using GIS and the WWW. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2003, 27, p. 9–32, ISSN 0198-9715.

[7] Koli, M. Alternativny indikativny záplavový model. In: Inspektor, T., Horák, J., Růžička, J. (Eds.) *GIS Ostrava 2013, Geoinformatika pro společnost*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2013, ISSN 1213-239X.

[8] Gower, J.C. Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. *Biometrika*, 1966, 53, p. 325–338.

[9] Ward, J.H. Jr. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*, 301, 1963, p. 236–244.

Autoři

Mgr. Martin Caletka^{1,2}

✉ martin_caletka@vuv.cz

¹ Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., pobočka Brno

² Masarykova univerzita v Brně, Přírodovědecká fakulta, Geografický ústav

Příspěvek prošel lektorským řízením.

THE ACCURACY OF FLOOD EXTENT SIMULATION BY AN ALTERNATIVE TOOL – AIZM

CALETKA, M.^{1,2}

¹ TGM Water Research Institute, p.r.i., Brno branch

² Masaryk University, Faculty of Science, Department of Geography

Key words: AIZM – ArcGIS – ArcGIS ModelBuilder – inundation – flood extent

The estimation of the extent of inundations is enabled by methods of physical and mathematical modelling which have been developing for many years. Increasing accuracy, related to precise measurements, demands higher computing capacity and more time. There are plenty of river sections with no outputs of hydrological models. At the same time, many cases exist where the water level is known, however the inundation area is unknown.

One of the alternative approaches to visualization of inundations is represented by the AIZM model. This model is based on chaining of several sub-models in the ArcGIS ModelBuilder. All the used tools are located in the ArcToolbox. The AIZM model is able to generate indicative inundation extents and raster of depths with minimal demands for input data and computing time. On the other hand, using this model, one has to take into account that some imperfections are indivisibly present, with regard to some necessary simplifications.

The presented article sums up the initial results of the initial analysis in which the influence of different characteristics of river sections (such as the channel width, the longitudinal profile, anthropogenic influence of channel direction etc.) on the correspondence of the inundation extent modelled by the AIZM model with the reference model outputs. For this purpose, the outputs of 1D or 2D numerical models are used, originating from the mapping of flood hazards and risks in the Czech Republic. This allows identifying different types of river sections where the outputs of the AIZM model are accurate. At the same time, the most determinative river characteristics can be recognized.

Využití odpadního tepla k úpravě odpadních vod z průmyslových procesů

MAREK VONDRA, PETR BOBÁK, VÍTĚZSLAV MÁŠA

Klíčová slova: odpadní voda — odpadní teplo — průmysl — odpařování — zahušťování — vícestupňová mžiková destilace

SOUHRN

Článek se zabývá zahušťováním odpadních vod s využitím odpadního tepla z přidružených průmyslových procesů. V České republice je ročně průmyslem vyprodukováno více než 280 mil. m³ odpadní vody a ještě větší množství vody průmysl spotřebuje. Zároveň je toto odvětví výrazným konzumentem energetických zdrojů, které však zpravidla nejsou důsledně využity. Ročně z průmyslu odchází více než 17,5 TWh odpadního tepla. Jedním z řešení, které má potenciál k redukci odpadních vod při současném využití přebytečného tepla, je odpařování odpadních vod. Za tímto účelem je možné uvažovat o uplatnění osvědčených technologií používaných při odsolování mořské vody (MED, MSF), jejichž základní provozní parametry jsou v textu popsány. Z mnoha výhod těchto zařízení lze jmenovat jednoduchou konstrukci, spolehlivý chod a ekonomiku provozu výrazně podpořenou dostupným odpadním teplem. Při zamýšlení nad konkrétními možnostmi aplikace uvedených metod lze vycházet z četných studií, které se zabývaly odpařováním vody ze širokého spektra odpadních vod. Předkládaný text prezentuje výsledky ze zahušťování vod z kovodělného, koksárenského a farmaceutického průmyslu či z provozů na zpracování biomasy. Potenciál k úpravě odpadních vod zahušťováním v České republice je pak součástí úvah a výpočtů v poslední části textu. Z výsledků plyne, že při využití pouhého zlomku (0,94 %) průmyslového odpadního tepla lze odpařováním ušetřit až 8,5 mil. m³ vody ročně. Možnosti zkoumaného přístupu jsou tedy obrovské.

ÚVOD

Ochrana životního prostředí a snižování spotřeby přírodních zdrojů jsou v dnešní době všudypřítomnými požadavky národních i mezinárodních politik a dokumentů. Tento trend má přispět k udržitelnému rozvoji společnosti a zajištění odpovídajících životních podmínek pro současné i budoucí generace. Organizace spojených národů představila ve svém strategickém dokumentu [1] společné cíle v oblasti udržitelného rozvoje po roce 2015. Patří mezi ně snaha zefektivnit hospodaření s vodními a energetickými zdroji tak, aby byly všeobecně dostupné a nedocházelo k jejich zbytečnému plýtvání. Tyto priority vycházejí z odhadů, podle kterých více než miliarda světové populace trpí nedostatkem vody a pro další stamiliony je znečištěná voda příčinou zdravotních problémů [2]. Nedostatek dostupných energetických zdrojů pak může být jedním z důvodů, proč více než 80 % světově použité vody není před vypuštěním žádným způsobem upravováno [3].

PRŮMYSLOVÉ ODPADNÍ VODY

Na úrovni Evropské unie je vodohospodářská politika harmonizována směrnicí 2000/60/ES, jejímiž prioritami jsou mimo jiné snižování objemu odpadních vod a množství znečišťujících látek vypouštěných do vod či zajištění dostatečných vodních zásob pro období sucha [4]. V České republice jsou tyto požadavky promítnuty do příslušných právních předpisů a dlouhodobých koncepcí, např. [5, 6]. Přestože je v ČR dlouhodobě monitorován pokles odběrů vody a zvyšování podílu čištěných odpadních vod, zasluhuje si tato problematika zvýšenou pozornost. Podle údajů MŽP bylo v roce 2013 odebráno celkem 1649,8 mil. m³ vody, přičemž mezi hlavní odběratele patřila energetika (43,2 %), vodovody pro veřejnou potřebu (37,5 %) a průmysl (15,1 %) [7]. V evropských statistikách jsou energetika a průmysl zodpovědné za odběr přibližně 40 % veškeré vody [8]. V některých zemích (např. Německo, Nizozemí, Maďarsko) toto číslo přesahuje hranici 80 % [9]. Oba sektory jsou zároveň významnými znečišťovateli vody. Podle zdroje [8] je pouze 60 % odpadní vody z energetiky a průmyslu před vypuštěním upravováno. Nutno ovšem podotknout, že velkou část této odpadní vody tvoří chladicí voda pro účely výroby elektřiny, jejímž dominantním znečišťujícím prvkem je zvýšená teplota. V ČR je zastoupení hlavních emitentů odpadní vody srovnatelné s odběrateli. Konkrétní čísla lze nalézt ve zdroji [7]. Množství vody vypouštěné z energetických závodů kolísá v závislosti na aktuálně připojených provozech a v roce 2013 představovalo 31,9 % všech odpadních vod. Průmyslové odpadní vody bylo ve stejném období registrováno 282,4 mil. m³, tedy zhruba 15,3 % z celku. Hlavními sektorovými znečišťovateli jsou chemický, papírenský, těžební a potravinářský průmysl. Tato odvětví zatěžují vodní zdroje zejména organickými látkami a těžkými kovy. Objemově méně významným (0,4 % odpadních vod), ale přesto výrazným emitentem znečišťujících látek je zemědělství. Hlavním problémem tohoto odvětví není vypouštění z bodových zdrojů, ale vliv zemědělské činnosti na tzv. plošné znečištění, které se do povrchových a podzemních vod dostává splachem hnojiv a pesticidů ze zemědělské půdy. Obecně lze konstatovat, že jakost vody ve vodních tocích se v posledních dvaceti letech výrazně zvýšila. Přesto existují oblasti, kde redukce znečištění bude v příštích letech prioritou [10]. Konkrétní problémy jednotlivých povodí jsou mapovány Ministerstvem zemědělství v rámci příslušných přípravných dokumentů [11].

ODPADNÍ TEPLA Z PRŮMYSLU A JEHO VYUŽITÍ

Snaha o účinnější využívání primárních energetických zdrojů, která by měla omezit závislost Evropy na jejich importu a přispět ke snížení ekologické zátěže, se projevuje v řadě evropských dokumentů a směrnic. V rámci strategie Evropa 2020 a přijatého Energetického balíčku 20-20-20 se Evropská unie zavázala k redukci

emisí oxidu uhličitého o 20 % (oproti úrovni v roce 1990), poklesu spotřeby primárních energetických zdrojů o 20 % (v porovnání s projekcemi z roku 2007) a k navýšení podílu obnovitelných zdrojů v energetickém mixu na 20 % [12]. Všechny tři požadavky jsou úzce provázány. Spálení menšího množství primárních zdrojů znamená méně CO₂ uvolněného do atmosféry, zároveň se automaticky zvedá relativní zastoupení obnovitelných zdrojů. K úsporám primárních paliv nedochází pouze zvyšováním efektivity jednotlivých technologií či nahrazováním konvenčních energetických zdrojů za obnovitelné. Výrazných úspor lze dosáhnout integrací dílčích výrobních či zpracovatelských operací, tedy komplexním přístupem, jehož cílem je snížení energetické náročnosti procesu jako celku. Změrem tohoto přístupu je obvykle maximální využití dostupného odpadního tepla, respektive odpadních proudů obecně. Pod pojmem odpadní teplo lze rozumět energii obsaženou v jakémkoliv typu odpadního proudu (spaliny, chladicí voda, horký vzduch), který má teplotu převyšující teplotu okolního prostředí a jenž by za běžných podmínek odcházel z procesu bez využití. Odborná veřejnost se v definicích odpadního tepla rozchází, a to zejména ve vymezení jeho teplotních rozsahů. Podle [13] lze za vysokopotenciální odpadní teplo považovat zdroje o teplotě přesahující 500 °C, v oblasti od 150 do 500 °C pak mluví o teple se středním energetickým potenciálem. Nejčastěji přítomným zdrojem odpadního tepla je teplo nízkopotenciální (pod 150 °C), které je z logiky věci součástí jakéhokoli odpadního proudu přesahujícího teplotu okolí. Přestože je zastoupení nízkopotenciálního tepla výsadní, zůstává problémem jeho účelné využití, neboť energii o takto nízké teplotě lze uplatnit jen v omezeném množství průmyslových procesů. Tento fakt je jedním z důvodů, proč jsou v praxi velké objemy odpadního tepla mařeny. Tím dochází nejen k tepelnému znečištění okolního prostředí, ale i k plýtvání se zdroji energie [14]. Hlavními zdroji odpadního tepla jsou kombinovaná výroba elektřiny a tepla, spalovny odpadů, energeticky náročná průmyslová odvětví (chemický a petrochemický průmysl, hutnictví železa a neželezných kovů, průmysl stavebních hmot, papírenství apod.), geotermální pole, zařízení na energetické využití biomasy a sluneční záření [15].

Průmyslová výroba je kromě vody také významným konzumentem energií. V EU se na konečné spotřebě energií podílí 25 %, v ČR pak téměř 1/3, což odpovídá 3217 TWh, respektive 87,6 TWh [16]. Jaké celkové množství energie odchází z průmyslových procesů ve formě odpadního tepla je však obtížné

určit. Do mezinárodních statistik nejsou údaje o odpadním teple zahrnovány [15]. Podobná je situace v ČR, kde neexistuje subjekt, který by celostátní bilance tepelných energií zpracovával [17]. Dostupné jsou pouze dílčí statistiky zahrnující specifický okruh průmyslových podniků. Podle publikace [18] vydané ČSÚ bylo v roce 2013 v rámci transformačních procesů v energetice uvolněno zhruba 7,5 PJ (2,1 TWh) chemického a odpadního tepla. Toto číslo však nepostihuje veškeré teplo v jednotlivých provozech uvolněné a týká se převážně větších technologických jednotek. Navíc jde o statistiku vycházející z výkazů omezeného okruhu podnikatelských subjektů, které jsou registrovány k výrobě elektrické energie či tepla nebo mají za tímto účelem registrovanou jednotku. Uvedená hodnota tedy nezahrnuje velké množství průmyslových provozů, které teplo v rámci své činnosti produkují, ale nejsou za tímto účelem patřičně registrovány. Částečnou informaci o využití odpadní energie v průmyslových procesech nabízí analytický materiál MPO [19]. Podle tohoto dokumentu byly v rámci dotačních programů mezi roky 2007–2013 v průmyslových procesech upotřebeny téměř 2 PJ (0,66 TWh) odpadního tepla. Uvedená hodnota sice neodhaluje celý potenciál odpadního tepla v průmyslu, ale naznačuje, že dosažení výrazných úspor je v tomto směru reálné. Studie [15], jejímž cílem bylo mimo jiné podrobně zmapovat nejvýznamnější zdroje tepla v EU za účelem dalšího plánování v oblasti teplotnictví, předpokládá minimálně 64 PJ (17,8 TWh) odpadního tepla dostupného z průmyslových procesů v ČR. V měřítku celé EU se pak jedná o číslo 10 287 PJ (2 857,5 TWh). Zmíněné hodnoty odpovídají odhadům uvedeným ve zprávě [20], podle které 20 až 50 % vstupní energie odchází z průmyslových procesů nevyužito. Vezmeme-li v potaz dolní hranici 20 % a vztáhneme-li tento údaj na průmyslem v ČR ročně spotřebovaných 87,6 TWh, dostaneme hodnotu 17,5 TWh, která je v souladu se studií [15]. Volbu dolní procentní hranice ospravedlňuje fakt, že studie [15] zahrnuje pouze velké tepelné zdroje.

ODPAŘOVÁNÍ ODPADNÍCH VOD

Z uvedených faktů je zřejmé, že odpadního tepla odchází z průmyslových procesů velké množství. Zásadní otázkou zůstává, jakým způsobem ho využít. Při hledání vhodného řešení je třeba brát v úvahu skutečnost, že většinu

Tabulka 1. Výhody a nevýhody odpařování průmyslových odpadních vod

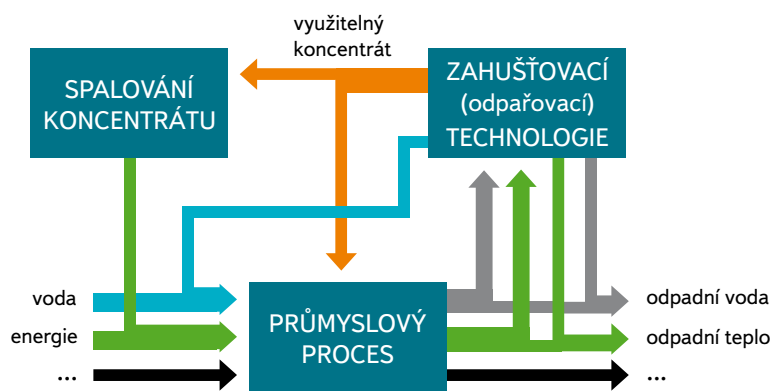
Table 1. The pros and cons of evaporation technologies for industrial wastewater treatment

Výhody	Nevýhody
Výrazné snížení objemu odpadních vod	Dodatečné investiční a provozní náklady pro provozovatele
Možnost využití odpadního (i nízkopotenciálního) tepla, a tím dosažení relativně nízké energetické náročnosti	Dodatečné prostorové nároky
Jednoduché a spolehlivé technologické procesy	V případě nevyhovující kvality produktů nutnost doplnění o další technologie
Využívané odpadní proudy (teplo a voda) jsou zpravidla dostupné na jednom místě, případně tvoří jeden a týž proud	Náklady na podpůrné chemické látky (snížování pH, ionizace, redukce pění)
Odpařená voda je dostupná přímo v provozu a může být okamžitě k dispozici	
Dostatečně zahuštěný koncentrát může být recyklován nebo využit k výrobě energií jako palivo	
Modulární charakter odpařovacích technologií umožňující jejich přestavbu či přemístění	
Kontinuální i vsádkový provoz	
Zahuštění koncentráту může být regulováno	

odpadního tepla představuje teplo nízkopotenciální, tedy do 150 °C. Podle autorů textu má vysoký potenciál využití odpadního tepla k odpařování (zahušťování) průmyslových odpadních vod. Ačkoliv je proces odpařování notoricky známým jevem, který nalézá uplatnění v širokém spektru lidské činnosti, jeví se jeho využití v kontextu současných okolností a environmentálních požadavků jako dostatečně zajímavá možnost, která by neměla být přehlížena. Odpařování odpadních vod s využitím přebytečného odpadního tepla může být jedním ze způsobů, jak naplnit závazky ČR ke snížení objemu odpadních vod a dosažení úspory 191,8 PJ primárních energetických zdrojů mezi lety 2014 a 2020 [19].

Aplikace odpařování na úpravu odpadních vod se může ve světle moderních a progresivních technologií jevit jako krok zpět. Při hlubším zamyšlení se však nabízí řada výhod, které mohou z odpařování učinit zajímavé řešení mnoha problémů. Přehled kladů a záporů nabízí *tabulka 1*.

Hlavní devízou odpařování je schopnost vytěžit maximum z odpadních proudů, které by jinak zůstaly nevyužity. Teoreticky je tímto způsobem možné nejen snížit objem odpadního tepla a vod odcházejících z průmyslové výroby, ale zároveň se nabízí příležitost zpětného využití získaných produktů – vody (destilátu) a látek zahuštěných v koncentráte (schematicky na *obr. 1*). Využitelnost těchto zdrojů bude samozřejmě závislá na jejich vlastnostech a charakteru daného průmyslového procesu. Nelze proto vyloučit potřebu dodatečné úpravy produktů před jejich recyklací (např. sušením). Zajímavou alternativou je možnost energetického využití koncentráte jeho spalováním. Ekonomická smysluplnost takového řešení bude vázána na dostupnost vhodného spalovacího zařízení, výhřevnost obsažených látek a na zbytkovou vlhkost koncentráte.



Obr. 1. Zjednodušené schéma hlavních toků spojených se zahušťováním odpadních vod
Fig. 1. Simplified flow diagram of the main process streams connected to wastewater thickening

ODPAŘOVACÍ TECHNOLOGIE

Proces odpařování se využívá v celé řadě aplikací. V zařízeních zvaných odparky dochází k odlučování nejtěkavější složky z roztoku, suspenze nebo emulze. Tímto způsobem se buďto získává nejtěkavější složka směsi (nejčastěji voda), nebo je cílem zahuštění roztoku. Odparky mohou být jedno- či vícečlenné, s cirkulací směsi nebo bez, pracující za atmosférických podmínek i za sníženého tlaku, s kontinuálním nebo vsádkovým provozem. Používají se např. k zahušťování mléka, ovocných šťáv nebo k výrobě koncentrovaných kapalných hnojiv [21]. Nejrozšířenější aplikací odparek je však odsolování mořské vody.

Odsolování slaných vod je oborem, jenž neustále nabývá na významu. V roce 2013 překročila celosvětově instalovaná kapacita odsolovacích jednotek hranici 80 mil. m³ čerstvé vody za den [22]. Přestože vůbec nejrozšířenější technologií je v současnosti reverzní osmóza, zaujímají tepelné metody (využívající

principu odpařování) v odsolovacím průmyslu nezastupitelnou roli. Patří mezi ně vícestupňová mžiková destilace (MSF), vícestupňové odpařování (MED) a komprese páry (VCD). Posledně jmenovaná technologie však není schopná efektivního využití odpadního tepla, proto jí dále nebude věnována pozornost. MSF a MED jsou dlouhodobě osvědčenými metodami, které jsou využívány zejména k vysokokapacitnímu odsolování (desítky tisíc m³ vyprodukované vody denně) slaných a brakických vod. Právě dlouhodobé provozní zkušenosti s vysoce agresivní slanou vodou dělají z těchto technologií vážné kandidáty na odpařování mnoha typů odpadních vod.

Vícečetupňové destilace

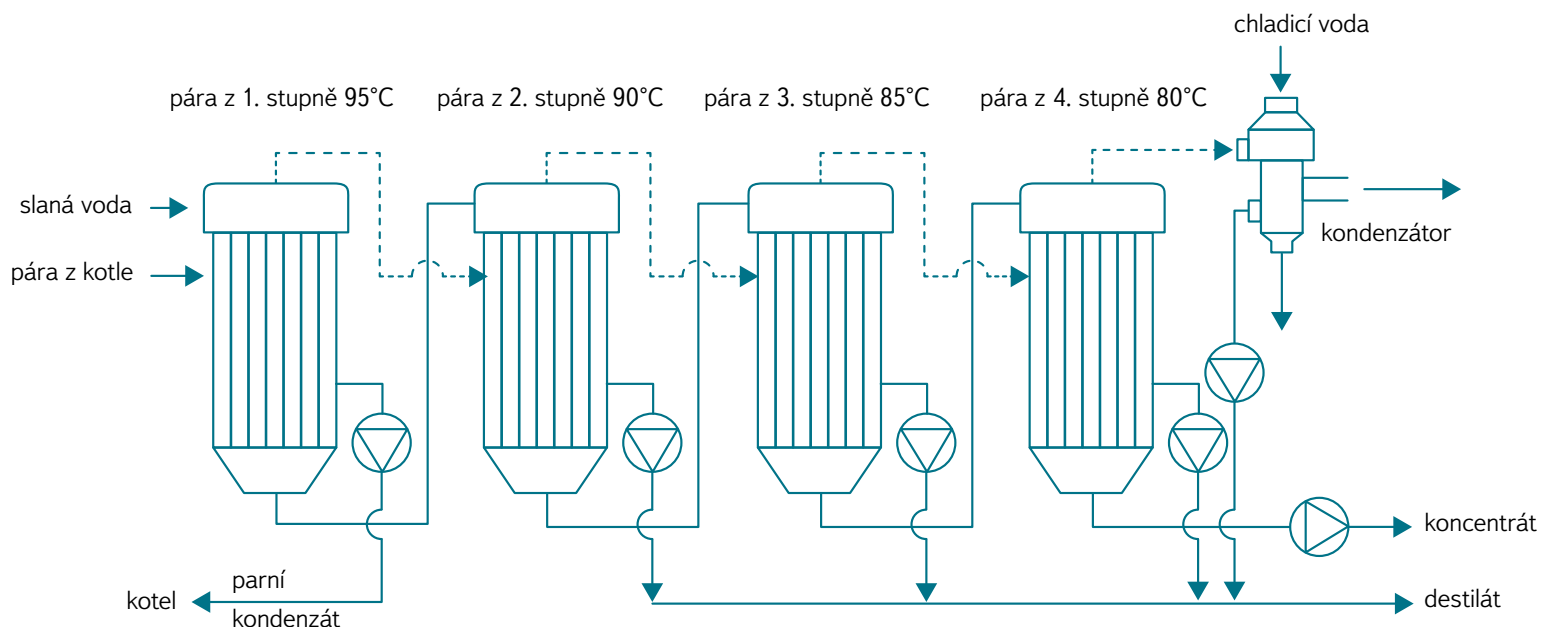
Technologie MED (Multi-effect distillation) je považována za termodynamicky vysoce efektivní. MED jednotka se obvykle skládá z několika stupňů (komor), ve kterých je postupně snižován tlak, a tím i bod varu. Slaná napájecí voda je ohřívána vodní parou vně nebo uvnitř kondenzačního potrubí, které prochází skrze komoru. Voda odpařená v jednom stupni je zdrojem tepla (páry) pro stupeň následující. Počet stupňů se volí s ohledem na dostupný teplotní spád a minimální přípustnou teplotní diferencii mezi sousedními komorami. Vstupní teplota napájecí vody se běžně pohybuje kolem 70 °C, čímž se technologie chrání před korozí [23]. Energetická náročnost metody se pohybuje kolem 3,8 kWh_e a 16,4 kWh_e na m³ destilované vody [24]. Příklad vícestupňové MED technologie je na *obr. 2*.

Vícečetupňová mžiková destilace

Také technologie MSF (Multi-stage flash distillation) je vysoce náročná na spotřebu tepelné energie a pracuje v několika stupních (obvykle více než 20) s postupně klesajícím tlakem (až 0,07 bar). Zpravidla nasycenou párou předehřátá slaná voda vstupuje do odpařovací komory. Zde dochází k prudkému mžikovému odpaření (tzv. flash) vlivem nerovnováhy mezi teplotou slané vody a rovnovážnou teplotou, která odpovídá podtlaku v komoře. Odpařená voda je přes odlučovače kapek (demistry) odváděna na teplosměnnou plochu, kde z kondenzuje a předá výparné teplo slané vodě, která nově vstupuje do procesu. Destilát je odváděn pryč z komory, zkoncentrovaná slaná voda postupuje do dalšího stupně. V konvenčních velkokapacitních závodech se teplota vstupní slané vody pohybuje od 90 do 120 °C, výstupní potom kolem 30 °C v závislosti na ročním období a teplotě okolí [26]. S vyšší teplotou roste výtěžnost technologie, ale zároveň s ní i míra usazování a koroze. Energetická náročnost procesu se uvádí kolem 5,2 kWh_e a 19,4 kWh_e na m³ destilované vody. Hlavními výhodami jsou jednoduchá konstrukce a provozní spolehlivost, vysoká kvalita destilátu a nízké nároky na předúpravu vstupní vody. Nevýhodami jsou problémy s korozí a vysoká spotřeba energií [23]. Jedná se v podstatě o tytéž přednosti a slabiny jako u metody MED. Příklad uspořádání MSF jednotky s recirkulací koncentráte je na *obr. 3*.

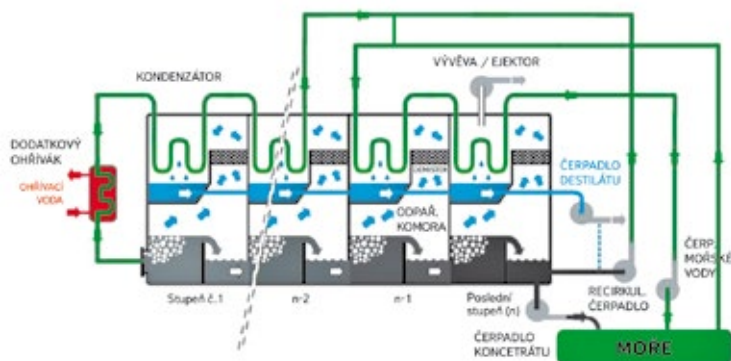
Využitelnost odsolovacích technologií

Obě představené technologie disponují schopností zahušťovat vstupující procesní kapalinu a z odpařené vody produkovat destilát o určité kvalitě. Jakost destilátu se bude samozřejmě lišit v závislosti na zvolených provozních podmínkách a složení napájecí vody, zejména na zastoupení těkavých látek, které se budou odpařovat při stejné či nižší teplotě než voda. Výhodou uvedených metod je kontinuální provoz a možnost pracovat při nízkých teplotách. Pakliže by se k jejich provozu využilo odpadní teplo z průmyslových procesů, jež je k dispozici de facto zadarmo, snížila by se výrazně energetická náročnost procesu, která je největší nevýhodou obou technologií.



Obr. 2. Schéma 4stupňové MED technologie [25]

Fig. 2. Schematics of the MED technology with 4 evaporating chambers [25]

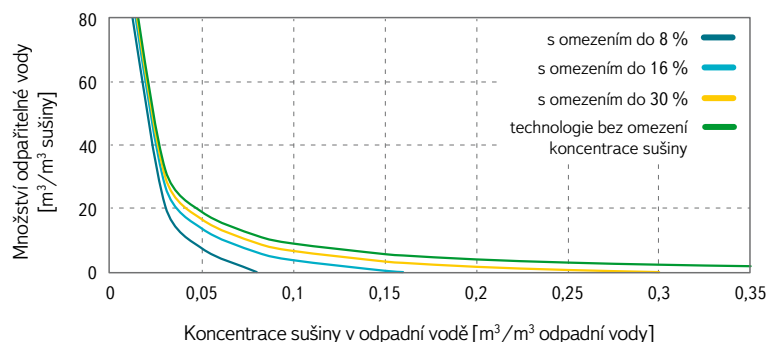


Obr. 3. Schéma MSF jednotky s recirkulací a předehřevem vstupní kapaliny [27]

Fig. 3. Schematics of the MSF technology with brine recirculation and preheater [27]

Kritickou hodnotou, jež bude omezena konstrukčním řešením odsolovacích zařízení, je stupeň zahuštění výstupního koncentrátu. S rostoucím obsahem sušiny ve zpracovávané odpadní vodě se zhoršují tokové vlastnosti kapaliny, zvyšují se požadavky na odolnost a výkon použitých čerpadel a prohlubuje se riziko sedimentace či dokonce ucpání celé technologie. Za nepumpovatelný se z tohoto pohledu označuje koncentrát s obsahem sušiny 16 % obj. a více [28]. Teoreticky je možné spekulovat o vhodné úpravě technologií a zapojení jiných typů čerpadel (pístová, plunžrová), která jsou schopná přečerpávat suspenze až s 40% koncentrací sušiny. Prakticky a ekonomicky však bude pravděpodobně lepší zapojení jiného typu odparek (např. vsádkové s michadlem), mechanických separátorů (odstředivky, lis) nebo sušáren (pro vyšší koncentrace). Teoretická výtěžnost vody odpařováním v závislosti na obsahu sušiny a hydraulických vlastnostech použité technologie je znázorněna na obr. 4. Omezení technologií z pohledu koncentrace sušiny vycházejí ze zkušeností autorů s kontinuálním odpařováním odpadních vod (8 %), z teoretické hranice pumpovatelnosti běžnými odstředivými čerpadly (16 %), z provozních možností objemových čerpadel (30 %) a z ideálního stavu, který nezohledňuje limity dostupných

technologií (bez omezení). Z grafu je mimo jiné zřejmé, že odpadní vody s minimálním obsahem sušiny mohou být zahušťovány s výrazně vyšší výtěžností. Dále je patrné, že zahušťování odpadních vod s vyšším obsahem sušiny bude spíše než recyklací vody motivováno požadavkem na redukcii objemu nebo zbytkové vlhkosti. Volba vhodné výstupní koncentrace znečišťujících látek by však neměla být ovlivněna pouze množstvím získané vody a objemem koncentrátu. V potaz je třeba brát i výslednou kvalitu destilátu, která se s rostoucí koncentrací některých látek v odpadní vodě může zhoršovat.



Obr. 4. Teoretická výtěžnost vody odpařováním v závislosti na obsahu sušiny v odpadní vodě

Fig. 4. Theoretical distillate yield as a function of a total solids content

Pro další úvahy nad využitím odsolovacího zařízení pro zahušťování odpadních vod byla zvolena technologie MSF. Důvodem je zejména fakt, že zařízení MED jsou konstrukčně složitější a náročnější na použité materiály. Při provozu s odpadní vodou se lze navíc obávat zanášení kondenzačního potrubí, jež je s odpařovanou kapalinou v neustálém kontaktu. Metoda MSF dostala přednost také proto, že je v současné době předmětem výzkumu na Fakultě strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně. Zkušenosti získané s provozem experimentální MSF jednotky se slanou i odpadní vodou tak mohou být promítnuty do dalších úvah.

MOŽNOSTI APLIKACE

Základním kritériem využitelnosti odpařování k zahušťování procesních vod je kvalita jeho produktů – destilátu a koncentrátu. Těžko lze předjímat požadavky konkrétních provozovatelů na jakost výstupních proudů a předkládat v tomto směru nějaká zásadní hodnocení. Některé průmyslové podniky mohou mít zájem na zpětném využití v koncentráte obsažených látek či na jeho spalování, v takovém případě bude hlavním cílem důkladné odvodnění koncentrátu a nebudou sledovány zákonné limity znečištění, jak by tomu bylo při vypouštění do kanalizace nebo povrchových vod. Podobně rozdílné požadavky budou souviset s jakostí destilátu. Pokud bude záměrem provozovatele pouhé zahuštění odpadních vod a získaná voda bude vypouštěna mimo průmyslový závod, bude pravděpodobně nutné dodržení stanovených limitů. Naopak zpětné využití destilátu v technologii s nízkými nároky na kvalitu vody bude znamenat snížení požadavků na separační schopnosti odpařovacího zařízení. Přes uvedené je zřejmé, že odpařování nelze použít pro úpravu jakékoliv odpadní vody. Následující příklady provedených experimentů nicméně naznačují, že jeho uplatnění může být vskutku široké. V představených studiích byly sledovány nejen úspěchy se separací konkrétních látek, ale i charakter využitých odpařovacích technologií.

Kovodělný průmysl

Autoři studie [29] se zabývali zahušťováním procesních vod z kovodělného průmyslu, který je výrazným producentem odpadní vody a při výrobě spotřebovává velké množství emulzí pro lubrikační a chladicí účely. Populární je v poslední době využívání tzv. vodou ředitelných emulzí, které mají nízký obsah oleje. Odstraňování oleje z těchto typů vod klasickými mechanickými metodami (usazování, odstředování, filtrace, ultrafiltrace) je podle autorů neefektivní, neboť emulze obsahují jen velmi malé (semisyntetické emulze) nebo vůbec žádné (syntetické emulze) kapičky oleje. Mechanické metody zároveň nezaručí nízké obsahy organických látek (CHSK) v upravené vodě. Studie dále konstatuje, že provozní vlastnosti odparek využívaných v průmyslu k zahušťování emulzí nebyly důkladně zkoumány a literatura se jim téměř nevěnuje. Přestože je odpařování v porovnání s jinými metodami energeticky náročnější, vykazuje voda získaná tímto způsobem z emulze mnohem lepší vlastnosti (nižší obsah organických látek) a možnosti jejího zpětného využití jsou tak širší. Zbytkový olejový koncentrát navíc disponuje poměrně malým obsahem vody, a je tedy vhodný pro spalování a výrobu energií. Experimenty probíhající v rotační vakuové odparce laboratorních rozměrů a v průmyslové odparce s padajícím filmem ukázaly, že vakuovým odpařováním lze ze semisyntetických a syntetických odpadních olejových emulzí získat vodu s obsahem organických látek nižších o 99 %. Zároveň se potvrdilo, že při vyšším přehřátí odpadní vody je efektivita vypařování vyšší, ale klesá kvalita získané vody.

K zahušťování vody z procesu moření mědi byla využita odparka s kompresí páry o kapacitě 350 m³ odpadní vody za den. Zpráva [30] hodnotící provedené experimenty konstatovala schopnost technologie získat až 96,7 % vody obsažené v původním objemu při celkové energetické náročnosti 13,9 kWh na m³ kondenzátu. Denně tak bylo ušetřeno zhruba 338 m³ vody, zároveň došlo k výrazné úspoře nákladů na skladování vody odpadní. V následném procesu je ročně z koncentráte získáváno 23 900 kg mědi a 170 700 kg sulfátů. Kvalitu produktů jednoho z proběhnuvších experimentů shrnuje *tabulka 2*.

Koksárenský průmysl

Zdroj [31] popisuje experimenty s odpařováním odpadních vod z koksáren. Testování probíhalo na laboratorní vakuové odparce. Získaný destilát byl v porovnání s výchozí odpadní vodou bez kyanidů, došlo k výraznému snížení obsahu NH₃-N (z 408 mg/L na cca 5 mg/L), pH a vodivosti (ze 17 110 μS/cm na cca 80). Naopak zastoupení organických látek (především fenolů) se odstranit nepodařilo a místy byla jejich koncentrace větší než v koncentráte. Ke snížení CHSK pod zákonný limit (ze 7 045 mg/L na cca 50) došlo až použitím podpůrného činidla v podobě sodného louhu, který snížil volatilitu fenolu jeho přeměnou na fenolátové ionty.

Farmaceutický průmysl

Ve studii [32] popisují autoři destilaci odpadní vody z farmaceutického průmyslu. Použitou destilační kolonu laboratorních rozměrů (průměr 4 cm, výška 1,2 m, 9 pater, vyplněná Raschigovými kroužky) sice nelze označit za odparku, principiálně však dosažené výsledky za relevantní označit lze. Odpadní voda s vysokým obsahem organických látek (CHSK až 300 000 mg/L) a halogenových organických sloučenin (AOX až 7 850 ppm) byla v koloně dělena na destilát (s koncentrovaným množstvím škodlivin) a destilační zbytek, který byl o tyto těkavé látky ochuzen a hromadil se v dolní části kolony. Přestože byl obsah CHSK na dně kolony snížen až o 95 %, nepodařilo se koncentraci dostat pod zákonný limit 1 000 mg/L. Zbytkový obsah organických látek se nepodařilo dostatečně odstranit ani některou z membránových metod (ultrafiltrace, nanofiltrace, reverzní osmóza), které autoři zhodnotili jako nevhodné pro odstraňování nevolatilních organických látek. Obsah halogenových sloučenin byl touto metodou úspěšně redukován až na 8 ppm.

Tabulka 2. Shrnutí analýzy koncentrace vybraných chemických prvků sledovaných ve studii [30]
Table 2. Summary of analytical results for the chemical parameters controlled in the study [30]

	Nerozpuštěné látky	Rozpuštěné látky	pH	Měď'	Olovo	Sulfáty	Vodivost
	mg/L	mg/L	–	mg/L	mg/L	mg/L	mS/cm
Odpadní voda	7,8	930	1,85	240	0,104	1 450	5,67
Kondenzát	< 5,0	49	2,0	3,15	< 0,005	14,25	0,14
Koncentrát	88,0	35 500	< 1,0	9 050	3,4	55 000	> 19,9

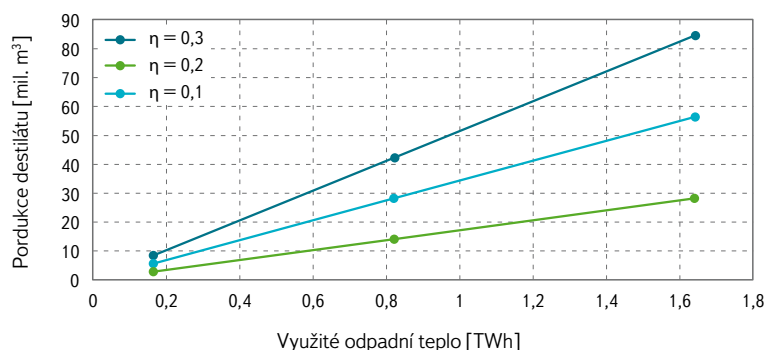
Zpracování biomasy

S cílem redukovat odpařováním objem digestátu (odpadní vody) z bioplynových stanic, a tím snížit náklady na jeho skladování a využití v zemědělské činnosti, byly provedeny experimenty popsané ve zdroji [33]. Zahušťování probíhalo v jedno- nebo dvoustupňové vakuové odparce. Klíčovým ukazatelem byla, vedle obsahu sušiny, přítomnost dusíku podle Kjeldhala. Zákonných limitů dusíku v destilátu, jež by v praxi umožnily vypouštění do povrchových vod, bylo dosaženo až aplikací vhodné kyseliny. Nižší pH digestátu eliminovalo volatili formy dusíku a umožnilo snížení jeho koncentrace až na úroveň 10 mg/kg z původních 4550 mg/kg.

POTENCIÁL ODPAŘOVÁNÍ V ČR

Zmíněné studie potvrzují potenciálně širokou využitelnost odpařování v průmyslových provozech a ukazují, že se může často jednat o smysluplné řešení problému. Zároveň ale naznačují určité slabé stránky přístupu. Tou bude zejména neschopnost vypořádat se s některými druhy volatiliálních látek, především dusíkatých a organických sloučenin. Základním typem řešení bude použití chemikálie snižující těkavost kritických látek nebo dodatečná úprava destilátu.

Nyní se pokusme alespoň rámcově kvantifikovat potenciál k odpařování odpadních vod v ČR. Při konstrukci tohoto odhadu budeme vycházet z údajů o průmyslově produkované odpadní vodě, dostupném odpadním teple (17,5 TWh) a ze známých provozních charakteristik konvenčních MSF odparek. Maximální možné množství odpadních vod, které mohou být upravovány v zahušťovacích zařízeních, se rovná roční produkci odpadních vod průmyslovými procesy, tj. 282,4 mil. m³. Jde samozřejmě o čistě teoretickou hodnotu, která nebude nikdy dosažena. Vytváří nám ale určitou horní hranici využitelnosti odpadního tepla ke sledovanému účelu. Optimální specifická spotřeba tepla MSF technologie na výrobu m³ destilátu $P_{dest}^{min} = 19,4$ kWh. Uvažujeme-li běžnou účinnost odpařování η_{max} (poměr mezi množstvím získaného destilátu a množstvím vstupující odpadní vody) 30 %, pak lze podle vztahu (1) stanovit specifickou tepelnou spotřebu = 5,82 kWh na m³ zpracované odpadní vody. Vztáhneme-li tuto hodnotu na celkově dostupnou odpadní vodu V_{ind} , pak podle (2) získáme maximální množství spotřebovaného odpadního tepla $Q_{wh,max} = 1,64$ TWh. Dostáváme se tak k důležitému závěru, tedy že k zahušťování průmyslových odpadních vod může být ročně využito nejvíce 1,64 TWh, tj. zhruba 9,4 % průmyslového odpadního tepla.

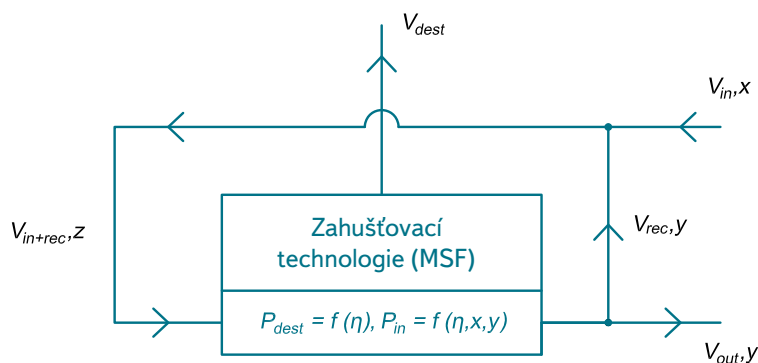


Obr. 6. Potenciální produkce destilátu v závislosti na využitém množství odpadního tepla pro různé hodnoty účinnosti odpařovací technologie (η)
Fig. 6. A potential distillate production as a function of waste heat utilized by an evaporation technology with a different level of efficiency (η)

$$P_{in}^{min} = P_{dest}^{min} \cdot \eta_{max} \quad [kWh/m^3] \quad (1)$$

$$Q_{wh,max} = P_{spec,th} \cdot V_{ind} \quad [TWh] \quad (2)$$

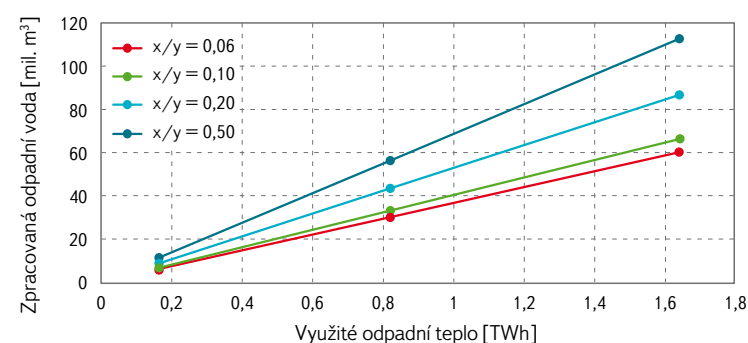
V dalším kroku se pokusme zbavit dvou zjednodušení. Za prvé je to předpoklad, že by v průmyslových provozech instalované odparky dosahovaly stejných účinností (měly stejnou specifickou spotřebu tepla) jako velkoobjemové odsolovací MSF jednotky. V praxi lze očekávat výstavbu spíše menších MSF jednotek s nižším počtem odpařovacích komor (stupňů), a tedy s nižší účinností. Dalším zjednodušením je představa provozu zahušťovací MSF jednotky bez recirkulace. Ta bude nezbytná tam, kde bude požadováno zahuštění koncentráту nad úroveň odpovídající jednorázovému průchodu odpadní vody technologií. Obecné schéma s recirkulací části koncentráту je naznačeno na obr. 4. Jak účinnost, tak míra zahuštění budou individuálními parametry konkrétních zařízení. Spíše než volit konkrétní hodnoty se proto pokusíme odvodit obecné vztahy, které naznačí, jakým způsobem mohou tyto veličiny ovlivnit ekonomiku provozu odparek.



Obr. 5. Obecné schéma zapojení zahušťovací technologie s částečnou recirkulací koncentráту

Fig. 5. General schematics of the thickening technology arrangement with a partial recirculation of the concentrate

Legenda: V_{in} je objemový průtok odpadní vody; V_{dest} objemový průtok destilátu; V_{in+rec} objemový průtok na vstupu do odparky; V_{rec} objemový průtok v recirkulační větvi; V_{out} objemový průtok koncentráту; x, y a z jsou objemové koncentrace, η je účinnost odpařování technologie a P značí specifickou spotřebu tepla proudu



Obr. 7. Množství odpadní vody potenciálně upravitelné zahuštěním v závislosti na množství využitého odpadního tepla a zahušťovacím poměru (x/y), při 30% účinnosti odpařovací technologie (η)
Fig. 7. An amount of potentially treatable wastewater by the means of evaporation as a function of waste heat utilized and a thickening ratio (x/y), at the efficiency level of 0.3

Základními parametry, které bude provozovatel volit při návrhu MSF jednotky, budou nejspíše objemový průtok zpracovaných odpadních vod V_{in} , objemová koncentrace sledované látky ve vstupující odpadní vodě x , objemová koncentrace sledované látky na výstupu y (v koncentrátu i v recirkulační větvi) a účinnost odpařování η . Nyní jsme schopni dopočítat objemový průtok koncentrátu V_{out} podle (3), objemový průtok v recirkulační větvi V_{rec} podle (4), objemový průtok na vstupu do odparky V_{in+rec} podle (5), objemovou koncentrací sledované látky na vstupu do odparky z podle (6) a konečně objemovou produkci destilátu V_{dest} podle (7). Nárůst specifických tepelných spotřeb pak bude přímo úměrný poklesu účinnosti zařízení u P_{dest} (8). Spotřebu P_{in} vztaze-nou k objemu zpracované odpadní vody bude ovlivňovat také zahušťovací poměr (9).

$$V_{out} = \frac{x}{y} \cdot V_{in} \quad [m^3/hod] \quad (3)$$

$$V_{rec} = \frac{V_{in} \cdot (1-\eta-x/y)}{\eta} \quad [m^3/hod] \quad (4)$$

$$V_{in+rec} = V_{in} + V_{rec} \quad [m^3/hod] \quad (5)$$

$$z = \frac{V_{in} \cdot x + V_{rec} \cdot y}{V_{in+rec}} \quad [-] \quad (6)$$

$$V_{dest} = V_{in+rec} \cdot \eta \quad [m^3/hod] \quad (7)$$

$$P_{dest} = \frac{P_{dest}^{min} \cdot \eta^{max}}{\eta} \quad [kWh/m^3] \quad (8)$$

$$P_{in} = P_{dest} \cdot \frac{V_{dest}}{V_{in}} = P_{dest} \cdot (1-x/y) \quad [kWh/m^3] \quad (9)$$

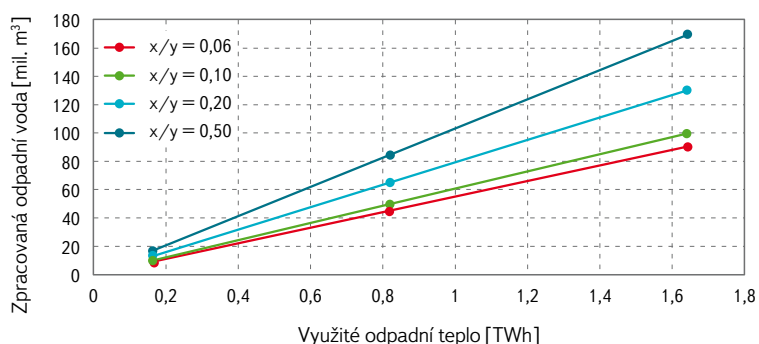
Nyní je možné postupovat ve výpočtu opačným směrem a určit, jaké množství destilátu bude vyprodukováno a jaký objem odpadní vody bude zpracován při zadání konkrétního množství odpadního tepla Q_{wh} , účinnosti odpařovacího zařízení η a zahušťovacího poměru x/y . Výsledky ve vybraných bodech prezentují obr. 6 až 9. Ze zobrazených dat je zřejmé, že poměrně malý zlomek odpadního tepla z průmyslových procesů může přispět k úpravě a redukcí značné části odpadních vod, nemluvě o zpětném využití odpařené vody ve výrobních procesech. Při využití 164 GWh, jež představují pouhých 0,94 % dostupného odpadního tepla, lze ročně ušetřit miliony m^3 vody a o toto množství zredukovat objem vypouštěných odpadních vod. Prezentovaná čísla samozřejmě nerespektují řadu reálných problémů a zahrnují spoustu zjednodušení, zejména pak to, že odpařování bude (s ohledem na kvalitu jeho produktů) vhodné k úpravě všech typů odpadních vod. Přesto lze konstatovat, že potenciál k zahušťování odpadních vod odpařováním (s využitím MSF či jiné vhodné technologie) je v ČR obrovský a zaslouží si bližší studium.

ZÁVĚR

Cílem předložené studie nebylo hodnocení problémů spojených s odpařováním odpadních vod v konkrétních průmyslových provozech, ale spíše obecné nastínění potenciálu a příležitostí, které se pro odpařovací technologie (metodu MSF) v tomto směru nabízejí. Úspěšnost a účelnost odpařování bude vždy záviset na celé řadě faktorů, zejména pak na složení odpadní vody a termofyzikálních vlastnostech jejích složek, ekonomických okolnostech konkrétního průmyslového provozu, zákonných či jiných požadavcích na kvalitu výstupů a specifických místních podmínkách. Hlavními motivy pro provozovatele nebudou jistě environmentální a společenské výhody odpařování, ale spíše ekonomické benefity. Hospodářská smysluplnost integrace odpařovacích technologií do průmyslové praxe by měla být navazujícím předmětem studia, ke kterému předkládaná práce nabízí některé podklady. Prezentované výsledky ukazují, že při využití pouhých 0,94 % (164 GWh) odpadního tepla, jež vychází ročně bez využití z průmyslové výroby, může být zahušťováním upraveno až 16,9 mil. m^3 odpadních vod a zpětně do procesů dodáno až 8,5 mil. m^3 destilátu.

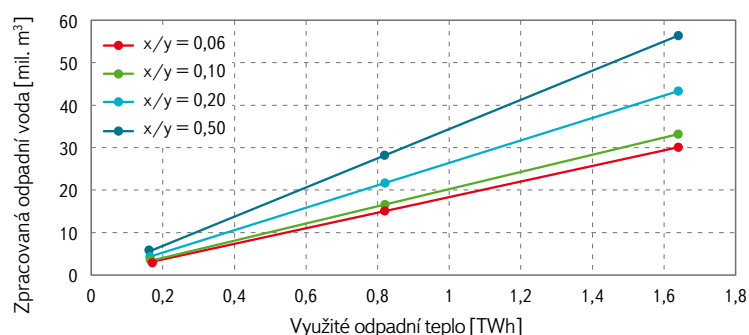
Poděkování

Tento článek vznikl v rámci projektu LO1202 za finanční podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci Národního programu udržitelnosti I.



Obr. 8. Množství odpadní vody potenciálně upravitelné zahuštěním v závislosti na množství využitého odpadního tepla a zahušťovacím poměru (x/y), při 20% účinnosti odpařovací technologie (η)

Fig. 8. An amount of potentially treatable wastewater by the means of evaporation as a function of waste heat utilized and a thickening ratio (x/y), at the efficiency level of 0.2



Obr. 9. Množství odpadní vody potenciálně upravitelné zahuštěním v závislosti na množství využitého odpadního tepla a zahušťovacím poměru (x/y), při 10% účinnosti odpařovací technologie (η)

Fig. 9. An amount of potentially treatable wastewater by the means of evaporation as a function of waste heat utilized and a thickening ratio (x/y), at the efficiency level of 0.1



Literatura

[1] Document n.: A/68/970: Report of the Open Working Group of the General Assembly on Sustainable Development Goals. United Nations. 12. srpen 2014. Dostupné z: undocs.org/A/68/970.

[2] *The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk*. 4. ed. Paříž: UNESCO, nedatováno. ISBN 978-92-3-104235-5.

[3] Corcoran, E. *Sick Water?: The Central Role of Wastewater Management in Sustainable Development: a Rapid Response Assessment*. UNEP/Earthprint, 2010. ISBN 978-82-7701-075-5.

[4] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky*.

[5] *Koncepce vodohospodářské politiky Ministerstva zemědělství do roku 2015* [online]. Ministerstvo životního prostředí, 2012, [cit. 24. září 2015]. Dostupné z: eagri.cz/public/web/mze/voda/osveta-a-publikace/publikace-a-dokumenty/koncepce-vodohospodarske-politiky.

[6] *Zákon č. 254/2001 Sb. (vodní zákon) v platném znění*.

[7] Odběry vody – vyhodnocení indikátoru. *Informační systém statistiky a reportingu. Ministerstvo životního prostředí*. [online]. 17. prosinec 2014 [cit. 16. září 2015]. Dostupné z: issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1573.

[8] Förster, J. Cooling for electricity production dominates water use in industry. *Statistics in focus*, 2014, vol. 2014, n. 14, p. 12. ISSN 2314-9647.

[9] AQUASTAT database, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *FAO* [online]. 2015 [cit. 14. září 2015]. Dostupné z: www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html

[10] Jakost vody – vyhodnocení indikátoru. *Informační systém statistiky a reportingu. Ministerstvo životního prostředí*. [online]. 29. prosinec 2014 [cit. 24. září 2015]. Dostupné z: issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1579.

[11] Předběžný přehled významných problémů nakládání s vodami zjištěných v části mezinárodní oblasti povodí Labe/Odry/Dunaje na území České republiky. *Ministerstvo zemědělství* [online]. 21. květen 2014 [cit. 24. září 2015]. Dostupné z: eagri.cz/public/web/mze/voda/planovani-v-oblasti-vod/priprava-planu-povodi-pro-2-obdobi/zverejnene-informace/predbezny-prehled-vyznamnych-problemu.html.

[12] *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Energy 2020, A strategy for competitive, sustainable and secure energy. COM(2010) 639 final.* [online]. European Commission. 10. listopad 2010. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0639:FIN:En:PDF>.

[13] MA, G., J. Cai, W. Zeng, and H. Dong. Analytical Research on Waste Heat Recovery and Utilization of China's Iron & Steel Industry. *Energy Procedia* [online]. 2012, vol. 14, 2011 2nd International Conference on Advances in Energy Engineering (ICAEE), p. 1022–1028. ISSN 1876-6102. Dostupné z: doi:10.1016/j.egypro.2011.12.1049.

[14] Wang, D., X. Ling, H. Peng, L. Liu, and L. Tao. Efficiency and optimal performance evaluation of organic Rankine cycle for low grade waste heat power generation. *Energy* [online]. 2013, vol. 50, p. 343–352. ISSN 0360-5442. Dostupné z: doi:10.1016/j.energy.2012.11.010.

[15] Connolly, D., B. Vad Mathiesen, P. A. Østergaard, B. Møller, S. Nielsen, H. Lund, D. Trier, U. Persson, S. Werner, J. Grözinger, T. Boermans, and M. Bosquet. *Heat roadmap Europe 2050: Second pre-study for EU27* [online]. Euroheat & Power. 27. květen 2013. Dostupné z: www.euroheat.org/Downloads-167.aspx.

[16] Final energy consumption by sector. *Eurostat* [online]. 2013, [cit. 24. září 2015]. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=tsdpc320&language=en>.

[17] *Metodické vysvětlivky (náplně ukazatelů) ke zpracování ročního statistického výkazu EP 10-01* [online]. Český statistický úřad. 30. září 2014. Dostupné z: www.czso.cz/documents/10180/20556761/15015214.m.pdf/b3ccffa5-adcb-4f8c-814a-665ce3c9f392?version=1.0.

[18] Transformační procesy v energetice – 2013. *Český statistický úřad* [online]. 30. září 2014. Dostupné z: www.czso.cz/csu/czso/transformacni-procesy-v-energetice-2013-yjsnu736td.

[19] *Doplňující analytický materiál k návrhu aktualizace Státní energetické koncepce* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. Prosince 2014. Dostupné z: www.mpo.cz/dokument158012.html.

[20] *Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in U.S. Industry*. Industrial Technologies Program. U.S. Department of Energy. Dostupné z: http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste_heat_recovery.pdf.

[21] Hasal, P., I. Schreiber, D. Šnita et al. *Chemické inženýrství I*. 2. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2007. ISBN 978-80-7080-002-7.

[22] *Global desalination capacity growing substantially, finds study* [online]. [cit. 11. únor 2015]. Dostupné z: www.waterworld.com/articles/2013/10/global-desalination-capacity-tops-80-million-cubic-meters-per-day.html.

[23] Khawaji, A.D., I.K. Kutubkhanah, and J. Wie. Advances in seawater desalination technologies. *Desalination* [online]. 2008, vol. 221, n. 1–3, European Desalination Society and Center for Research and Technology Hellas (CERTH), Sani Resort 22 –25 April 2007, Halkidiki, Greece European Desalination Society and Center for Research and Technology Hellas (CERTH), Sani Resort, p. 47–69. ISSN 0011-9164. Dostupné z: doi:10.1016/j.desal.2007.01.067.

[24] NG, K.CH., K. Thu, S.J. Oh, L. Ang, M.W. Shahzad, and A.B. Ismail. Recent developments in thermally-driven seawater desalination: Energy efficiency improvement by hybridization of the MED and AD cycles. *Desalination* [online]. 2015, vol. 356, State-of-the-Art Reviews in Desalination, p. 255–270. ISSN 0011-9164. Dostupné z: doi:10.1016/j.desal.2014.10.025.

[25] Van Der Bruggen, B. and C. Vandecasteele. Distillation vs. membrane filtration: overview of process evolutions in seawater desalination. *Desalination* [online]. 2002, vol. 143, n. 3, p. 207–218. ISSN 0011-9164. Dostupné z: doi:10.1016/S0011-9164(02)00259-X.

[26] El-Dessouky, H., H.I. Shaban, and H. Al-Ramadan. Steady-state analysis of multi-stage flash desalination process. *Desalination* [online]. 1995, vol. 103, n. 3, p. 271–287. ISSN 0011-9164. Dostupné z: doi:10.1016/0011-9164(95)00080-1.

[27] Hájek, Z. *Výzkum zařízení pro úpravu mořské vody a další aplikace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 148 s. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Zdeněk Jegla, Ph.D.

[28] *Průvodce výrobou využitím bioplynu* [online]. CZBiom – Českésdruženíprobiomasu. Praha:2009. Dostupné z: http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeef66875530f33e8a/Pruvodce_vyrobou_vyuzitim_bioplynu_2.pdf.

[29] Gutiérrez, G., J.M. Benito, J. Coca, and C. Pazos. Vacuum Evaporation of Waste Oil-in-Water Emulsions from a Copper Metalworking Industry. *Industrial & Engineering Chemistry Research* [online]. 2009, vol. 48, n. 4, p. 2100–2106. ISSN 0888-5885. Dostupné z: doi:10.1021/ie801054d.

[30] *Evaluation of Hadwaco MVR Evaporator*. DIANE Publishing, March 2002. ISBN 978-1-4223-3100-2.

[31] Mao, W., H. Ma, and B. Wang. Performance of batch vacuum distillation process with promoters on coke-plant wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal* [online]. 2010, vol. 160, n. 1, p. 232–238. ISSN 1385-8947. Dostupné z: doi:10.1016/j.cej.2010.03.053.

[32] Tóth, A.J., F. Gergely, and P. Mizsey. Physicochemical treatment of pharmaceutical process wastewater: Distillation and membrane processes. *Periodica Polytechnica: Chemical Engineering* [online]. 2011, vol. 55, n. 2, p. 59–67. ISSN 0324-5853. Dostupné z: doi:10.3311/pp.ch.2011-2.03.

[33] Chiumenti, A., F. Da Borso, R. Chiumenti, F. Teri, and P. Segantini. Treatment of digestate from a co-digestion biogas plant by means of vacuum evaporation: Tests for process optimization and environmental sustainability. *Waste Management* [online]. 2013, vol. 33, n. 6, p. 1339–1344. ISSN 0956-053X. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2013.02.023.

Autoři

Ing. Mgr. Marek Vondra

✉ vondra@upej.fme.vutbr.cz

Ing. Petr Bobák, Ph.D.

✉ bobak@fme.vutbr.cz

Ing. Vítězslav Máša, Ph.D.

✉ masa@fme.vutbr.cz

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství,
NETME Centre & Ústav procesního inženýrství

Příspěvek prošel lektorským řízením.

WASTE HEAT UTILIZATION FOR INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT

VONDRA, Marek; BOBAK, Petr; MASA, Vitezslav

Brno University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering,
NETME Centre & Department of Process Engineering

Key words: wastewater – waste heat – industry –
evaporation – thickening – multi-stage flash distillation

This paper deals with an industrial wastewater treatment utilizing waste heat from related industrial processes. More than 280 mil. m³ of wastewater is produced yearly and much more is consumed by the industrial sector in the Czech Republic. It is also a significant consumer of different energy sources. Unfortunately, more than 17.5 TWh of thermal energy leaves annually from the industry without any form of utilization. This study proposes a possible solution, which is capable of reduction of industrial wastewater on one side and effective utilization of industrial excess heat on the other. For this purpose, well-proven desalination technologies (Multi-effect distillation and multi-stage flash distillation) are briefly introduced and their typical operational parameters are discussed. Simple design and reliable operation are one of the main advantages of these methods, while low specific energy consumption would be another plus, if the industrial waste heat could be utilized. Wide range of different wastewater could be treated by the means of evaporation, as it is presented in many studies. Interesting experimental results from these studies on metalworking, coke, pharmaceutical or biological wastewater treatment are further discussed. Finally, the potential of wastewater treatment by the means of multi-stage flash distillation in the Czech Republic is thoroughly considered and several calculations are done. The results indicate huge potential of this approach. With only 0.94 % of the overall industrial waste heat utilized, the evaporation technology is capable of decreasing water consumption in the industry by 8.5 mil. m³ per year.

Kvalita kalů a odpadů z domovních a malých ČOV a možnosti jejich využití v zemědělství

MILOŠ ROZKOŠNÝ, HANA HUDCOVÁ, MIROSLAV PLOTĚNÝ, RADEK NOVOTNÝ, JANA MATYSÍKOVÁ

Klíčová slova: kal – sediment – kompost – septik – usazovací nádrž – domovní ČOV – anaerobní ČOV – kořenová ČOV – stabilizační nádrž

SOUHRN

Cílem článku je představit dílčí části řešení projektů TA02020128 a TA02021032. Tyto části řešení zpracovávaly problematiku kvality kalů a dalších odpadů z domovních a malých čistíren (do přibližně 1000 EO) využívajících aktivační, anaerobní a extenzivní (tzv. přírodní, nebo také přírodě blízké) procesy čištění, zahrnující i kořenové čistírny s vertikálními nebo horizontálními filtry a stabilizační nádrže. Tyto čistírny se uplatňují pro čištění komunálních odpadních vod také v České republice, a to pro zdroje velikosti od jednotlivých domů až po obce do 2000 EO. Výzkumné práce zahrnovaly monitoring, vzorkování a analýzy kalů různě odvodněných a stabilizovaných. Dále monitoring a analýzy ostatních odpadů produkovaných na sledovaných ČOV, z objektů mechanického předčištění, kořenových filtrů (vegetace makrofyt, filtrační materiál kolmatovaný kalem) a ze stabilizačních nádrží (sedimenty, vegetace makrofyt). Prezentovány jsou výsledky analýz vzorků kalů a dalších materiálů z několika ČOV velikosti do přibližně 800 EO z období 2006 až 2014 a výsledky pokusného kompostování těchto materiálů.

ÚVOD

Cílem článku je představit dílčí části řešení projektů TA02020128 a TA02021032 (informace o projektech jsou dostupné na webových stránkách např. www.vuv.cz). Prezentovaná část řešení zpracovává problematiku kvality kalů a dalších odpadů z domovních a malých čistíren (do přibližně 1000 EO) využívajících aktivační, anaerobní a extenzivní (tzv. přírodní nebo také přírodě blízké) procesy čištění, zahrnující i kořenové čistírny s vertikálními nebo horizontálními filtry a stabilizační nádrže. Tyto čistírny se uplatňují pro čištění komunálních odpadních vod také v České republice, a to pro zdroje velikosti od jednotlivých domů až po obce do 2000 EO. Prezentovány jsou výsledky analýz vzorků kalů a dalších materiálů z ČOV z období 2006 až 2014 a výsledky pokusného kompostování těchto materiálů.

Při použití kalu ke hnojení půdy je třeba věnovat pozornost možné kontaminaci půdy, podzemní, popř. povrchové vody a ovzduší. Vyloučení kontaminace půdy a rostlin na ní pěstovaných lze dosáhnout dodržáním koncentračních limitů kontaminujících látek v kalu. V České republice je v platnosti vyhláška č. 382/2001 Sb., kde vedle technických a organizačních podmínek aplikace jsou vymezeny kvalitativní ukazatele, jejichž dodržení je nezbytné pro eliminování negativních účinků kalu vlivem přítomnosti kontaminantů. Důležitým ukazatelem pro případnou aplikaci, zejména kvůli okamžité možnosti kontaminace, je mikrobiální kontaminace kalů. Proto jsou zmíněnou vyhláškou stanoveny i dvě kategorie kalů z hlediska jejich mikrobiální kontaminace a použitelnosti v zemědělství. Přípustné pro zemědělskou aplikaci jsou jen stabilizované kaly.

Stabilizace kalů, anaerobní i aerobní, vychází z technických parametrů při tomto zpracování – u anaerobní stabilizace z doby zdržení kalu ve fermentoru a teploty, přičemž technický stupeň vyhnití lze hodnotit z úbytku organické hmoty. Je všeobecně známo, že hygienické vlastnosti kalu se jeho stabilizací výrazně zlepšují, přesto však ani dokonale stabilizovaný kal není materiálem zcela nezávadným [1]. Na úrovni Evropské unie je platná směrnice pro použití kalů v zemědělství [2]. Z hlediska procesu hygienizace patří mezi důležité místní předpisy technická norma TNV 758090 [3].

METODIKA

V období 2006 až 2014 proběhlo vzorkování kalů objektů mechanického předčištění extenzivních (kořenových) ČOV, sedimentů dočišťovacích nádrží extenzivních ČOV, kolmatovaných filtračních materiálů kořenových filtrů a biomasy makrofyt.

Z extenzivních ČOV byly sledovány dvě domovní kořenové čistírny, projektované pro zatížení 4 EO a 20 EO, a dvě komunální čistírny s projektovým zatížením 200 a 800 EO, napojené na jednotné kanalizační sítě [4].

Technologická linka kořenových ČOV:

1. ČOV 800 EO – šterbinová nádrž (obr. 2) jako objekt mechanického předčištění, navazující kořenové filtry horizontální s podpovrchovým kontinuálním prouděním a dočišťovací stabilizační nádrž;

2. ČOV 200 EO – usazovací nádrž podélnou prizmatického tvaru s boční vyhnívací komorou (obr. 3), navazující kořenové filtry horizontální s podpovrchovým kontinuálním prouděním a dočišťovací stabilizační nádrž. Návrhové parametry jsou obvyklé těmto systémům [5]. Napojení ČOV na jednotné kanalizační sítě znamená vnos smyvů ze střešních konstrukcí, z komunikací a dalších pevných částic a mohou být zatíženy těžkými kovy a dalšími polutanty [6–8].

Technologická linka obou domovních kořenových ČOV zahrnuje biologický septik (obr. 4) jako objekt mechanického předčištění a navazující kořenový filtr horizontální s podpovrchovým kontinuálním prouděním. Na obě čistírny jsou napojeny pouze splaškové vody produkované čtyřmi obyvateli v prvním případě (ČOV pro 4 EO) a deseti obyvateli ve druhém případě (ČOV pro 20 EO).

Druhá čistírna byla dimenzována na průměrné zatížení až 20 EO, z důvodu víkendových a prázdninových společenských a kulturních akcí v areálu objektu.

V rámci projektu TA02021032 byl vyvinutý inovovaný septik (obr. 5), který byl také sledován v poloprovodním režimu.

Druhou skupinu sledovaných čistíren odpadních vod tvořily čistírny anaerobně-aerobní typu Anacomb s návrhovým zatížením od 5 EO do 200 EO [9, 10] (obr. 1). Jedná se o typ tzv. „balených“ (vestavných) čistíren kombinujících

sekcí čištění vody v anaerobních podmínkách a sekci čištění vody s provzdušňováním, tedy sekci typickou pro aktivační čistírny (obr. 1).

Vzorky kalů byly odebrány časově jako bodové, ale prostorově směsné. Vzorky byly odebrány z kalové sekce anaerobních a aktivačních ČOV. U extenzivních ČOV byly odebrány z objektů mechanického předčištění (vyhňivacích prostor šterbinových usazovacích nádrží, prostor septiků a akumulacích prostor lapáků písku). Vzorky sedimentů z nádrží byly odebrány také jako časově bodové, ale prostorově směsné, a to pomocí pístového odběráku. Vzorky byly umístěny do vzorkovnice z PE a v chladnu přepraveny do laboratoře. V laboratoři byly vzorky homogenizovány, lyofilizovány a dále zpracovány k analýzám – stanovení sušiny, ztráty žíháním, makroelementy (Ca, Mg, K, Na, Mn, Fe), těžké kovy (tabulka 2 a 4), ukazatele mikrobiálního znečištění fekální koliformní bakterie a enterokoky, obsah dusíku a fosforu. Analýzy byly prováděny podle akreditovaných postupů. Vzorky materiálu kolmatovaného uniklým kalem byly odebrány z kořenových filtrů jako časově a prostorově bodové. Vzorky byly odebrány z povrchu (vrstva 0–10 cm) a z hloubky (vrstva 30–40 cm) vždy v hlavní čistící zóně, mimo rozdělovací a sběrné zóny s hrubším kamenivem. Pro stanovení nutrientů, makroelementů a rizikových prvků byla separována frakce pod 0,063 mm. Vzorky biomasy byly sbírány v případě makrofyty kosením ze čtverce 0,25 × 0,25 m v průběhu celého roku. Po odběru byla biomasa vysušena a dále analyzována.



Obr. 3. Šterbinový lapák písku (vlevo) a pohled na usazovací nádrž s boční vyhňivací komorou (vpravo) komunální kořenové ČOV

Fig. 3. Slot sand trap (left) and a view of settling tank with lateral digestion chamber (right) used as a part of municipal constructed wetland WWTP



Obr. 1. Pohled na jednotlivé sekce anaerobně-aerobních ČOV (vlevo pro 5 EO, vpravo pro 200 EO)

Fig. 1. View of individual sections of anaerobic-aerobic WWTP (left WWTP 5 p. e., right WWTP 200 p. e.)



Obr. 4. Příklad sledovaného biologického vícekomorového septiku domovní kořenové ČOV – umístění na pozemku, přístupové otvory

Fig. 4. An example of multi-compartment biological septic tank of a household constructed wetland WWTP – situation at the land, access holes



Obr. 2. Šterbinová usazovací nádrž komunální kořenové ČOV

Fig. 2. Slot (Imhoff) settling tank used as a part of municipal constructed wetland WWTP



Obr. 5. Příklad sledovaného biologického vícekomorového septiku vyvinutého v rámci projektu TA02021032 Anasep – umístění na pozemku, pohled do jednotlivých sekcí během provozu

Fig. 5. An example of multi-compartment biological septic tank developed within the research project TA02021032 Anasep – situation at the land, view of individual compartments during operation

VÝSLEDKY

Vyhodnocení vzorků kalů a sedimentů z extenzivních (kořenových) ČOV

S výjimkou jednoho vzorku se zvýšeným obsahem mědi nebylo v celém období sledování 2006 až 2014 zjištěno překročení obsahu rizikových prvků (těžkých kovů) a látek (PCB, AOX) z hlediska vyhlášky č. 382/2001 Sb. (limity pro těžké kovy jsou uvedeny v *tabulce 2*). Obsah rizikových prvků ve vzorcích kalů z usazovacích nádrží kořenových čistíren byl následující: 5–9 mg/kg As, 0,1–0,9 mg/kg Cd, 32–54 mg/kg Cr, 62–586 mg/kg Cu, 0,1–0,7 mg/kg Hg, 24–36 mg/kg Ni, 18–55 mg/kg Pb, 165–1 120 mg/kg Zn. Rozsah obsahu AOX byl zjištěn v rozmezí 10–152 mg/kg (limit dle vyhlášky č. 382/2001 Sb. je 500 mg/kg). Rozsah obsahu PCB byl zjištěn v rozmezí 0,01–0,28 mg/kg (limit dle vyhlášky č. 382/2001 Sb. je 0,6 mg/kg). Ve vzorcích sedimentů z dočišťovacích nádrží byl zjištěn menší podíl organických spalitelných látek (o přibližně 50 až 70 %) než v kalech z předčištění. Také je patrný úbytek obsahu mědi, zinku a PCB zřejmě v souvislosti s jejich dobrou akumulací nejen do kalu, ale i do makrofytní vegetace kořenových filtrů [11]. Sediment nádrže za ČOV pro 200 EO byl výrazně méně zatížen než sediment z nádrže za ČOV pro 800 EO. Detailní údaje k obsahu rizikových prvků obou nádrží publikovali Rozkošný a Sedláček [4]. Analýzy mikrobiálního znečištění kalů a sedimentů (enterokoky, termotolerantní koliformní bakterie) neprokázaly nadlimitní zatížení, vzorky vyhovovaly limitům stanoveným vyhláškou č. 382/2001 Sb. Množství fekálních koliformních bakterií bylo zjištěno v kalech v rozpětí hodnot 1×10^3 – 1×10^5 KTJ/g sušiny. Množství enterokoků bylo zjištěno v rozmezí 1×10^5 – 9×10^5 KTJ/g sušiny. Přítomnost salmonel nebyla zjištěna. Ve vzorcích sedimentů dočišťovací nádrže ČOV pro 800 EO bylo zjištěno množství fekálních koliformních bakterií v rozmezí 0 – 6×10^2 KTJ/g sušiny, enterokoků 0 – 1×10^3 KTJ/g sušiny. Mikrobiální koncentrace je tedy výrazně nižší než v případě kalů z předčištění a prakticky splňuje limity I. kategorie kalů podle zmíněné vyhlášky a v případě těžby je možné je aplikovat obecně na zemědělské pozemky.

Vyhodnocení vzorků kalů ze septiků domovních extenzivních (kořenových) ČOV

Obsah rizikových prvků ve vzorcích kalů ze septiků domovních kořenových čistíren byl následující: 2–4 mg/kg As, 1–1,5 mg/kg Cd, 8–43 mg/kg Cr, 128–161 mg/kg Cu, 0,3–0,6 mg/kg Hg, 10–28 mg/kg Ni, 8–14 mg/kg Pb, 550–1 100 mg/kg Zn. Vzorky měly sušinu 3–6 % a ztrátu žíháním 60–85 %. Obsah dusíku byl v rozmezí 20–30 g/kg sušiny a obsah fosforu 5–14 g/kg sušiny. Složením tedy kaly ze septiků prakticky řádově odpovídají složení kalů z balených ČOV kategorie do 10 EO (*tabulky 1 a 2*). Mikrobiální znečištění nebylo z důvodu finančních prostředků provedeno.

Vyhodnocení vzorků kalů z aktivačních a anaerobních ČOV typu Anacomb

Obsahy těžkých kovů ve všech vzorcích kalů z uvedených ČOV nepřekračovaly limitní hodnoty stanovené pro využití kalů v zemědělství (*tabulka 2*). Výjimkou byl kal z jedné ČOV kategorie do 200 EO s nadlimitním obsahem zinku (*tabulka 2*). Kal z jiné ČOV do 200 EO se v koncentraci zinku blížil stanovenému limitu. Množství kovů a makroelementů v kalech se lišilo také podle typu vod napojených na jednotlivé ČOV, protože do části z nich byly napojeny také menší průmyslové provozovny. U kalů ČOV kategorie do 10 EO byly zjištěny menší obsahy chromu, arsenu, rtuti, niklu, olova a zinku. V *tabulce 1* jsou uvedeny obsahy dusíku, fosforu a makroelementů. Sušina kalů a obsah spalitelných organických látek se u obou kategorií ČOV pohybovaly v prakticky stejném rozmezí.

Tabulka 1. Obsah makroelementů a nutrientů ve vzorcích pevných matric anaerobně-aerobních ČOV Anacomb (hodnoty uvedeny jako: min–max/průměr)

Table 1. Contents of macroelements and nutrients in samples of solid matrices of the anaerobic-aerobic WWTPs Anacomb (range of min–max values/average value of the whole data set)

Parametr (g/kg sušiny)	ČOV do 10 EO	ČOV do 200 EO
N	18,8–50,4 / 29,6	23,5–57 / 37,7
P	2,9–12,6 / 7,5	5,8–35,1 / 13,2
K	0,64–2,1 / 1,27	2,0–6,7 / 3,5
Na	0,65–1,41 / 1,1	1,0–2,4 / 1,6
Fe	2,2–8,8 / 4,1	2,8–18,3 / 10,0
Mn	0,04–0,12 / 0,08	0,04–0,3 / 0,16
Al	1,7–9,9 / 4,7	1,3–26,7 / 14,9
Sušina (%)	2–14 / 9	5–12 / 9
Ztráta žíháním (%)	53–92 / 80	53–88 / 71

Oproti kalům anaerobně stabilizovaným z objektů mechanického předčištění extenzivních ČOV obsahovaly kaly všech balených čistíren kategorie do 10 EO výrazně vyšší množství mikroorganismů (ukazatele enterokoky a fekální koliformní bakterie). Množství fekálně koliformních bakterií se pohybovalo v rozpětí 1×10^5 – $3,7 \times 10^7$ KTJ/g sušiny a množství enterokoků v rozpětí $2,5 \times 10^4$ – $1,6 \times 10^7$ KTJ/g sušiny. Pro případné využití kalů v zemědělství by bylo nutné jejich další zpracování, nebo odvoz ke zpracování v rámci kalového hospodářství větší ČOV, což se u všech sledovaných lokalit provádí.

Tabulka 2. Obsah rizikových prvků a sloučenin ve vzorcích pevných matric anaerobně-aerobních ČOV Anacomb (hodnoty uvedeny jako: min–max/průměr)

Table 2. The content of hazardous elements and compounds in samples of solid matrices of the anaerobic-aerobic WWTPs Anacomb (range of min–max values/average value of the whole data set)

Parametr (mg/kg sušiny)	ČOV do 10 EO	ČOV do 200 EO	Limitní hodnoty (vyhl. č. 382/2001 Sb.)
As	0–2,8 / 1,9	1–10 / 4,6	30
Cd	0,4–3,2 / 1,5	0,4–2,3 / 1,1	5
Cr	12,3–24,1 / 17,9	21,8–96,3 / 53,1	200
Cu	106–463 / 193	122–197 / 154	500
Hg	0,19–1,77 / 0,79	0,54–1,5 / 1,1	4
Ni	5,3–17 / 10,8	8,6–31,5 / 20,1	100
Pb	6,2–21,9 / 12,2	10,5–39,3 / 21,9	200
Zn	505–1260 / 853	855–3580 / 1712	2 500

Filtrační materiál kořenových filtrů

Změny filtračních materiálů kořenových filtrů podrobně zkoumala např. Hyánková [12], Švehla a kol. [11], Suchý a kol. [13] apod. Autoři uvádí změny pórovitost a hydraulické vodivosti filtračních materiálů v důsledku kolmatace v čase. Procentní podíl kalu v sušně filtračního materiálu se pohyboval v jednotkách procent. V částech kořenových filtrů několika ČOV nejvíce zasažených kolmatací byly zjištěny hodnoty 10 až 16 % kalu v sušně materiálu. Se vzdáleností od nátoku vod do kořenových filtrů podíl kalu klesal, a to u všech ČOV sledovaných v mnoha studiích výše uvedenými autory. Tyto poznatky potvrzují také průzkumy filtračních materiálů kořenových filtrů ČOV Dražovice, Hostětín, Myslibořice, Olší nad Oslavou a Pavlínov prováděné VÚV TGM, v.v.i., Brno v letech 2008 až 2012. Podíl spalitelných organických látek (ztráta žiháním) v sušně filtračních materiálů obsahujících jednotky procent kalu byl zjištěn do 3 %. V roce 2012 byly odebrány vzorky z kořenových filtrů ČOV Dražovice pro zjištění obsahu nutrientů, makroelementů a rizikových prvků. Ztráta žiháním vzorků z oblasti nátokových zón činila 13 až 19 %, z oblasti odtokových zón do 5 %. Obsah vybraných prvků ve frakci pod 0,063 mm byl následující: celkový dusík 19–36,4 g/kg sušiny, celkový fosfor 2,5–8,5 g/kg, Na 0,5–1,1 g/kg, K 3–10 g/kg, Ca 19–85 g/kg, Mg 4,9–8,6 g/kg, Al 12,6–35,2 g/kg, Fe 8–27 g/kg, Mn 0,27–0,37 g/kg sušiny. Obsah rizikových prvků ve stejné frakci byl v následujících rozmezích: As 4,9–9,9 mg/kg, Cd 0,5–1,1 mg/kg, Cr 20,3–95,3 mg/kg, Cu 123–453 mg/kg, Hg 0,18–0,64 mg/kg, Ni 26,9–372 mg/kg, Pb 13,6–42,7 mg/kg, Zn 679–310 mg/kg sušiny. Množství rizikových prvků tedy opět nepřekračuje limitní hodnoty dané vyhláškou o použití kalů v zemědělství a všechny zjištěné údaje odpovídají složení vzorků kalu z let 2006 až 2012 odebraných z usazovací nádrže, což bylo možné předpokládat. Suchý a kol. [13] uvádí ve vzorcích separovaných kalů z kolmatovaných filtračních materiálů kořenových filtrů sedmi kořenových čistíren stáří 2–6 let následující průměrné hodnoty: celkový fosfor 3 g/kg sušiny, Na 0,6 g/kg, K 2,1 g/kg, Mg 3,7 g/kg, Ca 77 g/kg, Al 6 g/kg, Fe 5 g/kg, Mn 0,08 g/kg, As 2 mg/kg, Cd 0,2 mg/kg, Cr 40,2 mg/kg, Cu 18,5 mg/kg, Hg 0,08 mg/kg, Ni 14,9 mg/kg, Pb 15,5 mg/kg a Zn 273 mg/kg. Zjištěné hodnoty tedy řádově odpovídají námi provedeným rozborům. Mikrobiální zatížení kolmatovaných materiálů bylo zjištěno nižší než v případě vlastních kalů z mechanického předčištění, obsah fekálních koliformních bakterií byl v rozpětí $4,4 \times 10^4$ – 1×10^6 KTJ/g sušiny, obsah enterokoků $7,6 \times 10^3$ – 9×10^5 KTJ/g sušiny. Lze předpokládat, že po vyplavení kalu objektů mechanického předčištění a jejich sedimentace ve filtračních materiálech kořenových filtrů dochází k jejich stabilizaci, a to v aerobních až anaerobních podmínkách podle tloušťky vrstvy naplaveného materiálu.

Biomasa makrofyty z povrchu kořenových filtrů

Dalším odpadem produkovaným provozem kořenových čistíren odpadních vod je biomasa makrofytní vegetace, kterou jsou osázeny tzv. kořenové filtry. Provozní přístupy k údržbě této vegetace jsou různé, od stavu, kdy není biomasa sklízena prakticky od začátku provozu čistírny, přes každoroční spalování v jarních obdobích přímo na povrchu filtrů, až po kosení a sklizení v různých obdobích roku (během vegetačních sezon, na podzim, ke konci zimy) v různém časovém intervalu (každoročně, jednou za několik let). S vývojem aplikace této čistírenské technologie v České republice je možné konstatovat, že pravidelné sklizení vegetace makrofyty vede k její lepší regeneraci (bez sklizení postupem času vegetace řídne, mění se její složení, dochází k náletu a rozvoji druhotné vegetace druhů náročných na živiny), lepší kontrole povrchu filtrů a nedochází k akumulaci biomasy z rozkladu staré vegetace na povrchu filtrů. Množství akumulované hmoty bylo zjištěno u kořenových filtrů bez sklizení vegetace po dobu cca 10 let v rozmezí 2 až 4 cm. Charakter materiálu se blíží kompostu (vlastní pozorování autorského týmu). Výsledky rozborů vzorků biomasy rákosu (*Phragmites australis*) a chrastice (*Phalaris arundinacea*), tedy dvou základních druhů využívaných při realizaci kořenových ČOV v České republice, uvádí podrobně Vymazal a kol. [14] a Vymazal a kol. [15].

NAKLÁDÁNÍ SE SLEDOVANÝMI MATERIÁLY

V roce 2012 bylo zahájeno pokusné zpracování odpadů z extenzivních ČOV (kaly, kolmatovaný filtrační materiál, makrofytní vegetace kořenových filtrů) kompostováním. Postupně bylo připraveno několik sad pokusných kompostů s využitím odpadních materiálů extenzivních ČOV (stabilizovaný kal, filtrační materiál kolmatovaný uniklým kalem a obohacený zbytky po rozkladu biomasy vegetace, sklizená makrofytní vegetace z kořenových filtrů a biomasa z kosení trávníků v areálu ČOV). V roce 2014 tyto pokusy zaměřené na extenzivní ČOV byly rozšířeny o další typy ČOV a jimi produkované odpady (kaly z procesu čištění) u zdrojů do 1 000 EO. V tabulce 3 až 5 jsou uvedeny výsledky analýz konečných produktů (kompostů) z procesu kompostování odpadů a kalů produkovaných komunální kořenovou ČOV pro 800 EO po ukončení dvou sérií pokusů.

LEGENDA K OZNAČENÍ VZORKŮ K5 AŽ K8

- K5 – biomasa + filtrační materiál s kalem uniklým z usazovací nádrže (akumulace kalu po dobu cca 13 let) – horní polovina kompostéru
- K6 – biomasa + filtrační materiál s kalem uniklým z usazovací nádrže (akumulace kalu po dobu cca 13 let) – dolní polovina kompostéru
- K7 – biomasa + kaly z objektů mechanického předčištění – horní polovina kompostéru
- K8 – biomasa + kaly z objektů mechanického předčištění – dolní polovina kompostéru

Tabulka 3. Obsah vybraných nutrientů ve vzorcích kompostů z extenzivní (kořenové) ČOV (hodnoty uvedeny jako: 1. série / 2. série)

Table 3. Content of nutrients in samples of composts from constructed wetland WWTP (1st batch / 2nd batch)

Parametr (g/kg sušiny)	K5	K6	K7	K8
N	1,61 / –	0,48 / –	1,48 / –	0,33 / –
P	8,72 / 8,41	2,43 / 4,78	4,11 / 2,69	2,95 / 1,76
Sušina (%)	54,2 / 47,2	92,1 / 68,7	68,6 / 80,4	95,7 / 88,5
Ztráta žiháním (%)	32,9 / 29,1	9,80 / 13,1	26,2 / 8,9	6,99 / 10,5

Tabulka 4. Obsah těžkých kovů ve vzorcích kompostů z extenzivní (kořenové) ČOV (hodnoty uvedeny jako: 1. série / 2. série)

Table 4. Content of heavy metals in samples of composts from constructed wetland WWTP (1st batch / 2nd batch)

Parametr (mg/kg sušiny)	K5	K6	K7	K8
As	13,4 / 12	7,9 / 8,6	9,4 / 7,4	3,9 / 3,6
Cd	1,31 / 1,1	0,32 / 0,71	0,68 / 0,24	0,28 / 0,15
Cr	105 / 77,9	44,4 / 54,8	55,8 / 45,8	22,6 / 27,2
Cu	395 / 385	92,3 / 306	243 / 108	1620 / 104
Hg	0,575 / 0,644	0,132 / 0,406	0,245 / 0,118	0,101 / 0,139
Ni	43,0 / 52,3	25,6 / 37,1	31,6 / 31,6	17,9 / 19,8
Pb	44,3 / 56,7	20,6 / 40,3	28,0 / 25,7	25,1 / 24,8
Zn	2130 / 1780	314 / 1200	887 / 311	309 / 347

Tabulka 5. Mikrobiologické ukazatele ve vzorcích kompostů z extenzivní ČOV (hodnoty uvedeny jako: 1. série / 2. série)

Table 5. Microbial contamination of the samples of composts from constructed wetland WWTP (1st batch / 2nd batch)

Parametr (KTJ/g sušiny)	K5	K6	K7	K8
Fek. kolif. bakterie	74 / 0	130 / 0	0 / 0	0 / 0
Enterokoky	2 340 / 127	11 / 44	1 060 / 473	84 / 113

Jak vyplývá z dlouhodobých sledování kalů z objektů mechanického předčištění extenzivních ČOV, nepřekračuje jejich kontaminace rizikovými prvky a látkami a mikrobiální znečištění limitní hodnoty dané vyhláškou pro použití kalů v zemědělství. Mikrobiální znečištění kalů je však poměrně proměnlivé v závislosti na míře stabilizace. Pro dosažení větší stability míry kontaminace by bylo dobré více hlídat probíhající procesy, případně zvolit mezistupeň stabilizace kalů před jejich použitím v zemědělství. Podobné zkušenosti ze zahraničí uvádí např. Oleszkiewicz [16] a Uggetti [17]. Jednou z možností je kompostování [17, 18]. Tento proces přináší pozitivní změny vstupních materiálů a jejich nižší kontaminaci. Možnost uplatnění kalů v zemědělství se však vyvíjí v období, kdy provádíme sledování podle dohody mezi provozovateli a zemědělsky hospodařícími subjekty. V obdobích, kdy není zájem ze strany těchto subjektů o kaly, je nutné jejich vyvážení na jiné komunální ČOV s kalovým hospodářstvím, což je i pro provozovatele finančně náročnější.

Kaly z balených ČOV všech kategorií do 200 EO, které byly sledovány, jsou vyváženy obvykle dodavateli ČOV k dalšímu zpracování v rámci kalového hospodářství větších komunálních ČOV. Kaly ze septiků domovních extenzivních (kořenových) ČOV nebyly od zahájení jejich provozu (roky 2010 a 2011) prozatím vyváženy. Prakticky hlavním problémem pro přímou aplikaci kalů z tzv. „balených“ ČOV (sledovány vybrané typy ČOV a anaerobními a aerobními sekcemi) v zemědělství je jejich zjištěná mikrobiální kontaminace. Je tedy nutné kaly odvážet k další stabilizaci a snížení mikrobiální kontaminace.

Výskyt kalů na povrchu kořenových filtrů souvisí s jejich vyplavováním při hydraulickém přetížení ČOV a nebo s jejich bytněním a vyplouváním k hladině, odkud jsou vodou unášeny dále na filtry, v případě, že v usazovacím prostoru nejsou dostatečně navrženy normé stěny. Vyplavování kalů v obou případech je u šterbinových nádrží spojeno zřejmě s tím, že nejsou dostatečně prostupné šterbiny (také v důsledku bakteriálních nárůstů) a dochází k usazování kalů v prostoru nad šterbinami, odkud jsou následně vyplavovány, nebo unikají při bytněním. U jiných typů nádrží a u septiků je příčinou nevhodný návrh konstrukcí objektů, nebo obtížné a nedostatečné odkalování pozorované u nádrží s bočními vyhnívacími komorami, kdy je kal přepouštěn do komor ode dna.

Biomasu makrofyty je možné využít pro kompostování. Naprosto nevhodným způsobem údržby je spalování této vegetace, zejména přímo na povrchu biofiltrů.

Kontaminace sedimentů dočišťovacích nádrží nepřekračuje limity pro jejich využití v zemědělství. Mikrobiální kontaminace odebraných vzorků byla velmi nízká. Zjištěné hodnoty umožňují přímé využití v případě těžby těchto sedimentů.

ZÁVĚR

Průzkum způsobů hospodaření s produkovanými odpady sledovaných ČOV ukázal, že zatím nejsou zpracovávány jako surovina, pouze stabilizované kaly jsou v některých případech využívány pro hnojení zemědělských pozemků. Z tohoto důvodu byly práce zaměřeny na ověření možností kompostování

odpadových materiálů a ověření jejich aplikace při pěstování vybraných plodin (výsledky pokusů nebyly k datu zpracování příspěvku kompletní). Prozatímni výsledky kompostování prokázaly výrazné snížení mikrobiálního zatížení odpadů z ČOV a obsah poměrně velkého množství makroelementů využitelných vegetací při aplikaci výsledného produktu kompostování. Pozornost je však nutné věnovat obsahu těžkých kovů, protože ke snížení jejich obsahu kompostováním prakticky nedochází, výsledný obsah je výsledkem poměru míchání jednotlivých složek a při aplikaci je nutné mít informace o obsahu těchto kovů v půdě, kde se předpokládá aplikace kompostů. Je nutné zdůraznit, že biologicky dostupná bude pouze část těchto rizikových prvků. Pro praktickou aplikaci je nutné porovnat s požadavky a limitními hodnotami danými technickou normou k průmyslovým kompostům [19].

Poděkování

Prezentace byla vytvořena za podpory projektů TA02020128 Výzkum možností optimalizace provozu a zvýšení účinnosti čištění odpadních vod z malých obcí pomocí extenzivních technologií a TA02021032 Anaerobní separátor nerozpuštěných látek a nutrientů.

Literatura

- [1] Malý, J. Zneškodňování odpadních látek z malých ČOV. In: *Nové poznatky při řešení vegetačních kořenových čistíren*. Sborník ze semináře. Brno: VUT FAST ÚVHK, 1998, s. 65–69.
- [2] Council of the EU. Council Directive 86/278/EEC on the Protection of the Environment, and in Particular of the Soil, when Sewage Sludge is Used in Agriculture, 1986.
- [3] TNV 758090. Hygienizace kalů v čistírnách odpadních vod. ÚNMZ, 2015.
- [4] Rozkošný, M. a P. Sedláček. Dočištění odtoků z kořenových čistíren odpadních vod stabilizačními nádržemi. *VTEI*, roč. 55, č. 1, 2013, s. 7–12. ISSN 0322-8916, příloha *Vodního hospodářství*, č. 2/2013.
- [5] Šálek, J. a V. Tlapák. *Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod*. Praha: ČKAIT, 2006, 283 s.
- [6] Hvited-Jacobson, T. and Y.A. Yousef. Highway Runoff Quality, Environmental Impacts and Control. In: *Highway Pollution* (Hamilton, R. S. and Harrison, R. M., eds). Amsterdam: Elsevier, 1991, p. 165–208.
- [7] Sansalone, J.J. Adsorptive infiltration of metals in urban drainage – media characteristics. *Sci. Tot. Env.*, 235, 1999, p. 179–188.
- [8] Bäckström, M., S. Karlsson, L. Bäckman, L. Folkesson, and B. Lind. Mobilisation of heavy metals by deicing salts in a roadside environment. *Wat. Research*, vol. 38, 2004, p. 720–732.
- [9] Gašparíková, E. a I. Bodík. Zhodnotenie prevádzky domových čistiarní odpadových vôd. *Vodní hospodářství*, roč. 54, č. 7, 2004. ISSN 1211-0760.
- [10] <http://www.bazeny.sk/asio/index.php?l=sk&s=3> (poslední přístup 12. 10. 2015).
- [11] Švehla, J., J. Vymazal, L. Kröpfelová aj. Vybrané stopové prvky v sedimentech kořenových čistíren. In: *Monitoring těžkých kovů a vybraných rizikových prvků při čištění odpadních vod v umělých mokřadech* (GAČR 206/06/0058). Třeboň: ENKI, 2008, s. 69–77.
- [12] Hyánková, E. *Vlastnosti filtračního prostředí pro přírodní způsoby čištění odpadních vod*. Disertační práce. Brno: ÚVHK FAST VUT, 2005, 86 s., přílohy.
- [13] Suchý, V. aj. Odstraňování vybraných rizikových prvků z komunálních odpadních vod do kalu na kořenových čistírnách. *Bulletin. Vodňany: VÚRH*, roč. 45, č. 4, 2009.
- [14] Vymazal, J. aj. Trace metals in *Phragmites australis* and *Phalaris arundinacea* growing in constructed and natural wetlands. *Science of the Total Environment*, vol. 380, 2007, p. 154–162.
- [15] Vymazal, J. aj. Trace elements in *Phragmites australis* growing in constructed wetlands for treatment of municipal wastewater. *Journal of Ecological Engineering*, vol. 35, 2009, p. 303–309.
- [16] Oleszkiewicz, J.A. and D.S. Mavinic. Wastewater biosolids: An overview of processing, treatment and management. *Journal of Environmental Engineering Science*, n. 1, 2002, p. 75–88.
- [17] Uggetti, E., I. Ferrer, E. Llorens, D. Güell, and J. García. Properties of Biosolids from Sludge Treatment Wetlands for Land Application. In: Vymazal, J. (ed). *Water and Nutrient Management in Natural and Constructed Wetlands*. Springer, 2010, p. 9–20, ISBN 978-90-481-9584-8.
- [18] Nielsen, S. and N. Willoughby. Sludge treatment and treatment wetlands systems in Denmark. *Water and Environmental Journal*, vol. 19, 2005, p. 296–305.
- [19] ČSN 46 5735. Průmyslové komposty. ÚNMZ. 1991.



Autoři

Ing. Miloš Rozkošný, Ph.D.¹

✉ milos_rozkosny@vuv.cz

Ing. Hana Hudcová^{1,3}

✉ hana_hudcova@vuv.cz

Ing. Miroslav Plotěný²

✉ mploteny@asio.cz

Ing. Radek Novotný¹

✉ radek_novotny@vuv.cz

Ing. Jana Matysíková²

✉ matysikova@asio.cz

¹Výzkumný ústav vodohospodářský TGM, v.v.i., pobočka Brno

²ASIO, spol. s r. o

³Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí

Příspěvek prošel lektorským řízením.

QUALITY OF SLUDGES AND WASTES FROM HOUSEHOLD AND SMALL WASTEWATER TREATMENT PLANTS AND THEIR UTILIZATION IN AGRICULTURE MANAGEMENT

ROZKOSNY, M.¹; HUDCOVA, H.^{1,3}; PLOTENY, M.²; NOVOTNY, R.¹; MATYSIKOVA, J.²

¹TGM Water Research Institute, p.r.i., Brno branch

²ASIO, Ltd.

³Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Environmental Sciences

Key words: sludge – sediment – compost – septic – settling tank – household WWTP – anaerobic WWTP – constructed wetland – stabilization pond

The aim of this article is to introduce partial sections of the research projects TA02020128 and TA02021032 (Technology Agency of the Czech Republic). These parts of the projects pay attention to the issue of quality of sludge and other wastes produced in wastewater treatment plants (WWTP) using activated sludge process, anaerobic processes (including septic) and extensive (natural) wastewater treatment plants (with horizontal subsurface flow reed-beds), which also include mechanical pre-treatment. The research work covers monitoring and analysis of sludge in different stage of dewatering and digestion. It also covers monitoring and analysis of other wastes produced by the treatment processes in mechanical pre-treatment facilities, reed-beds (macrophyta vegetation, clogged filtration materials) and stabilization ponds (sediments, macrophyta vegetation) built as a part of natural wastewater treatment plants. There are presented results of analysis from a few WWTP up to approx. 800 p.e. from the period 2006–2014 and results of experimental composting of the mentioned materials.



Brněnská přehrada v roce 2009. Snížená hladina vody, jako jedno z opatření proti nadměrnému rozvoji sinic. Pohled z levého břehu proti Rakovci směrem k hrázi.

Autoři VTEI

Mgr. Martin Caletka

VÚV TGM, v.v.i., Brno

✉ martin_caletka@vuv.cz
www.vuv.cz



Pracovník oddělení hospodaření s vodou ve VÚV TGM, v.v.i., od roku 2013. V roce 2013 dokončil magisterský stupeň studia oboru Fyzická geografie na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity v Brně. V současnosti je také studentem doktorského studijního programu a v rámci svého studia se zaměřuje na možnosti identifikace konvektivních cílů na radarových snímcích a modelování s využitím GIS. Podílí se na řešení projektů Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozními jevy přírodě blízkými opatřeními v ČR a Systém řízení a monitoringu vodohospodářské infrastruktury.

Ing. Milena Forejtníková

VÚV TGM, v.v.i., Brno

✉ milena_forejtnikova@vuv.cz
www.vuv.cz



Zaměstnancem oddělení ochrany jakosti vod na brněnské pobočce VÚV TGM, v.v.i., je od roku 1989. V roce 1980 ukončila obor Vodní hospodářství a vodní stavby na Fakultě stavební Vysokého učení technického v Brně a v roce 1985 obor Hydrobiologie – hydroekologie na UJEP v Brně. Zabývá se zejména jakostí povrchových vod a zdrojů jejich znečišťování. Jako hlavní řešitelka vedla projekty s touto tematikou včetně projektů řešených ve spolupráci s Rakouskem. Podílí se na řešení i řady dalších témat, v současné době je např. hlavní řešitelkou projektů Identifikace významných území s kulturně historickými hodnotami ohrožených přírodními a antropogenními vlivy (Program NAKI) a Analýzy a hodnocení sociálně ekonomických dopadů na rozvoj společnosti v územích chráněných pro akumulaci povrchových vod (Program TAČR – OMEGA).

Ing. Miloš Rozkošný, Ph.D.

VÚV TGM, v.v.i., Brno

✉ milos_rozkosny@vuv.cz
www.vuv.cz



Vystudoval VUT v Brně, Fakultu stavební v oboru Vodní hospodářství a vodohospodářské stavby. Od roku 2000 zaměstnán ve VÚV TGM, v.v.i., pobočka Brno v oddělení ochrany jakosti vod jako výzkumný pracovník, od roku 2010 se stal vedoucím oddělení ochrany jakosti vod. Je absolventem certifikovaného Kurzu vzorkování pro pracovníky vodohospodářských laboratoří a kontrolních laboratoří v roce 2000. Od roku 2004 je členem IWA a od roku 2011 je aktivní člen CzWA. Zabývá se zejména problematikami eliminace znečištění odpadních vod z malých bodových (do 1 000 EO), difuzních a plošných zdrojů znečištění, využití extenzivních technologií pro čištění odpadních vod a čištění znečištěných povrchových vod a smyvů. Dále se zabývá problematikou komplexního sledování a hodnocení stavu a jakosti vod a vodních a mokřadních ekosystémů, revitalizací říční krajiny, vodních toků a malých vodních nádrží.

Ing. Jana Uhrová, Ph.D.

VÚV TGM, v.v.i., Brno

✉ jana_uhrova@vuv.cz
www.vuv.cz



Zaměstnanec 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.

Ing. Mgr. Marek Vondra

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, NETME Centre & Ústav procesního inženýrství

✉ vondra@upej.fme.vutbr.cz
www.vuv.cz



Od roku 2010 absolvent magisterského oboru Právo a právní věda na Právnické fakultě Masarykovy univerzity v Brně. Mezi lety 2011 a 2013 působil jako trainee ve společnosti Siemens Industrial Turbomachinery Ltd. V roce 2013 ukončil studium magisterského oboru Procesní inženýrství na Ústavu procesního inženýrství Fakulty strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně. Na témže pracovišti je v současné době studentem doktorského studijního oboru Konstrukční a procesní inženýrství, zároveň působí jako zaměstnanec v Sekci procesů a ekologie regionálního výzkumného a vývojového centra NETME Centre. Zabývá se zahušťováním odpadních vod a snižováním energetické náročnosti vybraných průmyslových procesů. Podílí se na řešení projektu Integrovaný návrh procesů a zařízení pro vysoké využití energetického potenciálu paliv a odpadů.

doc. RNDr. Světlana Zahrádková, Ph.D.

VÚV TGM, v.v.i., Brno; Ústav botaniky a zoologie, Masarykova univerzita

✉ svetlana_zahradkova@vuv.cz
www.vuv.cz



Je zaměstnankyní oddělení hydrobiologie ve VÚV TGM, v.v.i., od roku 2011 a Ústavu botaniky a zoologie Masarykovy univerzity v Brně od roku 1992. Na této univerzitě studovala biologii, doktorské studium absolvovala tamtéž v oboru hydrobiologie. Věnuje se problematice tekoucích vod – hodnocení jejich ekologického stavu, dlouhodobých změn biodiverzity a vlivu vysychání toků na vodní bezobratlé živočichy.

Rozhovor s Ing. Janem Křížem, náměstkem ministra životního prostředí

Jak hodnotíte období Operačního programu životního prostředí 2007 až 2013 z pohledu vodního hospodářství? Naplnil očekávání, která do něj byla vkládána ze strany Ministerstva životního prostředí?

Na komplexní hodnocení je ještě brzy, ale pevně věřím, že ve výsledku budeme implementaci projektů v oblasti vodního hospodářství v OPŽP 2007 až 2013 hodnotit jako úspěšnou. Je třeba v plné šíři vnímat některé zásadní aspekty, které s touto problematikou souvisí.

Schválením OPŽP 2007–2013 v roce 2007 vznikla možnost využít v oblasti vodního hospodářství prostředky překračující částku přibližně 45 mld. Kč naprosto bezprecedentní situace. Zároveň ale potenciální žadatelé v oblasti vodohospodářské infrastruktury (kanalizace, vodovody) museli splnit podmínky týkající se efektivního a transparentního provozování infrastruktury, což nebylo v mnoha případech jednoduché s ohledem na soudobý stav právních vztahů v této oblasti. Dále je nutné vnímat riziko velmi pomalé implementace infrastrukturních projektů, tyto problémy vyvstávaly již v předstupném období 2000–2004 i v programovém období 2004–2006 a bohužel se potvrdily v oblasti vodohospodářských projektů i v OPŽP 2007–2013 a do značné míry přispěly ke ztrátě části alokace v roce 2013 ve výši přibližně 7,5 mld. Kč

Přes výše uvedené lze podle současného vývoje předpokládat, že nakonec se všechny aktuálně dostupné prostředky pro oblast vodního hospodářství v OPŽP 2007–2013 podaří využít – z tohoto pohledu lze tedy hovořit, že očekávání bylo naplněno. Zbývá vyhodnotit poskytnuté prostředky z pohledu dopadu na životní prostředí a přenést relevantní zkušenosti do programového období 2014–2020. Této problematice jsme již při přípravě OPŽP 2014–2020 věnovali velkou pozornost.

Rád bych zmínil, že u předmětné prioritní osy sledujeme věcný pokrok v naplňování efektů a cílů. Naše statistiky ukazují, že množství vypouštěného znečištěného v odpadních vodách má v České republice klesající tendenci. Stále dochází k dalšímu nárůstu obyvatel nově napojených na vodovod, obdobný trend je i u počtu obyvatel nově napojených na veřejnou kanalizaci. Vznikly hlásné a měřicí stanice povodňové služby, digitální povodňové plány v řádu stovek a nově realizované vodní nádrže a poldry zvýšily akumulací prostor v řádech statisíců metrů kubických. V rámci OPŽP 2007–2013 očekáváme další zlepšování ochrany před povodněmi a naplnění efektů týkajících se snížení znečištění vod.

Kolik vodohospodářských akcí bylo podpořeno z Operačního programu životního prostředí 2007–2013?

Globálním cílem pro období 2007–2013 bylo zlepšení stavu povrchových a podzemních vod, zlepšení kvality dodávek pitné vody pro obyvatelstvo a snížení rizika povodní. K naplnění tohoto cíle byly podpořeny projekty čištění odpadních vod včetně související výstavby kanalizací, rekonstrukce kanalizací, rozšíření a rekonstrukce úpraven vod, přivaděčů pitné vody a rozvodných sítí vodovodů. Cíl snižování rizika povodní byl realizován zpracováním map povodňových rizik a plánů jejich zvládnutí, rozšířením a zkvalitněním hlásného předpovědního a výstražného systému a realizací protipovodňových opatření v krajině přírodě blízkým způsobem, včetně budování a modernizace provozních informačních systémů.

U prioritní osy 1, oblasti podpory 1.1 – Snížení znečištění vod, evidujeme 787 projektů s rozhodnutím o poskytnutí dotace, kde příspěvek z fondu soudržnosti činí 40,4 mld. Kč. U oblasti podpory 1.2 – Zlepšení jakosti pitné vody 73



Ing. Jan Kříž, náměstek ministra a ředitel sekce fondů EU, ekonomiky a politiky životního prostředí

projektů s příspěvkem ve výši 4,5 mld. Kč z fondu soudržnosti a u oblasti podpory 1.3 – Omezování rizika povodní 595 projektů za 2,3 mld. Kč z fondu soudržnosti. Výše uvedená čísla se pohybují v závislosti na stavu aktuálního kurzu.

Kolik se předpokládá, že bude nových podpořených vodohospodářských akcí z aktuálního Operačního programu, a je zde nějaká priorita?

Těžko předjímat konkrétní čísla, protože to bude do značné míry ovlivněno investičními náklady předkládaných projektů. Pokud se bavíme o prioritách v obecné rovině, platí, že finančních prostředků je podstatně méně, zatímco potenciálních žadatelů zejména z řad malých obcí významně přibývá, proto jednou z hlavních priorit bude zvýšený tlak na nákladovou efektivitu připravovaných projektů.

S uvedeným též souvisí snaha o systémový přístup – primárně by měly být podporovány projekty, jejichž cílem je řešení problémů, které byly odborníky vyhodnoceny jako nejzásadnější z pohledu aktuálního neuspokojivého stavu životního prostředí, a tedy i možného pozitivního dopadu na kvalitu života občanů v ČR. V praxi tedy budou vnímány jako prioritní projekty, které jsou např. součástí tzv. programů opatření v rámci dokumentů, které definují státní

politiku v oblasti vodního hospodářství, ať už hovoříme o zlepšování kvality vod ve vodních útvarech, protipovodňové ochraně a nově i třeba podpoře opatření proti suchu.

Jaké jsou prioritní oblasti podporovaných akcí OPŽP 2014–2020 v problematice vodního hospodářství?

Věcné priority jsem naznačil již v předchozí odpovědi. Pokud mám být konkrétnější, potom bych zdůraznil, že prioritně bude řešeno vypouštění nečistěných odpadních vod z volných výústí kanalizace do toku a výstavba nových kanalizací a čistíren odpadních vod (ČOV) v oblastech s vysokou ekologickou prioritou.

V rámci nového operačního programu je možné podpořit celou škálu technických opatření k předcházení následků přírodních nebezpečí, jako jsou např. povodně, sucho, svahové nestability, eroze a další. U problematiky ochrany před povodněmi bude podporována realizace povodňových opatření v intravilánu obcí a extravilánu, která budou mít pozitivní efekt na zmenšení rozsahu zaplaveného území v obcích a snížení počtu zaplavených nemovitostí, a tím snížení povodňových škod. V rámci podpory se předpokládá podpora projektů zprůtočňování koryt vodních toků a přilehlých niv v intravilánu obce a extravilánu s přímou vazbou na snížení povodňového ohrožení v intravilánu. Podporovány budou projekty řešící např. výstavbu poldrů, úpravu stávajících retenčních nadrž (např. vybudování bezpečnostního přelivu) za účelem zvýšení a zlepšení jejich protipovodňových funkcí. Objektivně je nutné se také zaměřit na zvyšování retenčního potenciálu v povodí, a tedy snižování rychlosti odtoku v době povodňových situací. Součástí podpory je i aktivita hospodaření se srážkovými vodami. Zejména v městských aglomeracích je snahou postupně omezovat odvádění srážkových vod do kanalizace. Srážkové vody mohou být zadrženy a využívány např. k zavlažování zahrad a parků nebo zasakovány do podloží.

Jaká poučení byla promítnuta do nového Operačního programu životního prostředí 2014–2020?

Co se týká vlastní implementace, snažíme se eliminovat problémy spojené s velmi dlouhou dobou implementací projektů. Pravidla pro průběžné čerpání evropských prostředků se zpřísňují a na to je nutné reagovat, abychom se vyvarovali ztrát části alokace jako v OPŽP 2007–2013.

Na úrovni administrace programu je to především snaha o transparentnost a předvídatelnost vůči potenciálním žadatelům. Jsme si vědomi toho, že část problémů z minulosti souvisí s pozdní informovaností žadatelů ohledně vyhlášení výzev ze strany odpovědných orgánů, kdy žadatelé následně byli nuceni připravovat žádosti na poslední chvíli, což samozřejmě významně ovlivňuje kvalitu a negativně dopadá na další procesy implementace. Nyní je proto potenciálním žadatelům o dotaci k dispozici na stránkách www.opzp.cz indikativní střednědobý harmonogram výzev, kde se mohou seznámit s předpoklady vyhlášení výzev až do roku 2018 – v případě vodohospodářské infrastruktury (kanalizace, ČOV, vodovody) se právě s ohledem na delší dobu implementace projektů předpokládá rozdělení celé dostupné alokace do výzev do roku 2018. Připravované změny v oblasti implementace vodohospodářských projektů se také snažíme průběžně komunikovat se všemi zainteresovanými partnery – v tomto ohledu již máme i pozitivní zpětnou vazbu v rámci uskutečněných Monitorovacích výborů, které probíhají za účasti Evropské komise.

Na druhou stranu klademe vyšší nároky i na zájemce o dotaci, vytváříme podmínky pro to, aby mohly být předkládány projekty ve vyšším stupni projektové připravenosti než jen s vydaným územním rozhodnutím, což bylo postačující v programovém období 2007–2013. Finančních prostředků je skutečně málo a není možné podpořit všechny projekty. Velmi dobrou šanci uspět ale budou mít kvalitně připravené projekty, a to po stránce věcné (dosažení

cílových efektů při vynaložení přiměřené sumy finančních prostředků) i administrativní (předložení kompletní žádosti, vysoký stupeň připravenosti investiční akce k realizaci včetně zadávacího řízení na výběr zhotovitele).

Důležité je ale také zmínit, že příjemce dotace i orgány odpovědné za implementaci projektů čeká i mnoho dalších změn, které s poučením z minulosti přímo nesouvisí, ale musí být reflektovány. Administrace projektů by měla probíhat v novém informačním systému MS2014+, který se stále vyvíjí, chystají se významné legislativní změny v oblasti EIA, stavebního zákona nebo zákona o veřejných zakázkách – jistě se objeví nové podněty, se kterými se budeme muset ve vzájemné spolupráci snažit vypořádat.

Nedílnou součástí bude také snaha o průběžné vyhodnocování výzev s cílem eliminace případných identifikovaných problémů směrem k potenciálním dalším výzvám v dané oblasti. V tomto ohledu bude hrát důležitou roli i zpětná vazba od příjemců dotace a zainteresovaných partnerů – na základě vznesených podnětů jsme již například před první výzvou upravili způsobilost výdajů v oblasti kanalizačních přípojek.

Nastal zde nějaký posun v tom, co bylo podporováno a je podporováno? (čistírny odpadních vod, kanalizace apod.)

Operační program životního prostředí 2007–2013 byl v návaznosti na splnění legislativy zaměřen na výstavbu, rekonstrukci kanalizací a čistíren odpadních vod za účelem zlepšení stavu povrchových a podzemních vod převážně pro aglomerace nad 2 000 ekvivalentních obyvatel (EO). Projekty pod 2 000 EO byly podporovány pouze v případě, nacházejí-li se v územích vyžadujících zvláštní ochranu, jakou jsou např. národní parky, CHKO apod. V rámci nového operačního programu je potřeba se soustředit na přetrvávající problémy při vypouštění odpadních vod z volných výústí, z toho důvodu je nový OPŽP 2014–2020 otevřen všem aglomeracím bez specifického omezení.

Nový operační program s sebou nese i změny ve způsobilosti výdajů. Mezi nezpůsobilé výdaje budou patřit náklady na rekonstrukci kanalizace a s výjimkou řádně odůvodněných případů také náklady na výstavbu jednotné kanalizace, která není primárně podporována s ohledem na požadavky vyplývající z vodního zákona a další legislativy v souvislosti s problematikou hospodaření se srážkovými vodami. Naopak mezi specifické způsobilé výdaje jsou nově zařazeny výdaje na realizaci připojení jednotlivých nemovitostí, tedy výstavbu veřejné i soukromé části kanalizačních přípojek s cílem pozitivně ovlivnit počet skutečně napojených obyvatel.

Globálně je ale nutné brát v úvahu, že vzhledem k omezené alokaci nemohou být pokryty všechny případné požadavky na řešení existujících problémů v oblasti vodohospodářské infrastruktury a z pohledu OPŽP je prioritou podporovat co nejefektivnější opatření z hlediska životního prostředí.

Kolik činily alokace do oblastí spojených s vodou?

Oblasti spojené s vodou v rámci OPŽP 2007–2013 zahrnuje prioritní osa 1 a částečně prioritní osa 6. Prioritní osa 1 zahrnovala oblast podpory snížení znečištění vod, na kterou bylo vyčleněno přibližně 38,2 mld. Kč, oblast zlepšení jakosti pitné vody s alokací přibližně 4,7 mld. Kč a oblast omezování rizika povodní s alokací přibližně 2,3 mld. Kč. Pro úplnost je třeba zdůraznit, že nastaly jisté změny v názvech, tedy „staré“ oblasti podpory jsou nazývány v rámci nového programu jako specifické cíle, dříve podoblasti podpory jsou nově nazývány jako aktivity.

Dalším globálním cílem OPŽP 2007–2013 bylo zvýšení ekologické stability krajiny, kde prostřednictvím prioritní osy 6, podoblasti 6.4 – Optimalizace vodního režimu krajiny, bylo možné podpořit projekty řešící realizace opatření příznivých z hlediska krajinné a ekosystémové diversity vedoucí ke zvyšování retenční schopnosti krajiny, ochraně a obnově přirozených odtokových poměrů a k omezování vzniku povodní. Realizací projektů došlo ke zlepšení

stavu životního prostředí podpořením biodiverzity kvůli optimalizaci vodního režimu krajiny, revitalizací vodních toků, vytvořením mokřadních ekosystémů, realizací protierozních opatření a vytvořením studií revitalizací vodních toků. Na tuto oblast podpory bylo vyčleněno šest miliard korun.

Počítá nový operační program s problematikou sucha? Lze kromě dotací na povodně čerpat i dotace týkající se sucha?

Nový operační program s problematikou sucha určitě počítá. Je třeba poznamenat, že žádná z prioritních os není přímo zaměřena na problematiku zadržování vody v krajině. V rámci jednotlivých specifických cílů jsou však uvedena dílčí opatření, která jsou zaměřena na retenci vody v krajině a napomáhají tak eliminovat nepříznivé dopady sucha. Pokud bych měl být konkrétnější, jedná se o aktivity prioritní osy 4 a částečně do toho přispívá i prioritní osa 1. Některé aktivity prioritní osy 4 jsou zaměřeny na vytváření a obnovu vodních prvků v krajině s ekostabilizační funkcí, jako jsou např. tůně, mokřady, malé vodní nádrže apod., opatření proti plošnému a soustředěnému povrchovému odtoku, realizaci přírodně blízkých doprovodných prvků v intravilánu a zakládání či obnovu mezí, remízů.

U prioritní osy 1 je problematika obnovy vodního režimu krajiny a s tím související problematika sucha v ČR v novém programovém období posílena o aktivitu 1.3.2. Tato aktivita je v rámci OPŽP novinkou a jejím hlavním cílem je zajištění šetrného hospodaření s vodou v sídelních útvarech, což výrazně snižuje výskyt sucha v intravilánu. Jako preventivní opatření proti předpokládaným problémům s množstvím vody a sucha na území ČR bude možné podpořit projekty prioritní osy 1, řešící vybudování či rekonstrukci nádrží (suché nádrže, poldry, akumulací nádrže, retenční nádrže).

V novém programovém období 2014–2020 je vyčleněno přibližně 6,2 mld. Kč na projekty, které jsou přímo zaměřeny na retenci vody v krajině, šetrné hospodaření se srážkovými vodami a posílení přirozeného oběhu vody v krajině. V rámci těchto projektů budou realizována opatření, která budou mít z pohledu boje proti suchu na území ČR sledovatelný efekt a do budoucna značný vliv na celkové zmírnění sucha v daném území.

Kromě výše zmíněných aktivit budou v rámci OPŽP 2014–2020 podporovány projekty, které s problematikou sucha v ČR souvisí a okrajově přispívají k potlačení tohoto problému. Příkladem jsou projekty prioritní osy 1, SC 1.1, kde budou podporovány projekty kanalizací, retenčních nádrží a čistíren odpadních vod. Díky této aktivitě dojde ke zlepšení stavu vyhovujících či nevyhovujících vodních toků a zlepšení kvality povrchových i podzemních vod. Dále budou podporována technická opatření s prokazatelným dlouhodobým efektem na snížení eutrofizace vod, a to zejména u vodárenských nádrží, nádrží koupacích vod a na přítocích do těchto nádrží.

Jak velkou míru spolufinancování lze očekávat u jednotlivých projektů?

Finanční podpora pro projekty prioritní osy 1, jejímž předmětem je zlepšování kvality vody a snižování rizika povodní, bude poskytována formou dotace EU, konkrétně z prostředků Fondu soudržnosti, ve výši maximálně 85 % celkových způsobilých výdajů projektu (s výjimkou vybudování varovných systémů, kde bude podpora/dotace poskytována ve výši 70 % celkových způsobilých výdajů). Obecně způsobilým výdajem pro příspěvek z OPŽP 2014–2020 je z časového pohledu výdaj, který vznikl a byl/bude uhrazen příjemcem dotace v období od 1. 1. 2014 do 31. 12. 2023, pokud není stanoveno jinak.

U projektů prioritní osy 1, které po své realizaci vytvářejí čistý příjem, což v praxi znamená, že za užívání vodohospodářské infrastruktury vybudované z prostředků EU jsou uživatelé hrazeny poplatky – vodné a stočné, bude výše způsobilých výdajů určena jejich jednorázovým snížením, tzv. paušální sazbou. Tato byla pro vodohospodářské projekty na úrovni Evropské komise stanovena jako 25%. Uplatnění paušální sazby znamená, že reálná výše dotace bude činit

63,75 %, což je v průměru o něco nižší částka než v období 2007–2013. S ohledem na již zmiňovaný nižší objem finančních prostředků alokovaných v OPŽP 2014–2020 a zároveň předpokládaný nárůst počtu potenciálních žadatelů z řad malých obcí vede takovýto postup k podpoře většího množství projektů. Současně předpokládáme, že bude motivovat žadatele k maximální efektivitě při návrhu technického řešení. Nelze opomíjet ani další podstatný pozitivní faktor uplatnění paušální sazby, a to zjednodušení administrace projektu na straně samotných žadatelů.

Redakce



Jeden z výtvorů žáků ZŠ Únanov

Danube Art Master 2015

Pod záštitou Global Water Partnership střední a východní Evropa (GWP CEE) a mezinárodní komise pro ochranu Dunaje (MKOD) se uskutečnil další ročník výtvarné soutěže Danube Art Master – Mistr dunajského umění, letos na téma Největší dunajská maškarní. Poprvé byla soutěž, která od roku 2004 spojuje tisíce dětí z celého povodí Dunaje, pořádána VÚV TGM, v.v.i. Výzva k vlastní umělecké tvorbě inspirované životním prostředím mohutného Dunaje a jeho přítoky byla určena dětem ve věku 6–16 let, které měla povzbudit k bližšímu pohledu na místní řeku a vodní plochy a také k zamyšlení nad tím, co pro ně znamená životní prostředí. Krásnými výtvary zvítězili v národním kole žáci ze ZŠ Únanov pod vedením Mgr. Věry Jantošové, kteří k vytvoření svého uměleckého díla použili materiály nalezené přímo podél břehů toku Únanovky.

Dunaj a jeho přítoky tvoří jeden z nejdůležitějších říčních systémů v Evropě. Napříč historií hrálo povodí Dunaje klíčovou roli v politickém, sociálně-ekonomickém a kulturním rozvoji střední a jihovýchodní Evropy. Povodí Dunaje je „nejmezinárodnější“ povodí na světě, pokrývá území 817 000 km², tedy přibližně 10% kontinentální Evropy. Od Černého lesa k Černému moři překonává tato řeka vzdálenost více než 2 850 km a spojuje více než 80 milionů lidí v Německu, Rakousku, České republice, Slovensku, Maďarsku, Slovinsku, Chorvatsku, Bosně a Hercegovině, Černé Hoře, Rumunsku, Bulharsku, Moldávii a Ukrajině. Dunaj je nanejvyšší důležitý pro volně žijící živočichy, v samotné deltě bylo identifikováno ohromujících 320 druhů ptactva. Nicméně v průběhu minulého století došlo ke značným ztrátám v počtech i druzích volně žijících živočichů. Také člověkem produkované znečištění ničí některé oblasti, mnoho úseků bylo významně pozměněno. Dne 29. června 1994 byla za účelem řešení těchto problémů podepsána Úmluva o ochraně Dunaje, kterou byla stanovena Mezinárodní komise

pro ochranu Dunaje (MKOD). Práce, která následovala, byla úspěšná a MKOD je vzorem pro mnoho dalších povodí.

Ing. Eva Mlejnská

✉ eva_mlejnska@vuv.cz



Plakát z projektových hodin zaměřených na život v okolí veletoku Dunaje

Odborné akce v roce 2015

Přinášíme Vám přehled odborných akcí z oboru vodního hospodářství konaných v roce 2015 a také poslední akce konané v tomto roce, na které se můžete ještě zaregistrovat.

Organizační garance většiny dále uvedených odborných akcí náleží Ing. Václavu Bečváři, CSc., tajemníkovi České vědeckotechnické vodohospodářské společnosti, z. s., Novotného lávka 200/5, 110 00 Praha 1, tel.: 221 082 386, e-mail: voda@cvtvhs.cz. Podrobnější informace a úplný přehled můžete nalézt na stránkách www.cvtvhs.cz.

ODBORNÉ AKCE, KTERÉ JIŽ PROBĚHLY

JEZY A VODNÍ TURISTIKA

Seminář se konal 7. dubna v Klubu techniků na Novotného lávce za účasti 75 osob včetně přednášejících a hostů – studentů VOŠS a SPŠS v Dušní ulici s doprovodem. Po odborné stránce akce splnila svůj účel bezzbytku, pouze se očekávala větší účast ze sportovní sféry. Přednesené prezentace jsou umístěné ke stažení na www.cvtvhs.cz.

SETKÁNÍ ŘEDITELŮ ZÁVODŮ PP

Setkání se konalo dne 14. dubna. Jednání se zúčastnilo 13 z 15 ředitelů, spolu se členy výboru ČVTVHS celkem 18 osob. Akce byla pokračováním již dlouhé tradice.

VALNÁ HROMADA

Konala se 13. května. Zúčastnilo se jí 25 individuálních a čestných členů, 16 zástupců přidružených členů, 4 zástupci poboček dohromady s celkovou vahou hlasů 125 ze 170 možných, takže byla schopná usnášení i voleb. Valné hromady se účastnilo i 12 hostů, mezi ně ale patřili i zástupci kolektivních členů bez pověření hlasovat a volit. Informace o výsledku voleb a přehled dalších schválených dokumentů či rozhodnutí nebo úkolů jsou obsaženy v usnesení valné hromady a v zápise z ní.

NÁRODNÍ DIALOG O VODĚ

Konal se ve dnech 9.–10. června tradičně na Medlově, pod organizační i odbornou gescí VÚV. Odborným garantem akce byl Ing. Petr Bouška, Ph.D., náměstek ředitele VÚV. Rámcovým tématem letošního ND byla Retence vody v krajině. Na Národní dialog se přihlásilo 119 zájemců, zúčastnilo se jich o 5 méně, mezi nimi 9 členů výboru a KK. Program byl naplněn bezzbytku, na závěr 1. dne jednání byla Ing. Ladislavu Kašpárkovi, CSc., a Ing. Janu Kubátovi udělena ČNVH za celoživotní významnou práci v oblasti hydrologie Cena A. R. Harlachera. Seminář byl zakončen shrnujícím vystoupením prof. Broží. Podle ohlasů účastníků na místě i v následných sděleních byla oceňována vysoká odborná i společenská úroveň Národního dialogu a podporován záměr v tradici takové odborné akce pokračovat.



CHARAKTERISTIKY MINIMÁLNÍCH PRŮTOKŮ, JEJICH ODVOZOVÁNÍ A POUŽÍVÁNÍ

Seminář se konal 29. září, odborný garant byl Ing. J. Kubát (kubat@chmi.cz). Semináře se zúčastnilo 130 osob, z toho 23 pracovníků MÚ a KÚ. Účastníci obdrželi doprovodný tištěný materiál k dané problematice připravený péčí ČHMÚ a VÚV (nikoliv sborník) a časopis VTEI, jehož číslo bylo zaměřeno na problematiku sucha. Přednesené příspěvky jsou umístěné ke stažení na webu www.cvtvhs.cz.

VODNÍ NÁDRŽE 2015

Konference s mezinárodní účastí se konala 6.–7. října v brněnském hotelu Voroněž pod organizační i odbornou gescí Povodí Moravy. ČVTVHS, z. s., se na přípravě i průběhu podílela obdobně jako v roce 2013. Konference se zúčastnilo 220 osob, předneseno 30 přednášek a vystaveno 12 posterových prezentací. Konferenci byla udělena akreditace MV jako vzdělávacímu programu.

PODZEMNÍ VODA VE VODOPRÁVNÍM ŘÍZENÍ XII

Odborný garant byl Ing. R. Muzikář, CSc. (radomir.muzikar@karneval.cz). Seminář se konal 7. října. Zúčastnilo se jej 121 osob, z toho 37 pracovníků z místních a krajských úřadů – semináři byla MV udělena akreditace jako vzdělávacímu programu. Na semináři byl vyplňován dotazník zaměřený na problematiku správy podzemních vod a výsledky zpracuje odborný garant s tím, že navrhne další postup ve spolupráci s příslušnými v. h. institucemi. Přednesené příspěvky jsou umístěné ke stažení na webu www.cvtvhs.cz.

HAVARIJNÍ STAVY NA POVRCHOVÝCH A PODZEMNÍCH VODÁCH

Odborným garantem byl Ing. B. Müller (mulerboh@seznam.cz). Seminář se konal 19. listopadu v sále 417 na Novotného lávce 5, Praha 1. K semináři byla elektronicky rozeslána pozvánka a přihláška.

VODNÍ TOKY 2015

Konference s mezinárodní účastí se konala 24.–25. listopadu tradičně v hotelu Černigov v Hradci Králové pod odbornou i organizační gescí VRV, a.s. ČVTVHS společně se všemi státními podniky Povodí a Lesy ČR se podílela na přípravě i programu. Odborným garantem byl Ing. Plechatý, předseda představenstva VRV. Byla distribuována závazná přihláška pro účastníky (můžete ji nalézt na webových stránkách www.cvtvhs.cz). Kontakt Sylvie Plechatá (plechata@vrv.cz)

PŘÍVALOVÉ POVODNĚ

Seminář se konal 2. prosince v sále Povodí Vltavy v Holečkově ulici v Praze 5. Odborným garantem byl Ing. Miroslav Tesař, CSc., z Ústavu pro hydrodynamiku AV ČR (tesarihas@iol.cz), který připravil seminář v rámci programu AV ČR Strategie 21.

ODBORNÁ AKCE, KTERÁ PROBĚHNE

SEMINÁŘ ADOLFA PATERY 2015 – EXTRÉMNÍ HYDROLOGICKÉ JEVY V POVODÍCH

Odborným garantem je doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur z Katedry hydrotechniky ČVUT (224 354 425, fosumpaur@fsv.cvut.cz). Seminář se bude konat 16. prosince v sále 417 na Novotného lávce 5, Praha 1.

VTEI/2015/6

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 57



VTEI.cz

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

Redakční rada:

RNDr. Dana Baudišová, Ph.D. (předsedkyně),
Ing. Šárka Blažková, DrSc., Ing. Petr Bouška, Ph.D.,
prof. Ing. Alexander Grünwald, CSc., doc. Ing. Aleš Havlík, CSc.,
prof. RNDr. Alena Sládečková, CSc., prof. Ing. Jiří Zezulák, DrSc.

Výkonný redaktor:

Lenka Jeřábková
T: +420 220 197 465
E: lenka_jerabkova@vuv.cz

Kontakt na redakci:

E: info@vtei.cz

Autoři fotografií tohoto čísla:

Ing. Milena Forejtníková
Bedřich Maleček
Ing. Miloš Rozkošný, Ph.D.

Grafická úprava, sazba, tisk:

ABALON s. r. o., www.abalon.cz

ISSN 0322-8916

ISSN 1805-6555 (on-line)

MK ČR 6365



ORLICKÉ A ZBENICKÉ ZLÁKOVICE

Pohled do zátopové oblasti budoucí Orlické přehrady jižním směrem, tedy proti proudu Vltavy. V popředí stojí několik stavení na okraji Orlických Zlákovic (na pravém břehu), ze řekou pár chalup Zbenických Zlákovic (na levém břehu). Obě vsi zde spojoval prámový přívoz a stály zde dva mlýny (na snímku však schovány za skaliskem vpravo). Nad Zlákovicemi se řeka rozlévala poměrně do široka, a tak zde byla dosti velkoryse regulována dlouhými koncentračními hrázemi. Na louce na pravém břehu stál známý plavecký hostinec U Zvonu. Pozadí na pravém břehu dominuje vrch Bořím, za nímž lze spíše již jen tušit ves Těchnici. Fotografie byla pořízena na jaře 1956 ze skalního ostrohu u dnešního autokempu Popelíky. V době pořízení snímku se již za zády fotografa rozkládalo staveniště přehrady.
Text a fotografie z archivu Vojtěcha Pavelčíka, www.stara-vltava.cz

VÝZKUMNÝ ÚSTAV
VODOHOSPODÁŘSKÝ
T.G. MASARYKA

veřejná výzkumná instituce

VTEI.cz