

VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

VTEI / 2016 / 6

10 / Věžové vodojemy – nové využití specifického industriálního dědictví
27 / Využití epidemiologie odpadních vod pro sledování nelegálních drog
60 / Rozhovor s ředitelem SOVAK ČR Ing. Oldřichem Vlasákem

Komín s vodojemem v Zahořanech

V roce 1919 založily Škodovy závody jižně od obce Blov povrchový hnědouhelný důl Prokopova šachta. Jeden kilometr od něj byl o rok později v Zahořanech na dnešním katastru obce Vilémov postaven komplex třídírny, jehož součástí se kromě jiných objektů stal také zděný komín s vodojemem, z dnešního pohledu zcela unikátní. Jedná se totiž pravděpodobně o vůbec jediný oktogonální (čili v půdorysu osmiboký) komín na našem území, který nese vodní nádrž. Ta byla navíc netradičně dekorativně členěna a zdobena štukovými ornamenty.

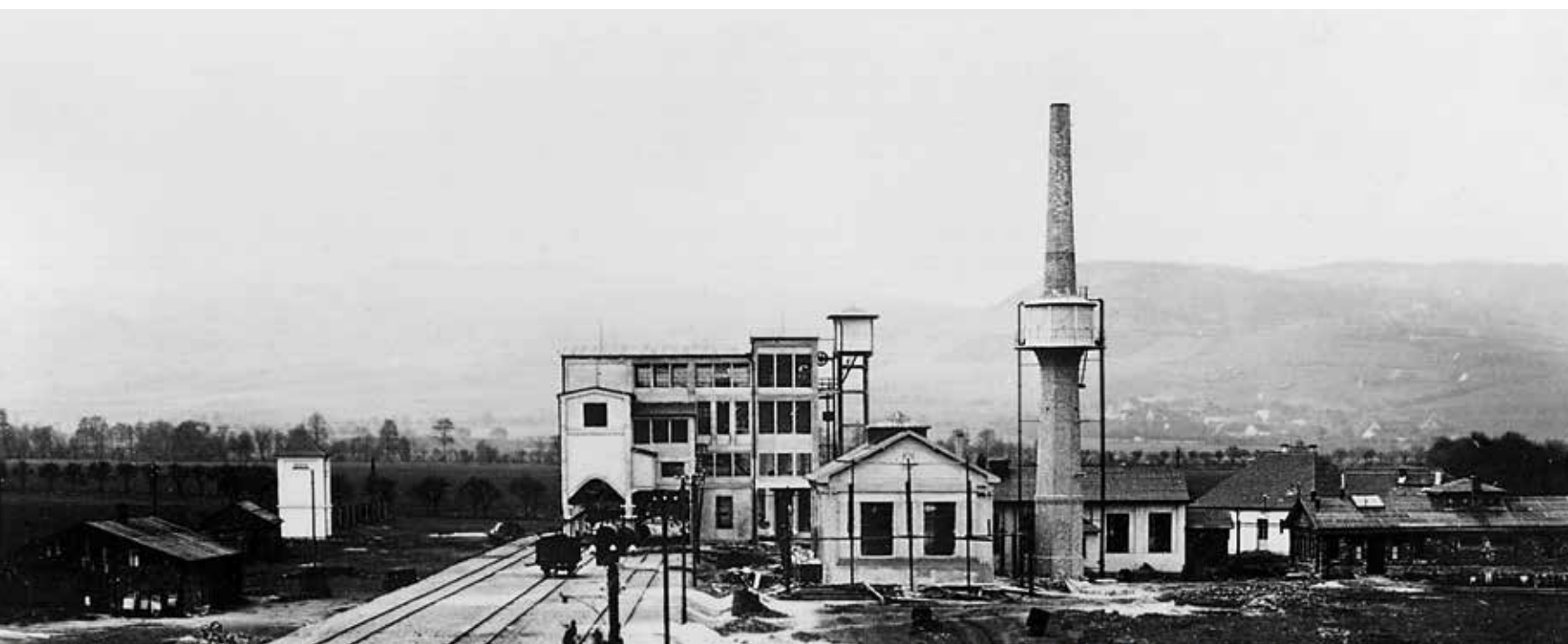
Zdejší uhlí však nedosahovalo požadované kvality, a tak byl již roku 1925 důl odstaven. Dlouhé roky pak chátrající železobetonový skelet třídírny a komín dominovaly zdejší krajině. A když v roce 2012 zahájila obec jejich demolici, zdálo se, že zmizí další jedinečná technická památka.

Stačilo však neskutečně málo a ona nezmizela. Kolegové ze Svazu českých komínářů zvedli telefon a podle kontaktů z internetových stránek vytvořili číslo pana starosty obce Vilémov.

„Pane starosto, nebourejte ten komín, on je nesmírně hodnotný, je to jediný oktogonální komín s vodojemem na našem území,“ vysvětlovali. „Aha,“ zaznělo z druhého konce, „to jsme nevěděli, tak dobře, my to ještě promyslíme.“

A skutečně, komín stále stojí. Obec přehodnotila svůj záměr, začlenila komín do budované cyklostezky a společně s informační tabulí je nyní připomínkou zajímavé hornické minulosti regionu. Nestává se to často, ale zachránit něco vzácného, může být někdy nebývale snadné.

Ing. Robert Kořínek, Ph.D.



Komín s vodojemem kolem roku 1920 a o 90 let později (SOA Plzeň/Robert Kořínek)

Obsah



- 3** Úvod
- 4** Vliv polohy nádrže v povodí při adaptivním řízení zásobní funkce
Pavel Menšík, Martin Sobek
- 10** Věžové vodojemy – nové využití specifického industriálního dědictví
Robert Kořínek
- 19** Hydrologické modelování srážko-odtokového procesu v povodí Husího potoka
Jana Uhrová, Kamila Zárubová



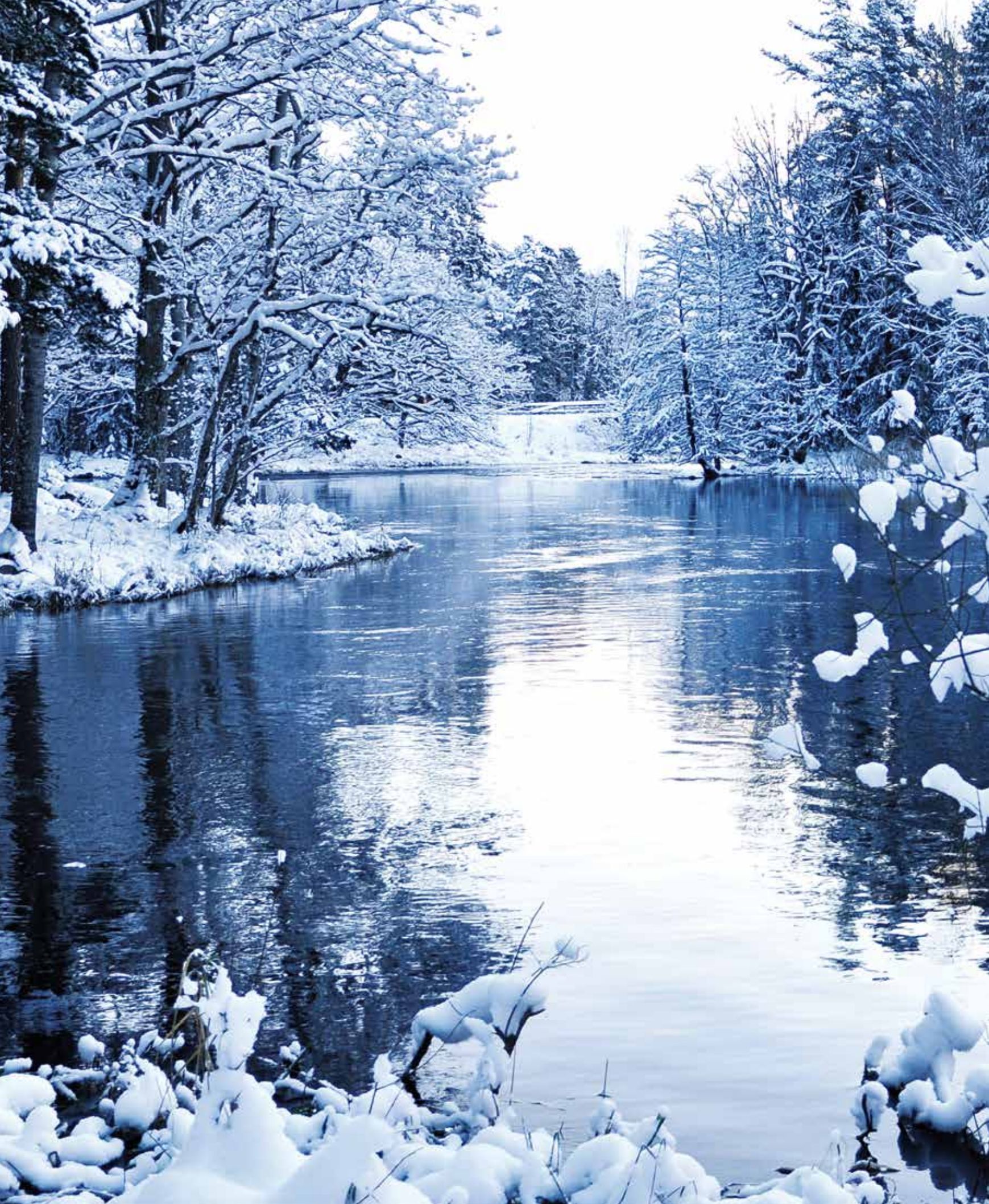
- 27** Využití epidemiologie odpadních vod pro sledování spotřeby nelegálních drog a dalších látek v českém a mezinárodním kontextu
Věra Očenášková
- 31** Charakteristiky určující stabilitu říčního dřeva na příkladu Moravy v Litovelském Pomoraví
Pavel Kožený



- 41** Aplikace charakterizačního faktoru nedostatku vody ve studiích LCA v podmínkách ČR
Libor Ansorge
- 54** Využití geomorfologických charakteristik pro odhad celkové retence povodí
Petr Máca, Petr Bašta, Roman Kožíň, Martin Hanel



- 59** Autoři
- 60** Rozhovor s ředitelem SOVAK ČR Ing. Oldřichem Vlasákem
Redakce
- 63** Odborný seminář Dopad hydrologického sucha 2015 na kvalitu povrchových vod
Tomáš Mičaník
- 64** Zbytečná hysterie kolem používání glyfosátu
Tomáš Hrdinka



Vážení čtenáři,

právě odezněla další epizoda suchého období, přišly podzimní srážky a aktuální průtoky jsou na hodnotách blízcích se k dlouhodobému průměrnému průtoku v daném kalendářním měsíci. S tím, jak srážky přibývaly a průtoky stoupaly, nepřímo úměrně klesal zájem médií o senzační informace týkající se dopadů sucha na běžný život občanů. Současně s epizodou sucha byla jedním z mediálních témat cena vody, ať už v souvislosti s novelou vodního zákona, nebo jako jeden z mechanismů, který by mohl sloužit jako nástroj motivující ke snížení spotřeby vody. Obě tato témata – sucho a cena vody – jsou novinářsky nesmírně vděčné, protože se dotýkají každého jednotlivce (čtenáře, diváka) a lze je podat dostatečně katastroficky. Navíc lidé u nás nadevše nejvíc rozumí fotbalu, pivu, a jak jsem vyzoroval z diskusí a reakcí pod články a na sociálních sítích, právě také hospodaření s vodou, a to protipovodňovou ochranou počínaje, přes hospodaření s vodou v krajině, problematiku podzemních vod, manipulaci v nádržích, vodárenskou infrastrukturu, provozování vodovodů a kanalizací, problematiku provozních smluv a cenotvorbou konče. Svět je černobílý (čím je jakákoliv problematika složitější, člověk, aby jí snadno porozuměl, podvědomě přepne do černobílého vnímání problému), viníci jsou známi, řešení jsou nasnadě a je funkcí státu ochránit nás a náš majetek před povodněmi, suchem, cizáckým kapitálem parazitujícím na našem rodinném rozpočtu, mít dostatek vody k dispozici vždy a za všech okolností pro spotřebu i rekreaci, upravit krajinu, zamezit ztrátám ve vodovodních řádech a pak by to vše mohlo a mělo být zadarmo. Hydrolog pak nabyde dojmu, že padesát odstínů šedi existuje pouze v knihách o lidské činnosti na hony vzdálené vodnímu hospodářství, a mohl by snadno propadnout pochybám o smyslu naší práce. Existují však nejméně tři obranné mechanismy. Prvním z nich je tyto diskuse a názory a priori nečíst a vytvářet si tak iluzi, že neexistují. Druhým je převzít mechanismus černobílého myšlení diskutérů a laiky vyhodnotit jako nekompetentní, potažmo jejich názory jako nerelevantní, a tudíž diskuse a posteriori nečíst.

Třetím obranným mechanismem je sisufovské vysvětlování, uvádění věcí na pravou míru a do souvislostí. Nicméně tento mechanismus v režimu diskuse 1 : 1 na sociálních sítích je předem odsouzen k nezdaru. Při tomto poznání je výsledkem i tohoto obranného mechanismu diskusní příspěvky nečíst.

Shodným výsledným řešením všech tří obranných mechanismů je tedy tyto diskuse nečíst, ať se již jedná o apriorní rozhodnutí, nebo rozhodnutí učiněné empiricky. Je to ale správně?

Na celou problematiku diskusí o vodě na sociálních sítích se totiž dá ještě podívat z jiné perspektivy. A to tak, že tyto diskuse, nehledě na míru detailu a znalosti dílčích problémů diskutujících, jsou průvodním jevem něčeho úplně jiného. Těžko lze v tuto chvíli exaktně jediným pojmem pojmenovat hnací sílu, jejímž projevem následné diskuse jsou, protože pro každého jedince bude odlišná. Nicméně by se tyto různé motivace daly shrnout slovem zájem. Značnou část populace problematika hospodaření s vodou ve všech svých aspektech zajímá, a je proto třeba využít právě jejího zájmu. Proto, abychom dosáhli našeho cíle, a to zvýšení povědomí o problémech hospodaření s vodou v České republice, je zapotřebí předávání informací a vtažení laické veřejnosti do vodohospodářské tematiky usměrňovat, informace předávat postupně a srozumitelně a nikoliv v režimu 1 : 1, ale 1 : x. Třeba jen tím, že tyto informace podá laik laikům. I to bylo a je cílem portálu Voda základ života a nově i kampaně Voda ve streamu, kterou můžete najít na YouTube.

Jestliže jste dočetli až sem, doufám, že vaším poznáním a posteriori není nečíst příští úvodníky ve VTEI.



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

Vliv polohy nádrže v povodí při adaptivním řízení zásobní funkce

PAVEL MENŠÍK, MARTIN SOBEK

Klíčová slova: adaptivita — inteligentní řízení — optimalizační model — předpovědní model — vodní nádrž — zásobní funkce

SOUHRN

V průběhu několika posledních let je možno pozorovat častější výskyt hydrologických extrémů. Dochází k častějšímu výskytu povodní a k prohlubování období sucha. Reálně je možné, že v případě po sobě opakujícího se výskytu několika déletrvajících období sucha může dojít k ohrožení zásobní funkce některých vodních zdrojů. Současný stav řízení zásobní funkce je dostačující, ale vzhledem ke klimatickému vývoji může být v blízké době nepostačující. Běžně používaný způsob řízení by mohl být rozšířen o inteligentní způsob řízení vycházející z principu adaptivity. Úspěšnost inteligentního řízení zásobní funkce byla již dříve prokázána. Předložený článek ověřuje vliv polohy nádrže v povodí při inteligentním (adaptivním) řízení zásobní funkce nádrže. Adaptivní řízení používá hydrologických předpovědí přítoků vody do nádrže v kombinaci s optimalizačním modelem. V článku uvedené výsledky poukazují na skutečnost, že je možno za určitých okolností úspěšně použít adaptivní řízení u nádrží situovaných v horní a i v dolní části povodí.

ÚVOD

V průběhu několika posledních let je možno pozorovat častější výskyt hydrologických extrémů. Dochází k častějšímu výskytu povodní a k prohlubování období sucha. Odborné práce z oblasti klimatologie na výskyt těchto extrémních událostí dlouhodobě upozorňují. Za zmínku stojí například roky 2011 a 2012, které z hydrologického hlediska byly hodnoceny jako extrémně suché [1], a rovněž tak i minulý rok 2015 [2]. V blízké budoucnosti je možno očekávat, že se tyto události budou vyskytovat častěji a jejich negativní účinek bude mít progresivní trend.

Klimatické podmínky již přinutily širokou odbornou veřejnost k zamyšlení, zda je Česká republika dostatečně připravena na vznik možných problémů způsobených nedostatkem zásob vody. Z podnětů odborné veřejnosti došlo k vytvoření pracovní skupiny SUCHO. Skupina vznikla na přelomu let 2013/2014 a formulovala výčet opatření proti negativním dopadům potenciálního sucha vedoucím k předjetí krizové situace vyvolané jeho výskytem a následným nedostatkem vody. Po spojení s již existující pracovní skupinou VODA došlo ke vzniku Mezirezortní komise VODA-SUCHO a po vzájemné spolupráci byl zpracován dokument [3]. Vytvořený dokument obsahuje obecný úvod do problematiky sucha včetně předkládací zprávy, zdůvodňující jeho potřebnost, a dále výčet přibližně padesáti konkrétních opatření proti negativním dopadům sucha. Koncepce popsaná v dokumentu byla 29. 7. 2015 usnesením vlády České republiky schválena.

Reálně je možné, že v případě po sobě se opakujícího výskytu několika déletrvajících období sucha může dojít k ohrožení zásobní funkce některých vodních zdrojů. Za předpokladu, že se tato hrozba stane skutečností a zásoba

vody ve vodních nádržích nebude pro jejich provoz dostačující, bude možné řešení spočívat ve změně v provozování vodních děl. Tyto změny budou převážně představovat úpravu způsobu manipulace s řízeným odtokem. V krajním případě, pokud budou vyčerpány všechny možnosti ostatních adaptačních opatření k zajištění vodohospodářských služeb a kdy dopady klimatické změny nebudou řešitelné jinými prostředky pro jejich neproveditelnost nebo pro jejich neúměrné náklady, bude možno stávající nádrže rozšířit o nádrže nové. S touto myšlenkou byl v roce 2011 aktualizován generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod [4]. Možností zmírnění dopadů změny klimatu využitím území chráněných pro akumulaci povrchových vod se rovněž věnuje práce, viz [5].

Od 70. let 20. století téměř nedošlo v oblasti strategického řízení (horizont řízení v časovém kroku měsíc) zásobní a hydroenergetické funkce u vodních nádrží k žádné významné změně. Postupně budeme zcela jistě svědky zesílení společenské poptávky nejen ve smyslu zdokonalování operativního řízení, ale rovněž ve smyslu změn základních strategických parametrů nádrží často s cílem významného posílení jejich zásobní funkce [6].

Současný stav řízení zásobní funkce je dostačující, ale vzhledem ke klimatickému vývoji může být v blízké době nepostačující. Klasické řízení zásobní funkce vodních nádrží vychází převážně z pravidel řízení [7], resp. z dispečerských grafů [8]. Vytváření uvedených pravidel bylo přímo ovlivněno výkonností tehdejší výpočetní techniky, což mělo za následek jejich značné zjednodušení. Pravidla jsou vytvořena na základě historických průtokových řad. Použití historických průtokových řad pravidlům neumožňuje adaptivně reagovat na aktuální hydrologické podmínky. Z tohoto důvodu můžou současná pravidla řízení narážet na omezení plynoucí z měnících se hydrologických podmínek, které v historických průtokových řadách nemůžou být zahrnuty. Dnešní výkonnost výpočetní techniky umožňuje používané způsoby řízení rozšířit o nové tzv. inteligentní způsoby řízení. Inteligentní řízení umožní vhodnou manipulaci na vodních dílech. Vhodná manipulace dokáže předejít poruchám systému v podobě nedodávky vody a také dokáže efektivně hospodařit s vodou pro hydroenergetické účely. V konečném důsledku úprava manipulace na vodních dílech může přinést podnikům povodí a ostatním společnostem výrazné ekonomické výhody v podobě hospodárné distribuce vody do systému a minimalizace možného vzniku ekonomických ztrát.

Běžně používaný způsob řízení by mohl být rozšířen o inteligentní způsob řízení. Inteligentní způsob řízení vychází z principu adaptivity. Adaptivní přístup umožňuje reagovat na průběžně se měnící hydrologické podmínky. Obvykle je k tomuto řízení potřebná znalost hydrologických předpovědí přítoků vody do nádrží v kombinaci s optimalizačním modelem. V praxi je možno principem adaptivity částečně eliminovat nepřesnost předpovědi. Adaptivním řízením nádrží a vodohospodářských soustav se zabýval na přelomu 80. a 90. let profesor Nacházel a docent Patera [9–12].

Inteligentní způsob řízení by v budoucnu mohl být použit jako podpůrný nástroj pro vodohospodářský dispečink, kterému zejména při řízení složitějších systémů s více nádržemi a s uvažováním více vodohospodářských účelů poskytne vhodnou podporu při procesu rozhodování. Uvažovaný algoritmus řízení bude představovat jedno z možných opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody. Takové řízení zcela zapadá do koncepce popsané v dokumentu [3] a je součástí organizačního a provozního opatření.

Úspěšnost inteligentního řízení zásobní funkce a hydroenergetické funkce nádrže a soustavy nádrží byla již dříve prokázána, bylo dosaženo zajímavých výsledků a tyto výsledky je možné vidět například v [13–15]. Předložený článek si klade za cíl ověřit vliv polohy nádrže v povodí při inteligentním (adaptivním) řízení zásobní funkce nádrže. Je možno předpokládat, že výsledky z adaptivního řízení budou pro nádrže situované v různých částech povodí jiné. Za tímto účelem je řízení provedeno zvlášť pro nádrž, která je umístěna v horní části vodního toku, a následně pro nádrž, která je umístěna v dolní části vodního toku.

POUŽITÉ METODY

Předpovědní model

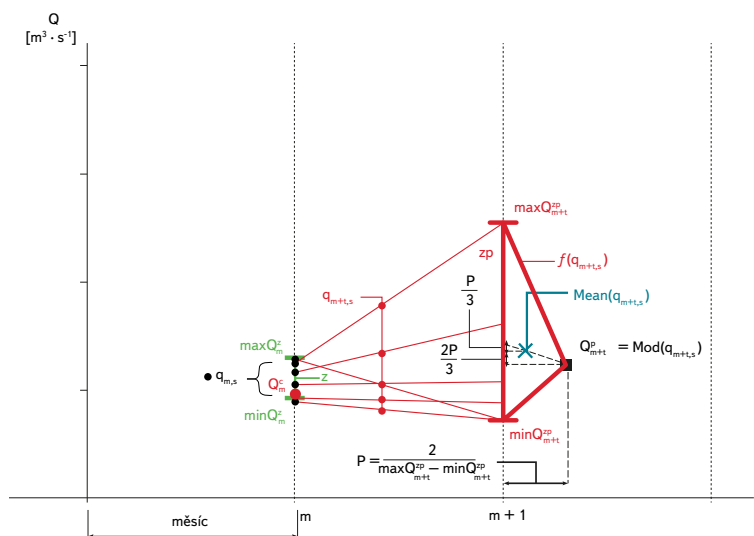
Pro vytvoření předpovědi průměrných měsíčních průtoků byl použit zonální pravděpodobnostní předpovědní model (ZPPM). Princip modelu je popsán v následujících odstavcích. Z několikaleté historické průtokové řady průměrných měsíčních průtoků jsou vyčleněny jednotlivé roky $y = 1, 2, \dots, Y$, kde Y značí celkový počet let. Ze všech roků jsou následně vyčleněny i jednotlivé měsíce $m = 1, 2, \dots, 12$ s průměrnými měsíčními průtoky Q_m pro každý rok množiny y . Tímto způsobem je vytvořena množina, která je tvořena průměrnými měsíčními přítoky vody do nádrže za celé sledované období Y pro jednotlivé měsíce m . V každém měsíci je potom nalezena minimální hodnota $minQ_m$ a maximální hodnota $maxQ_m$ historického přítoku vody. Interval mezi hodnotami $\langle minQ_m, maxQ_m \rangle$ je rozdělen na předem zvolený počet zón. Počet zón Z je v každém měsíci stejný, velikost intervalu $\langle minQ_m^z, maxQ_m^z \rangle$ se však může lišit. Velikost jednotlivé zóny je stanovena tak, aby splňovala požadavek, že každá zóna musí obsahovat přibližně stejný počet prvků $q_{m,y}$. Jednotlivé prvky $q_{m,y}$ každé množiny tvoří v příslušné zóně podmnožinu Q_m^z .

Podle počáteční průměrné hodnoty přítoku vody Q_m^z v měsíci m , ve kterém je rozhodováno o řízení, je vybrána zóna z , pro kterou platí $Q_m^z \in \langle minQ_m^z, maxQ_m^z \rangle$. Zónou z prochází vybraný soubor historických řad $s = 1, 2, \dots, S$, kde S je celkový počet řad procházející zónou. Pro každou řadu v souboru S platí, že $q_{m,s} \in Q_m^z$. Další členy historických řad s souboru S , které jsou reprezentovány průměrnými měsíčními přítoky $q_{m+t,s}$ v měsících $m + t$, kde t je pořadí měsíce předpovědi, jsou pak použity pro určení intervalu zóny předpovědi z_p . Pro t platí $t = 1, 2, \dots, TP$, kde TP je počet předpovídaných kroků (měsíců) a $q_{m+t,s} \in Q_{m+t}^{z_p}$. Pro pořadí měsíců $m + t > 12$ platí $m + t - 12$. Pro každý měsíc předpovědi $m + t$ je stanovena pouze jedna zóna předpovědi z_p [10].

Hodnota průměrného měsíčního přítoku vody do nádrže Q_{m+t}^p v měsíci $m + t$ je rovna hodnotě vyskytující se v intervalu zóny předpovědi z_p s největší pravděpodobností. Průměrné měsíční průtoky jsou potom předpovězeny podle následujícího principu. Pro všechny prvky $q_{m+t,s}$ z množiny $Q_{m+t}^{z_p}$ je vytvořena hustota rozdělení pravděpodobnosti. Tvar spojitě funkce je pro zjednodušení trojúhelníkový. Spodní hrana je tvořena intervalem $\langle minQ_{m+t}^{z_p}, maxQ_{m+t}^{z_p} \rangle$ a vrchol trojúhelníku leží na předpokládané poloze modu Mod veličiny $q_{m+t,s}$. K určení polohy modu je použit předpoklad, že platí:

$$\int_{minQ_{m+t}^{z_p}}^{maxQ_{m+t}^{z_p}} p(q_{m+t,s}) dq_{m+t,s} = 1 \tag{1}$$

Postup nalezení polohy modu na intervalu $\langle minQ_{m+t}^{z_p}, maxQ_{m+t}^{z_p} \rangle$ je vyobrazen graficky na obr. 1.

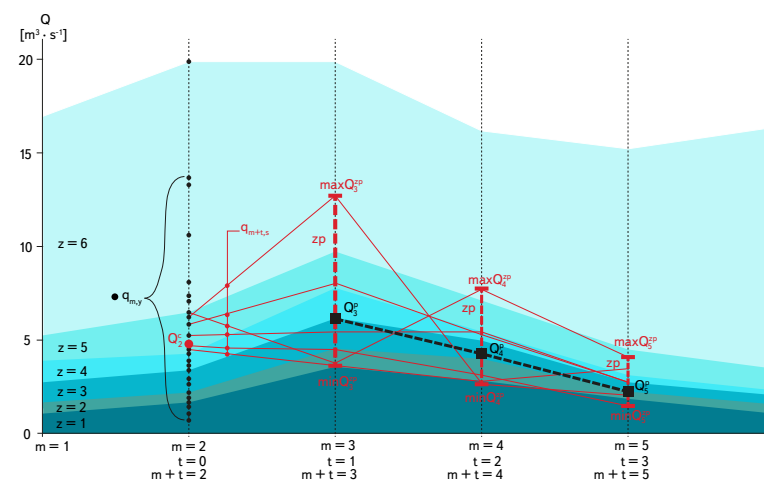


Obr. 1. Postup nalezení modu
Fig. 1. Procedure to find modus

Potom pro předpovězenou hodnotu přítoku vody do nádrže v měsíci $m + t$ platí:

$$Q_{m+t}^p = Mod(q_{m+t,s}) \tag{2}$$

Algoritmus vytváření předpovědi Q_{m+t}^p pro více kroků (měsíců) je zobrazen na obr. 2.



Obr. 2. Algoritmus vytváření předpovědi
Fig. 2. Algorithm of making prediction

Algoritmus adaptivního řízení zásobní funkce

Adaptivní řízení zásobní funkce nádrže je založeno na klasickém simulačním modelu (globální model). U simulačního modelu jsou pravidla řízení nahrazena opakovanou optimalizací (lokální model). Krok simulačního modelu je $T = 1, 2, \dots, M$, kde M je celkový počet kroků (měsíců). Algoritmus řízení je možno popsat ve třech krocích, které se postupně opakují.

V prvním kroku je vytvořena předpověď průměrných měsíčních přítoků vody do nádrže. K vytvoření předpovědi je použit ZPPM a délka předpovědi odpovídá zvolenému počtu předpovídaných měsíců.

Ve druhém kroku je sestaven optimalizační model nádrže. Průměrné měsíční odtoky z nádrže O^t na řízeném období jsou hledány optimalizací v každém časovém kroku lokálního modelu $\tau = 1, 2, \dots, N$, kde N je celkový počet kroků. K nalezení O^t je použita metoda diferenciální evoluce. Počet předpovídaných měsíců TP je roven počtu časových kroků N . Okrajovými podmínkami jsou předpovězené přítoky do nádrže. Počáteční podmínka řešení je objem vody v nádrži na konci časového kroku $\tau = 0$. Ve skutečnosti by se jednalo o naměřenou hodnotu objemu vody v nádrži. Jako kritérium optimalizace byl zvolen součet čtverců odchylek mezi řídicím odtokem W^t a skutečným řízeným odtokem O^t vody z nádrže, který je snaha minimalizovat. Kriteriační funkce (3) je ve tvaru, který zajišťuje rovnoměrné rozložení nedodávky vody mezi jednotlivé měsíce. Použití druhé mocniny ve funkci (3) je dáno předpokladem, že větší množství nedodané vody je hůře přijatelné než menší množství nedodané vody.

$$\left[\pi = \sum_{\tau=1}^{N=TP} (W^t - O^t)^2 \right] \rightarrow \text{MIN} \quad (3)$$

Ve třetím kroku se na základě skutečného přítoku a nalezeného řízeného odtoku, který odpovídá prvnímu kroku lokálního modelu $\tau = 1$, provede v časovém kroku T simulace chování nádrže pomocí simulačního modelu. Počáteční podmínkou pro řešení další optimalizace je výsledná velikost objemu vody v nádrži na konci časového kroku. Následně je optimalizace posunuta o jeden časový krok.

Kroky 1 až 3 se následně opakují pro každý krok globálního modelu T . Opakováním jednotlivých kroků se zároveň model adaptuje na nové podmínky. Celý proces adaptace je ukončen při dosažení časového kroku $T = M$.

K adaptivnímu řízení zásobní funkce nádrže byl použit program SOMVS (Simulační a optimalizační model vodohospodářské soustavy) [16]. Ve zkrácené formě byl software publikován například v impaktovaném časopise [17] a v České republice [18]. SOMVS je licencovaný software Vysokého učení technického v Brně. Obecně je možno software použít pro strategické plánování (rozvoj, řízení) v oblasti zásobní funkce vodních nádrží. Software umožňuje najít optimální řešení problémů spojených se zásobováním obyvatelstva, průmyslu, energetiky a zemědělství vodou.

Tabulka 1. Hodnoty zásobních prostorů jednotlivých nádrží
Table 1. Values of storage capacity of each reservoir

Profil	Plocha povodí nad profilem	Řídicí plocha nádrže ¹	Q_a	α	O_p	V_z
	km ²	%	m ³ .s ⁻¹	–	m ³ .s ⁻¹	m ³
Vlaské	96,55	0,4	1,88	0,3	0,564	2 180 270
Kroměříž	7 030,31	65	51,2	0,3	15,360	119 269 800

¹Procento řídicí plochy nádrže k celkové ploše povodí.

Aplikace

Pro aplikaci byly vybrány dva měrné profily, profil Vlaské a profil Kroměříž. Oba měrné profily leží na řece Moravě. Profil Vlaské se nachází v horní části povodí řeky Moravy a profil Kroměříž je v dolní části povodí řeky Moravy. Profily byly vybrány s cílem provést adaptivní řízení zásobní funkce v profilech s rozdílnou vodností – viz Q_a v tabulce 1.

Na začátku bylo provedeno vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže. Byly stanoveny nutné velikosti zásobních objemů V_z pro dvě fiktivní nádrže. První nádrž je situovaná v profilu Vlaské a druhá v profilu Kroměříž. Zásobní objemy byly stanoveny na základě známé hodnoty nalepšeného odtoku O_p a za předpokladu dodržení stoprocentní zabezpečení odtoku vody z nádrže. Hodnota nalepšeného odtoku byla zvolena jako 0,3 (součinitel nalepšení α) násobek dlouhodobého průměrného průtoku Q_a . Výsledné hodnoty zásobních objemů fiktivních nádrží jsou spolu s ostatními hodnotami uvedeny v tabulce 1.

Následně bylo provedeno adaptivní řízení zásobní funkce fiktivních nádrží v období let 2000 až 2006. Období let 1950 až 2000 bylo použito pro kalibraci, tzn. pro vytvoření ZPPM. Adaptivní řízení bylo provedeno pro 7 různých hodnot řídicího (nalepšeného) odtoku – konkrétně se jednalo o násobky součinitele nalepšení α (0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,75; 0,8 a 0,9) a odpovídající hodnoty Q_a . Pro každou hodnotu řídicího odtoku proběhlo celkem 24 výpočtů, dvanáct pro řízení s předpovězenými průtoky (adaptivní řízení s předpovězenými průtoky – AŘ – P) a dvanáct pro řízení s reálnými průtoky (adaptivní řízení s reálnými průtoky – AŘ – R). Jednotlivé výpočty se od sebe lišily počtem časových kroků lokálního modelu. Výpočty s reálnými průtoky sloužily pro porovnání úspěšnosti řízení, jelikož je považujeme za ideální stav – v praxi nedosažitelný. Dále bylo provedeno řízení pro každou hodnotu řídicího odtoku pomocí prosté simulace (simulační model – SM). U simulačního modelu probíhá řešení odlišným způsobem, než je tomu u optimalizačního modelu. Omezující podmínky jsou řešeny postupně po jednotlivých časových krocích a v každém kroku je snahou, aby odtok vody z nádrže byl roven hodnotě řídicího (nalepšeného) odtoku. Simulační model považujeme za nejjednodušší způsob řízení a byl použit pro srovnání jednotlivých výsledků z řízení.

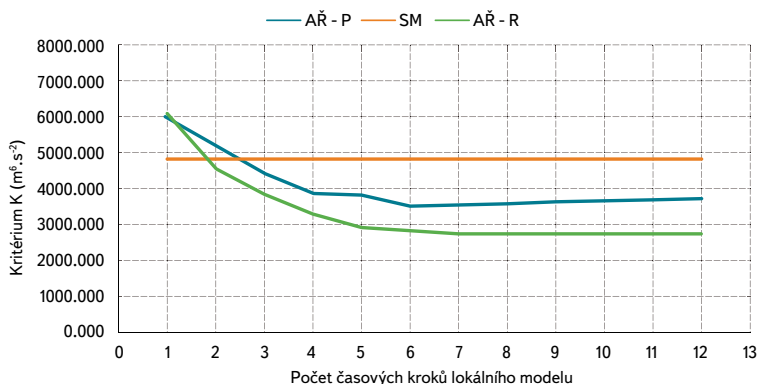
Úspěšnost uvažovaných způsobů řízení byla vyhodnocena pomocí kritéria K :

$$K = \sum_{T=1}^M K^T \quad (4)$$

Pokud byl řízený odtok O^T větší než řídicí odtok W^T , tak kritérium v časovém kroku T bylo rovno nule ($K^T = 0$). Pokud byl řízený odtok O^T menší než řídicí odtok W^T , bylo kritérium v časovém kroku T vyhodnoceno jako čtverec rozdílu mezi řídicím a řízeným odtokem vody z nádrže ($K^T = (W^T - O^T)^2$).

SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ

Z důvodu velkého množství řešených variant jsou v příspěvku prezentovány jen ty varianty, které z pohledu přehledného shrnutí mají stěžejní význam. Při řízení zásobní funkce fiktivní nádrže v dolním profilu Kroměříž je dosaženo vypovídajících výsledků při řízení na řídicí odtok odpovídající součiniteli nalepšení $a = 0,7$. Při řízení s délkou předpovědi na jeden nebo na dva měsíce dopředu dosahuje řízení SM lepších hodnot kritéria než AŘ – P nebo AŘ – R. Při AŘ – P a AŘ – R na více než dva časové kroky dopředu dosahuje adaptivní řízení lepších hodnot kritéria než při řízení SM. Průběhy kritérií u uvažovaných způsobů řízení pro rozdílné délky předpovědi (počet časových kroků lokálního modelu) jsou zobrazeny na obr. 3.

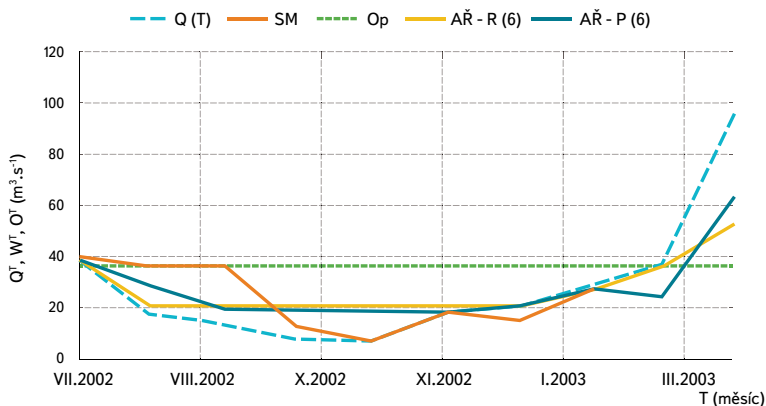


Obr. 3. Dolní profil Kroměříž – řízení na $a = 0,7$

Fig. 3. Lower profile Kroměříž – control of outflow on the $a = 0,7$

Výše uvedené skutečnosti platí téměř pro všechny uvažované hodnoty řídicích odtoků. Výjimku tvoří pouze řízení na řídicí odtok odpovídající hodnotě součinitele nalepšení $a = 0,75$, kde již i v případě délky předpovědi na jeden a dva měsíce dopředu dojde u AŘ – P a AŘ – R k lepším výsledkům, než je tomu u SM.

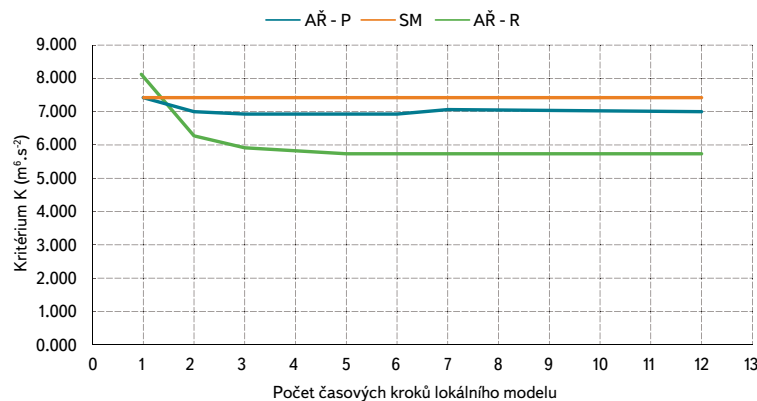
Na obr. 4 jsou znázorněny průběhy uvažovaných řízení na řídicí odtok odpovídající součiniteli nalepšení $a = 0,7$ a pro profil Kroměříž. Z důvodu přehlednosti a snadnější orientace v grafu je vybrána pouze část časového období, ve které vznikla při řízení porucha. V případě řízení SM je možno na obr. 4 vidět, že dosahuje nehlubší poruchy při vzájemném srovnání s oběma variantami adaptivního řízení. Oba případy adaptivních řízení používají délku předpovědi na šest měsíců dopředu. Délka předpovědi šest měsíců je zvolena na základě toho, že od této délky došlo k ustálení hodnoty kritéria K , kritérium se již s rostoucím počtem měsíců předpovědi (kroků lokálního modelu) významně neměnilo. Tato skutečnost je patrná z uvedeného obr. 3. V obou případech adaptivního řízení můžeme vidět, že dosahují lepších výsledků řízení, protože hloubka poruchy není tak velká jako u SM. AŘ – R zde dosahuje mírně lepších výsledků než AŘ – P.



Obr. 4. Vybraný průběh řízení v profilu Kroměříž

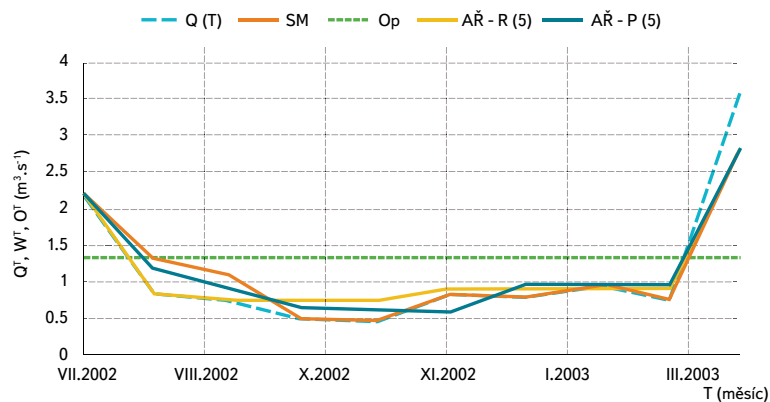
Fig. 4. Selected process of outflow control in profile Kroměříž

Při řízení zásobní funkce fiktivní nádrže v horním profilu Vlaské bylo dosaženo shodných výsledků jako u nádrže umístěné v dolním profilu Kroměříž. Výjimku tvoří pouze řízení na hodnotu součinitele nalepšení $a = 0,4$ a $a = 0,5$. Rozdíl spočívá v tom, že AŘ – P zde nedosahuje nikdy lepších výsledků než řízení SM. Důvod je především v minimálním výskytu poruchových měsíců, kdy není dostatek vody, a v nepřesnosti předpovědního modelu, která se výrazněji projeví u nižších průtoků. Obdobným způsobem jako pro dolní profil Kroměříž jsou na obr. 5 a 6 zobrazeny výsledky pro horní profil Vlaské.



Obr. 5. Dolní profil Vlaské – řízení na $a = 0,7$

Fig. 5. Higher profile Vlaské – control of outflow on the $a = 0,7$



Obr. 6. Vybraný průběh řízení v profilu Vlaské

Fig. 6. Selected process of outflow control in profile Vlaské

ZÁVĚR

Článek si kládí za cíl ověřit vliv polohy nádrže v povodí při inteligentním (adaptivním) řízení zásobní funkce nádrže. Na základě dosažených výsledků je možno konstatovat, že z pohledu počtu předpovědaných měsíců (počtu časových kroků lokálního modelu) je dosaženo v obou profilech podobných výsledků. U předpovědi na jeden až dva měsíce jsou výsledky ve většině případů horší než u řízení SM. S přírůstkem předpovědaných měsíců dojde k postupnému klesání kritéria. K ustálení kritéria dojde při řízení s předpovědi na 5 až 6 měsíců a následně se hodnota kritéria již nemění nebo se mění jen velmi málo.

Adaptivní řízení dosahovala nejlepších výsledků při vyšších hodnotách řízeného odtoku. Samozřejmě není možné nádrž, která je navržena na 0,3násobek dlouhodobého průměrného průtoku, řídit na řídicí odtok, který odpovídá 0,7násobku dlouhodobého průměrného průtoku. Ovšem v důsledku klimatických změn, při kterých lze v průběhu hydrologického roku očekávat výskyt dlouhotrvajících období sucha střídajících se s obdobími přívalemých dešťů,

můžeme očekávat výrazný pokles dlouhodobého průměrného průtoku. Podle výsledků uvedených v [19] hodnota dlouhodobého průměrného průtoku v našich tocích může klesnout o 20 až 40 %.

Při řízení zásobní funkce nádrže se pokles dlouhodobého průměrného průtoku, při zachování stávajících požadavků na odběr vody (řídící odtok), projeví tím, že dojde ke zvýšení hodnoty součinitele nalepšení α . Při uvažování pesimistického scénáře, uvažujícího s poklesem dlouhodobého průměrného průtoku o 40 %, by hodnota součinitele nalepšení, při zachování stávajícího požadavku na odběr vody, vzrostla z hodnoty $\alpha = 0,3$ na hodnotu $\alpha = 0,5$. V případě, že by došlo i ke zvýšení požadavku na odběr vody, tak se může součinitel nalepšení přiblížit hodnotě $\alpha = 0,6$. Při řízení na řídící odtok odpovídající součiniteli nalepšení $\alpha = 0,6$ dosahuje adaptivní řízení zásobní funkce nádrže dobrých výsledků u obou profilů.

Dosažené výsledky poukazují na možnost budoucího praktického použití adaptivního řízení u nádrží situovaných v horní a i v dolní části povodí. Uvedený adaptivní způsob řízení zásobní funkce by mohl být prostředkem, kterým by bylo možno v budoucnu zefektivnit způsob hospodaření s vodou v nádržích. Obecně můžou inteligentní způsoby řízení představovat podpůrný nástroj pro vodohospodářský dispečink, kterému zejména při řízení složitějších systémů s více nádržemi a s uvažováním více účelů poskytnou vhodnou podporu při procesu rozhodování.

Poděkování

Článek je výsledkem specifického výzkumu FAST-S-16-3444 *Návrh hybridní metody pro řízení zásobní funkce nádrže*.

Literatura

- [1] ZAHRADNÍČEK, P., TRNKA, M., BRÁZDIL, R., MOŽNÝ aj. The extreme drought episode of August 2011–May 2012 in the Czech Republic. 2014. *Int. J. Climatol.* doi: 10.1002/joc.4211.
- [2] ČHMÚ. *Drought in the Czech Republic in 2015: A preliminary summary*. Prague, 2015.
- [3] Mezirezort VODA-SUCHO. *Příprava realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody*. Praha, 2015.
- [4] MŽE a MŽP. *Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území*. Praha, 2011.
- [5] KOŽÍN, R., HANEL, M., KAŠPÁREK, L., aj. Možnosti zmírnění dopadů změny klimatu využitím území chráněných pro akumulaci povrchových vod. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* [online], 2015, roč. 57, č. 4–5, s. 11–17. ISSN 0322-8916. Dostupné z: http://www.vtei.cz/wp-content/uploads/2015/08/vtei_2015_4_5_moznosti_zmirneni.pdf
- [6] FOŠUMPAUR, P., KENDÍK, T. a BŘEZINA, K. Zodpovědný přístup při řešení možných změn strategického řízení nádrží. In: *XXXIV. priehradné dni 2014*. Slovenská republika, Horný Smokovec, 2014, s. 89–90. ISBN 978-80-971596-6-5.
- [7] JAIN, S.K. Reservoirs-Multipurpose. *Water Encyclopedia*, 2005, p. 382–387.
- [8] VOTRUBA, L. and BROZA, V. *Water Management in Reservoirs*. New York: Elsevier Science Ltd., 1989.
- [9] NACHÁZEL, K. a PATERA, A. Možnosti využití principu adaptivity pro řízení nádrží v reálném čase. *Vodohospodářský časopis*, 1988, roč. 36, č. 3, s. 237–265.
- [10] NACHÁZEL, K., PŘENOSILOVÁ, E. a PATERA, A. Možnosti využití principu adaptivity pro řízení kaskády nádrží v reálném čase. *Vodohospodářský časopis*, 1990, roč. 38, č. 4, s. 453–477.
- [11] NACHÁZEL, K. Nelineární programování a optimalizace adaptivního řízení nádrží v reálném čase. Část I: Optimalizace řízení v dané průtokové řadě. *Vodohospodářský časopis*, 1993, roč. 41, č. 1, s. 29–50.
- [12] NACHÁZEL, K. a PATERA, A. Nelineární programování a optimalizace adaptivního řízení nádrží v reálném čase. Část 2: Stochastický přístup k řízení. *Vodohospodářský časopis*, 1993, roč. 41, č. 4–5, s. 201–224.
- [13] MENŠÍK, P., STARÝ, M., and MARTON, D. Using Predictive Model of Mean Monthly Flows for Large Open Reservoirs Hydropower Control. *Procedia Engineering*, 2014, roč. 89, č. 12, s. 1486–1492. ISSN 1877-7058.
- [14] MENŠÍK, P., STARÝ, M., and MARTON, D. Using Predictive Models of Mean Monthly Flows for Operative Outflows Control from Large Open Reservoirs. In *Proceedings ITISE 2014. International conference on Time Series*, Spain, Granada: Copicentro Granada S. L., 2014, p. 382–395. ISBN 978-84-15814-97-9.

[15] MENŠÍK, P., MARTON, D., and STARÝ, M. Using Predictive Model for Strategic Control of Multi-reservoir System Storage Capacity. In: *SGEM Conference Proceedings. International multidisciplinary geoconference SGEM. Hydrology and Water Resources*. Bulgaria, 2015, s. 729–736. ISBN 978-619-7105-36-0. ISSN 1314-2704.

[16] MENŠÍK, P. a STARÝ, M. *SOMVS – Simulační a optimalizační model vodohospodářské soustavy*. Dostupné z: <http://uvhk.fce.vutbr.cz/somvs.php>

[17] MENŠÍK, P., STARÝ, M., and MARTON, D. Water Management Software for Controlling the Water Supply Function of Many Reservoirs in a Watershed. *Water Resources*, 2015, vol. 42, no. 1, p. 133–145. ISSN 0097-8078.

[18] MENŠÍK, P., STARÝ, M. a MARTON, D. Automatizace řešení zásobní funkce vodohospodářské soustavy. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* [online], 2015, roč. 57, č. 1, s. 2–5. ISSN 0322-8916. Dostupné z: http://www.vtei.cz/wp-content/uploads/2015/08/vtei_2015_1.pdf

[19] KAŠPÁREK, L. *Odhad objemu nádrží potřebného pro kompenzaci poklesu odtoku vlivem klimatické změny*. VÚV Praha, 2005.

Autoři

Ing. Pavel Menšík, Ph.D.

✉ mensik.p@fce.vutbr.cz

Ing. Martin Sobek

✉ martinsobek3@gmail.com

Ústav vodního hospodářství krajiny, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně

Příspěvek prošel lektorským řízením.

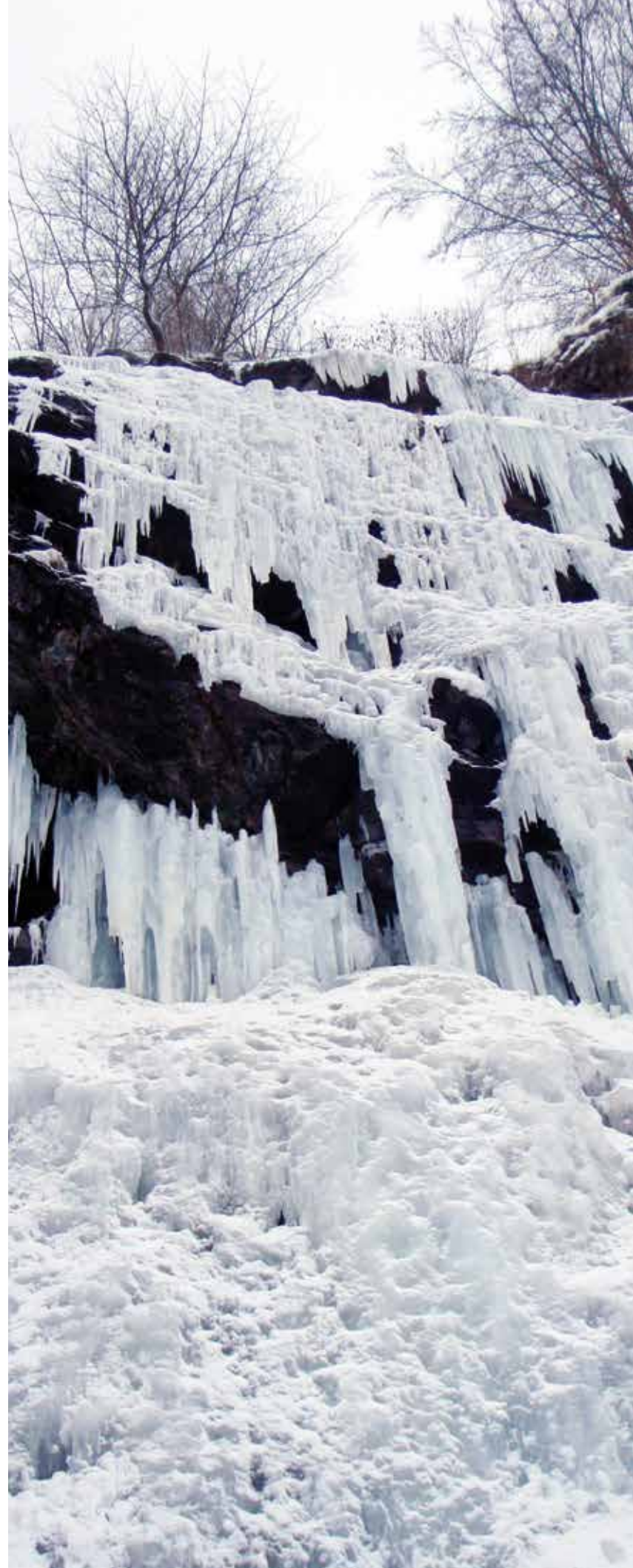
INFLUENCE OF POSITION RESERVOIR IN THE WATERSHED AT AN ADAPTIVE CONTROL OF THE STORAGE CAPACITY

MENSIK, P.; SOBEK, M.

Institute of Landscape Water Management, Faculty of Civil Engineering,
Brno University of Technology

Keywords: adaptivity — intelligent control — optimization model —
prediction model — open water reservoir — storage capacity

In recent years, it is possible to observe more frequent occurrence of hydrological extremes, there is a more frequent occurrence of floods and deepening drought. Realistically, it is possible that in case of repetitive occurrence of several longer periods of drought the storage function of some water resources may be endangered. The current state of control of active storage capacity is sufficient, but due to climatic developments may soon be insufficient. A commonly used method of control could be enhanced by the intelligent control method based on the principle of adaptivity. The success of intelligent control of active storage capacity has been demonstrated beforehand. The paper validates the influence of the position of the reservoir in the basin in intelligent (adaptive) control of active storage capacity. Adaptive control uses hydrological prediction water inflows into the reservoir, combined with optimization model. The results of article point to the fact that in some circumstances it is possible to use successfully adaptive control of the active storage capacity of reservoirs, which are situated at the top part and also the bottom part of the river basin.



Věžové vodojemy – nové využití specifického industriálního dědictví

ROBERT KOŘÍNEK

Klíčová slova: věžový vodojem – nové využití – konverze – industriální dědictví

SOUHRN

Problematika nového využívání industriálního dědictví, často označovaná pojmem konverze, je aktuálním trendem dnešní doby. Také věžové vodojemy odstavené z provozu vodovodních sítí a zbavené tak svého původního poslání mohou místo chátrání či demolice nabízet zajímavé alternativy nového života. Pojednání volně navazuje na článek *Druhý dech věžových vodojemů* vydaný autorem v roce 2012 [1].

ÚVOD

Vodojemy jakožto vodohospodářské stavby zajišťovaly (a dodnes zajišťují) tyto funkce: vyrovnávací, spočívající ve vyrovnání rozdílu mezi rovnoměrným přítokem ze zdroje vody a nerovnoměrným odběrem spotřebiště, tlakovou, spočívající v zajištění potřebného hydrostatického a hydrodynamického tlaku ve spotřebišti, rezervní, pro případ přerušení dodávek vody a poruch ve zdrojové a přítokové části systému, a protipožární [2, 3].

Jedná se o stavby výškově dominantní, které jsou v krajině často z daleka viditelné a přirozeně tak na druhou stranu poskytují výhledy do širokého okolí. Prostorově nezabírají příliš rozsáhlé části pozemku, což je na jednu stranu výhodou při jejich výstavbě (úspora zastavěného území a v souvislosti s tím úspora finančních prostředků), na druhou stranu jsou však jejich interiéry menších rozměrů a nabízejí tak omezené možnosti pro nové využití – jsou málo adaptabilní.

Celá řada věžových vodojemů byla z hlediska architektonického vystavěna zdařile. To dává těmto stavbám určitou výhodu, protože zajímavý vzhled přirozeně upoutá pohled a stává se svým způsobem přitažlivý. Chceme-li z věžového vodojemu udělat turisticky atraktivní místo, je tento aspekt do jisté míry důležitý.

Na území České republiky se podle odborných odhadů nachází více než 1000 objektů věžových vodojemů různého typu i doby jejich výstavby. Nové využití v současnosti se týká několika desítek staveb, z nichž některé budou blíže představeny.

METODIKA

Monitoring věžových vodojemů v rámci činností Společenstva vodárenských věží, jehož je autor příspěvku zakladatelem a provozovatelem, probíhá nepřetržitě od roku 2006 [4]. Jejich dokumentaci tvoří několik činností.

Prvním krokem je identifikace a lokalizace stojících i nestojících věžových vodojemů. Tato činnost je prováděna především na základě průzkumu vytipovaných lokalit, do kterých směřují průzkumy dobové i současné literatury,

obrazové dokumentace, mapových podkladů a dalších zdrojů. Konkretizace polohy u již neexistujících staveb probíhá podle dobových ortofotomap a některých dochovaných původních situačních plánů měst, obcí a podniků. Pro získání dalších informací jsou v případě svolení vlastníka či provozovatele realizovány stavebně technické průzkumy objektů přímo na místě. Prověřovány jsou státní i podnikové archivy a příslušné archivy městských a obecních úřadů. Dalším zdrojem informací jsou běžná, ale i odborná dobová periodika či monografie. Malý zlomek informací tvoří výpověď pamětníků.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Možnosti nového využití objektů průmyslového dědictví jsou různé. Rozhodujícím hlediskem je zde schopnost daného objektu přijmout novou funkci – někdy hovoříme o tzv. adaptabilitě objektu. Prostorná výrobní hala železobetonové konstrukce původního textilního průmyslu nabízí jiné varianty než prostorově omezená konstrukce úzkého dřívku věžového vodojemu. To je dáno tím, že věžový vodojem je pouze část technologického zařízení (v tomto případě vodovodu), a která je tudíž konstrukčně navržena specificky. Věžové vodojemy jsou někdy stavbami až krajně neadaptabilními, což jejich nové využití značně komplikuje [5].

Jedním z důležitých faktorů, který významně ovlivňuje reálné možnosti nového využití vodojemů, je aktuální technický stav objektu. Přestože by toto téma vydalo na samostatné odborné pojednání, lze ve stručnosti zmínit, že nejčastějším stavebně-technickým problémem objektů bývá stav stavebních materiálů – zdíva a betonových konstrukcí včetně koroze výztuží. Zde se negativně projevuje vliv zejména typického vlhkého prostředí vodojemů a střídání vnějších klimatických podmínek. Oproti tomu se většinou nevyskytují problémy se statikou objektu, což napovídá o kvalitní a správně provedené práci našich předků při zakládání těchto staveb.

Situace v zahraničí je v porovnání s Českou republikou různorodá. V zemích západní Evropy jsou přestavby věžových vodojemů za účelem nového využití častější než u nás. Z diskusních setkání s kolegy pak vyplývá, že v zemích východní Evropy se tento trend zatím příliš nerozšířil. Ukázkou jednoho ze zdařilých projektů může být rekonstrukce vodojemu v německém Joachimsthalu u Berlína, který si od města na 99 let pronajala dvojice designerů Sarah Phillipsová a Richard Hurding. Šestipatrový byt, který z téměř šedesát let staré věže vznikl, má obytnou plochu 140 m³ a směrem od přízemí se zde postupně nachází pracovny, ložnice s koupelnou, patro s druhým vchodem z přílehlé vyhlídkové věže a kuchyň s jídelnou. Nejvyšší podlaží patří obývacímu pokoji. Přestavby se ujal berlínský architekt Frank Meilchen, investovaná částka přesáhla 15 milionů korun. Dvojice pojmenovala věž Biorama, jako slovní hříčku spojující slova biosféra a panorama. Sousedící vyhlídková věž je přístupná veřejnosti [6].

Věžové vodojemy však nejsou nově využívané pouze v současné době. Vezmeme-li v úvahu, že k výstavbě prvních vodních věží docházelo na našem území v období pozdní gotiky a počátcích renesance, je zřejmé, že některé přešly sloužit svému poslání již v dávných dobách a stavby převzaly nové funkce. Vodárenská věž Šítkovské vodárny stojící od roku 1592 v jižní části Slovanského ostrova u budovy Spolku výtvarných umělců Mánes a jejíž provoz byl ukončen roku 1881, sloužila před rokem 1989 kupříkladu jako pozorovatelna Státní tajné bezpečnosti ke sledování bytu bývalého prezidenta Václava Havla [7].

Věžový vodojem však mohl také vzniknout tak, že se vložením vodárenské technologie do původního objektu zrodil nový funkční celek. Některé kamenné věže, které byly součástí hradebních systémů měst, se zánikem jejich fortifikační funkce a umístěním potrubního systému a nádrže na vodu staly věžemi vodními (např. Vysoké Mýto, Benátky nad Jizerou, Plzeň) [8].

Existují také věžové vodojemy, u kterých již v době jejich projektování bylo dáno, že budou sloužit i jinému než vodárenskému poslání. Věžový vodojem v Břeclavi dostavěný v květnu 1927 navrhl autor projektové dokumentace autorizovaný inženýr Bohumil Belada na přání břeclavské obce ve dvou variantách – v čistě vodárenské a dále navíc s kopolí pro návštěvníky. Ačkoliv došlo k realizaci právě druhé varianty, není známo, že by nakonec věž k tomuto účelu významněji sloužila. Naopak vodojem postavený na Suchém vrchu v letech 1931–32 podle plánu architekta Antonína Parkmana (obr. 1) již od počátku sloužil jako rozhledna pro turisty. Rezervoár zde již dávno není, vyhlídku si však mohou turisté užívat stále [9].



Obr. 1. Rozhledna s vodojemem na Suchém vrchu v roce 1933 (archiv Radim Heinrich)
Fig. 1. Lookout tower with a water reservoir on Suchý peak in 1933 (Radim Heinrich archive)

Paměť místa

Věžový vodojem může po svém vyřazení z běžného provozu zůstat důstojným pomníkem připomínajícím minulost daného místa. Stává se přímou vzpomínkou na vyspělost našich předků, ať již technologickou, stavební či architektonickou. Chrudimský železobetonový věžový vodojem dokončený roku 1913 v rámci rekonstrukce zdejšího vodovodu podle projektu firmy Ing. Karel Kress z Prahy [10] byl po svém dlouholetém chátrání před deseti lety z vnější části opraven a stal se součástí areálu společnosti Vodovody a kanalizace Chrudim, a. s. Barevné žlutomodré provedení fasády neodpovídá historické předloze, jedná se o barvy, ve kterých zdejší vodárenská společnost prezentuje své prostory a technologické objekty.

Impozantně působí zděný věžový vodojem stojící od roku 1907 v Plzni v areálu společnosti Plzeňský Prazdroj, a. s. Obdivovat tuto téměř 60 metrů vysokou



Obr. 2. Věžový vodojem v Dolní oblasti Vítkovice (2015)
Fig. 2. Water tower in Dolní oblast Vítkovice (2015)

stavbu (jedná se o jeden z nejvyšších věžových vodojemů na našem území) připomínající pobřežní maják mohou návštěvníci při prohlídce pivovaru [11]. Čerstvě zrekonstruovaný je rovněž věžový vodojem v areálu národní kulturní památky Dolní oblast Vítkovice v Ostravě (obr. 2), který s nádrží objemu 1200 m³ ve výšce 30 metrů nad terénem upamatovává na svou důležitost v systému vodního hospodářství bývalých vysokých pecí.

Rozhledny

Při hledání nových možností smysluplného využití nabádají věžové vodojemy svou výškovou dominancí přirozeně k přebudování na rozhlednu. Tento trend je v posledních letech také posílen skutečností, že je možno čerpat dotační prostředky například pro turistiku a cestovní ruch, na turisticky významné objekty a podobně (například ROP – Regionální operační program). Hlavním cílem oblasti podpory těchto projektů je využití potenciálu pro udržitelný rozvoj cestovního ruchu v daných regionech [12].

Aby si potencionální návštěvníci mohli užívat výhledů z věžových vodojemů, je zapotřebí zajistit bezpečnou přístupovou cestu do horních částí věže. Ideální variantou je vedení této cesty vnitřními prostory dířku. Pokud to velikost

dříku nebo jeho technické řešení neumožňují, buduje se zpravidla přístup venkovní po schodišti. Tímto způsobem se realizovala například přestavba vodojemu v Heřmanově Huti z roku 1908. Objekt patří mezi nejstarší železobetonové věžové vodojemy u nás a původně sloužil pro potřeby pivovaru ve Vlkyši [11]. Střecha akumulční části, která je nesena železobetonovými pilíři a středovým dříkem, dnes slouží jako vyhlídková terasa. Na ní se lze dostat pomocí točitého ocelového schodiště se zábradlím připojeného k objektu. Slavnostní otevření nové rozhledny proběhlo v říjnu roku 2011, cena rekonstrukce činila 3,4 mil. Kč.

Nad rovinatou krajinou u města Kolína ční v jeho západní části 45 metrů vysoký železobetonový věžový vodojem (obr. 3), z jehož rezervoáru o objemu 450 m³ proudila 7. srpna 1930 poprvé voda do rozšířeného kolínského vodu. Od druhé poloviny sedmdesátých let 20. století přestal vodojem sloužit svému původnímu poslání a postupně ztrácel svůj lesk. Ten se však nakonec podařilo obnovit, a tak se opravený vodojem stal po 85 letech veřejně přístupnou rozhlednou. Ovšem nemuselo tomu tak být. Původně totiž autor projektu Ing. Dr. Jan Vladimír Hráský počítal s tím, že železobetonová vodní nádrž bude kulovitá (čímž by se stal vodojem jediným svého druhu na našem území), a dá se tvrdit, že takto stavebně řešený rezervoár by pro přestavbu na vyhlídku nebyl příliš vhodný a možná by se záměr vůbec nerealizoval. Konečnou podobu kolínskému vodojemu nakonec vtiskl architekt František Janda [13]. Celkové rozměry a vnitřní řešení objektu umožňují výstup po původním schodišti do patra pod střešní kopulí, odkud pohledový zážitek zpřijemňují desítky informačních panelů směřujících na významné stavby, přírodní zajímavosti a další body v okolí. Součástí expozice je také stručný nástin historie kolínského vodu i vodojemu.



Obr. 3. Vyhlídková kopule kolínského vodojemu (2016)

Fig. 3. Lookout dome of the Kolín water tower (2016)

V podobném duchu je rovněž využit železobetonový věžový vodojem se zajímavou konstrukcí čínící nad Třebíčí (obr. 4) v místě zvaném Na Kostelíčku. Díky s točitému schodištěm má půdorys obdélníku, rohy jižní stěny jsou zaoblené. V horní části vystupuje z dříku válcový rezervoár, který je však umístěn mimo vertikální osu dříku a podepírají jej proto na severní straně dva pilíře. Objekt zakončuje střešní terasa, která dala jasnou odpověď na otázku v době, kdy se pro vodojem z roku 1937 hledalo nové využití. Přestavba přesahující částku 3 mil. Kč probíhala v letech 2014–2015. V prostorách dříku se nachází expozice vývoje třebíčského vodárenství (v každém podlaží vodojemu je expozice jedné z vývojových etap, v dřívě nepřístupné komoře vodojemu je možno pustit si projekce videopořadů podle vlastního výběru). Telekomunikační technika byla z hlavní vyhlídkové plošiny přemístěna na nejvyšší plošinu, aby nepřekážela návštěvníkům a zároveň aby nedošlo k poškození techniky [14].



Obr. 4. Věžový vodojem v Třebíči (2015)

Fig. 4. Water tower in Třebíč (2015)

Subtilně vyhlížející věžový vodojem ležící v areálu Národního hřebčínu Kladruhy nad Labem, státní příspěvková organizace, doznal při své přestavbě v letech 2014–2015 na rozhlednu viditelných změn, zejména v prostoru bývalé akumulace. Původní rezervoár byl odstraněn a v kruhovém vnějším plášti byly po obvodu proraženy obdélníkové okenní otvory. Přístup do patra pod vyhlídku je umožněn po dodatečně osazeném vnějším ocelovém schodišti, poslední úsek rozhledny je nutno zdolat po jednoramenném schodišti.

Galerie, expozice

V královském Nymburce nalezneme několik věžových vodojemů – secesní z roku 1904, unikátní komínový z roku 1917, drážní uvedený do provozu roku 1950 a nejstarší zdejší vodní věž zvanou Tureckou (obr. 5). Ta stojí od roku 1597 na labském nábřeží a čerpala se do ní voda přímo z řeky Labe. Půdorys stavby tvoří nepravidelný desetihran, vstupuje se do ní půlkruhovým renesančním portálem. Svému účelu přestala sloužit na počátku 1. světové války, kdy stále ještě zásobovala jednu kašnu na náměstí. V dlouhém období let 1990–2012 prošla stavba postupnou důkladnou obnovou dosahující částky 5,5 mil. Kč. Citlivě opravené interiéry včetně točitého kamenného schodiště jsou po předchozí domluvě přístupné veřejnosti a nabízejí zajímavé prostory pro připravované expozice v rámci činnosti města [15].



Obr. 5. Turecká věž v Nymburce nabízí zajímavé prostory (2016)
Fig. 5. Interior of the Turkish tower in Nymburk offers interesting spaces (2016)

Českokobulejovická vodárenská věž z roku 1724 získala svou dnešní novogotickou podobu a výšku 44 metrů při úpravě roku 1882. Zároveň zde došlo v té době k umístění válcové nýtované nádrže o objemu 250 m³ a v patře pod ní obdélníkové nádrže o objemu 38 m³, která sloužila jako záloha při čištění a opravách hlavní nádrže. Kamennou věž lze v současnosti v rámci prohlídky vystoupat po dřevěném schodišti až do patra pod válcový rezervoár a užít si zajímavé pohledy na město. V přízemí stojí za zmínku zasklený suterén s původním potrubím, u východní strany paty věže z vnější stany sgrafito od místního malíře Richarda Kristinuse zobrazující městský znak a v okolí vodárny informační panely o historickém vývoji vodovodu v Českých Budějovicích [16].

Na první pohled bizarní spojení dvou světů vzniklo ve věžovém vodojemu v Třeboni – v secesní vodárenské věži z roku 1909 postavené podle architektonického návrhu Jana Kotěry (obr. 6) je umístěna Galerie buddhistického umění. Realizace je však povedená. Teprve otevřený prostor směrem vzhůru zužujícího se válcového dířku a do kruhu zaoblené stěny dají skvěle vyniknout i více než deset metrů dlouhým pásům pláten malířského umění Mongolska, Tibetu, Číny a Japonska. První architektonické studie současných úprav interiéru vytvořil Ing. Stanislav Toman, konečnou verzi projektu pak dotvořil Štěpán Klečka. Slavnostní otevření proběhlo 19. května 2013 za přítomnosti Jeho Ctihodnosti Chamba Lamy D. Čojdzamce [17].



Obr. 6. Galerie buddhistického umění ve vodojemu v Třeboni (2016)
Fig. 6. Gallery of Buddhist art in the water tower in Třeboň (2016)

Drážní věžové vodojemy patří mezi poměrně značně ohrožené industriální dědictví. Vznikaly od poloviny 19. století v souvislosti s výstavbou parostrojní železnice na našem území. Jelikož již dlouhá léta neslouží svému poslání, jsou většinou ve špatném technickém stavu, značně zchátralé a mnohé jsou zdemolované. Přitom svými stavebními a konstrukčními parametry nabízí zajímavé možnosti pro nové využití.

Budova vodárny ve stanici Pardubice-Rosice byla postavena v roce 1871 při budování tratě z Rosic nad Labem do Havlíčkova Brodu. První patro nese dvě vodní nádrže, každou o objemu 30 m³. V levém křídle se nacházely dvě kanceláře a v pravém křídle byt strojníka. Počátkem osmdesátých let 20. století vodojem definitivně dosloužil a stal se skladištěm, později obydlím pro bezdomovce. V roce 2000 si objekt vodárny pronajal Pardubický spolek historie železniční dopravy a do roku 2003 prováděl kompletní renovaci objektu včetně opravy střechy. Postupně zde probíhala instalace exponátů a sbírkových předmětů s tematikou železniční historie, které se vážou na region Pardubicka včetně přílehlých tratí, a muzeum se zpřístupnilo veřejnosti. Stavba byla v roce 2006 prohlášena kulturní památkou ČR. Dnes jsou expozice umístěny ve všech prostorech vodárny i v jejím blízkém okolí [18].

Malé vodárenské muzeum se nachází ve vybraných prostorách kladenského vodojemu z roku 1936. Ten je unikátní tím, že se jedná o vůbec první vodojem na našem území postavený celý z oceli a obezděný cihlovým zdivem. Prostory staré vodárenské věže v historické části Plzně z první poloviny 16. století jsou zase součástí prohlídkové trasy historického plzeňského podzemí.



Obr. 7. Vodojem ve Vratimově s nepůvodním ochozem (2016)
Fig. 7. Water tower Vratimov with unoriginal gallery (2016)

Byty, místa odpočinku

Zrekonstruovat objekt věžového vodojemu k bydlení bývá poměrně těžší, než přebudovat jej na rozhlednu. Interiér většinou nenabízí dostatek potřebného prostoru, protože objekt je orientován vertikálně. Rovněž finanční náklady mohou dosahovat částek několika desítek milionů korun. Přesto existuje na našem území několik zajímavých realizací.

Přestavbu osmdesát pět let starého vodojemu ve Vratimově (obr. 7) zahájil její současný majitel v roce 2001. Postupná a citlivě pojatá rekonstrukce přeměnila vnitřní prostory na příjemné místo relaxace a atelier zároveň. Netradičně byl v objektu zachován původní kruhový rezervoár (při těchto přestavbách se nádrž zpravidla odstraní a ponechá se pouze vnější obvodový plášť), osvětlení interiéru přirozeným světlem bylo vyřešeno soustavou zrcadel. Nově došlo k vybudování nepůvodního ocelového ochozu se zábradlím vedoucího kolem horní části, tato přístavba však nenarušila celkový architektonický dojem objektu. Konverze vratimovského vodojemu byla také na konci roku 2014 prezentována na výstavě Výzkumného centra průmyslového dědictví FA ČVUT v Galerii Jaroslava Fragnera *Industriální topografie / Architektura konverzí 2005–2015*.

Ambiciózní projekt přestavby 42 metrů vysokého vodojemu v Praze-Libni započal v roce 2008. Značně zchátralý věžový vodojem se tak po 104 letech od svého postavení firmou František Schläffer dočkal opravy. V rámci rekonstrukce, jejíž projekt zpracoval architekt Zbyněk Pšenička z firmy Faber Project a která probíhala ve spolupráci s památkovým odborem, došlo k obnově vnějšího pláště vodojemu, včetně navrácení původních zdobných prvků (šambrán, říms, pilastrů a podobně), které byly v minulosti při neodborných stavebních zásazích setřeny. Pod věží začal být budován komunikační uzel propojující vlastní věž s prostory relaxačního centra, v druhé části rohového pozemku částečně zapuštěné garáže a další objekty. Vodojem je po částečné kolaudaci a je připravený na dobudování komfortního mezonetového bytu se sportovně relaxačním centrem, výtahem a podzemní garáží pro osm automobilů. Rezidence Water Tower, jak se věž nyní nazývá, je nabízena exkluzivně k prodeji za částku 130 milionů Kč. K tomu však musí budoucí vlastník připočítat přibližně dalších 50 milionů Kč na úpravy interiéru [19].

K trvalému bydlení je rovněž přizpůsoben drážní vodojem v Chotěboři nedaleko Bílku. Objekt patřil v minulosti drahám a dodával měkkou říční vodu ze studny u řeky Doubravy do dalšího drážního vodojemu na chotěbořickém nádraží. Podle letopočtu, který stavitelé vytesali do kamene umístěného nad horními okny, byl třípatrový vodojem postaven roku 1879. V jarních a letních měsících vyniká udržovaná zahrada rozprostírající se kolem vodojemu [20].

Romantická renesanční vodárenská věž v Jičíně (obr. 8) stojící na hrázi rybníku Kníže je využívána jako galerie. Vnitřní prostory stavby čtvercového půdorysu, o níž se první zmínka objevila již v roce 1502, představují koncept starobylého ubytování. Na pěti podlažích se zde nacházejí ložnice, koupelna, salonek, vstupní hala a sklepní šenk, nábytek a vybavení jsou převážně z masivního dřeva. Všechny místnosti byly rekonstruovány a vybaveny na základě návrhů odborníků na dobovou architekturu a interiéry. Ve věži mohou být po dohodě s majitelem vystavována umělecká díla [21].



Obr. 8. Podkrovní ložnice ve vodárenské věži v Jičíně (2016)
Fig. 8. Attic bedroom in a water tower in Jičín (2016)

Nosiče telekomunikační techniky a reklamy

Novou funkci může objekt věžového vodojemu získat i v době, kdy je stále ještě v provozu. Výškové stavby jsou obecně vhodné pro umístění telekomunikační techniky, jejíž rozmach se v posledních desetiletích stupňuje. Celá řada vodojemů tak nese na různých místech antény, vysílače a další zařízení, která jsou pro jejich provoz nezbytná. Umístění těchto technologických systémů však také v mnoha případech narušuje architektonický vzhled stavby a původní záměr autora návrhu. Jedním příkladem z mnoha je 50 metrů vysoká vyrovnávací věž v Praze-Radlicích, kterou ve formě tří válců postavených do trojúhelníka a vzájemně spojených konkávními skleněnými profily navrhl světově známý architekt Ing. Karel Hubáček. Dnes je horní část stavby obklopena ocelovou pěti-patrovou konstrukcí nesoucí telekomunikační zařízení a celý tento komplex zakrývá zaoblené vrcholky válců i barevné provedení horní části.

Ukázkou citlivého přístupu může být řešení provedené na věžovém vodojemu zkolaudovaného roku 1932 v Benátkách nad Jizerou (obr. 9). Na ploché střeše, která samozřejmě nabízí lepší možnosti než věž v Radlicích, je uchycena masivní ocelová příhradová konstrukce výšky 8,6 metru a hmotnosti 14 tun. Ta svým tvarem komolého čtyřbokého jehlanu hmotu věže příjemně zakončuje bez narušení celkového pohledového dojmu na konstruktivistický vodojem [22].

Věžové vodojemy nám mohou rovněž vhodně posloužit jako nosiče reklam. Často jsou tímto způsobem využívány zejména typizované ocelové montované vodojemy (např. aknagloby či hydrogloby), kdy je reklamní nápis nanášen přímo na vnější plášť akumulačního prostoru. V některých případech se místo nátěru používají reklamní bannery, které však mnohdy nepůsobí vzhledně. Běžně jsou reklamní nápisy v noci osvětleny. Kromě klasické firemní reklamy mohou vodojemy také nést znaky a symboly měst a obcí.

Z chrámu vody chrámem boha

Na našem území bychom našli jeden netradiční případ, kdy původní objekt věžového vodojemu v podstatě zanikl (přičemž ale nebyl demolován) a došlo ke vzniku zcela nové stavby. A není určitě bez zajímavosti, že uvedený příklad je přeměnou stavby ryze technické ve stavbu sakrální.

Jedná se o přestavbu vodní věže a sýpky stojící v minulosti před zámek Stránov v Jizerním Vtelnu. V horní části věže byl umístěn kotel (nádrž), který

napájela voda ze Skalského potoka a následně se rozváděla po Stránově a Vančurově. Objekty podle žádosti arcibiskupa pražského Antonína Petra z Příchovic přestavěl Jan Václav hrabě z Příchovic na kostel (provedl pražský architekt F. Hegera), jenž byl následujícího roku 1763 od zmíněného arcibiskupa zasvěcen sv. Václavovi [23].

Netradiční vývoj má za sebou také samostatně stojící zvonice kostela sv. Pavla v Ostravě-Vítkovicích. Ta byla roku 1882 navržena jako věžový vodojem (ve věži se nacházely dva ocelové vodojemy o celkovém obsahu 50 m³ umístěné 14,2 metru nad terénem) a požární pozorovatelná. Stavbu ve výšce 21,8 metru zakončovala jednoduchá stanová střecha. Z dochovaných plánů je zřejmé, že se počítalo s pozdějším dobudováním objektu na věž kostela (na plánu se doslovně uvádí „V případě potřeby může být postaveno výše a použito jako kostelní věž“). K dostavbě došlo nejspíše do října roku 1886 (věž byla zvýšena o zvonici a ukončena vysokou jehlanovou střechou), kdy byl čerstvě dostavěný kostel zasvěcen sv. Pavlovi na počest tehdejšího ředitele železáren Paula Kupelwiesera [24].



Obr. 9. Konstrukce s telekomunikační technikou na střeše vodojemu v Benátkách nad Jizerou (2015)

Fig. 9. Construction of telecommunications technology on the roof of water tower in Benátky upon Jizera (2015)

O dalších věžových vodojemech již jen stručně. Památkově chráněná vodárenská věž bývalé Petržilkovské vodárny v Praze dnes slouží jako kancelářské prostory. Tubus věže, postavené koncem 16. století, citlivě propojuje se sousední budovou ocelová prosklená lávka nad plavebním kanálem podle návrhu Ing. Petříkové. Kancelářské využití se rovněž našlo v prostorách pseudorenesančního vodojemu z roku 1894 v Mladé Boleslavi (sídlí zde Odbor stavební a rozvoje města a regionu). Na penzion a restauraci byl v letech 2005–2006 firmou Tchas, spol. s r. o., přestavěn železobetonový věžový vodojem v Bohumíně. Náročná přestavba původního objektu z roku 1935 činila přibližně 25 milionů korun, k věži na východní straně nově přiléhá šachta s proskleným výtahem a schodištěm. Ubytování systému BnB nabízí stará vodárenská věž ve Slaném na Fortenské ulici, na soukromé ubytování byl v minulosti přestavěn věžový vodojem v Brně-Řečkovických [25, 26].

Aktuální dění

I v současné době probíhá několik projektů rekonstrukcí měnící věžové vodojemy na stavby s novým využitím. Unikátní vratislavická zauhlovací věž architekta Leopolda Bauera, nesoucí ve svých útroběch zároveň vodojem, je momentálně přebudována spolkem AvantgArt, z. s., na kulturní centrum Zauhlovačka, které by mělo sloužit jednak jako výtvarný ateliér, jednak jako řemeslné dílny.

Restaurátorské práce probíhají na vodárenské věži bývalých Nových mlýnů na Novém Městě v Praze. Na jaře roku 2017 se v ní počítá s otevřením expozice o hasičích a požárech, celkové náklady jsou odhadovány na částku 50 mil. Kč. V rekonstrukci je rovněž již dávno nefunkční věžový vodojem v Praze-Michli postavený podle návrhu architekta Jana Kotěry v roce 1907, komplexní rekonstrukce by se měl také dočkat vodojem v Praze-Bubenči, který dlouhá léta sloužil čajovně a aktivitám dětí. Těm by měl být znovu zpřístupněn i po plánované opravě.

Vzácný oktogonální komín s vodojemem stojící od roku 1920 v obci Vilémov-Zahořany (obr. 10) se díky aktivitám Svazu českých komínářů a týmu Fabriky.cz podařilo zachránit a přesvědčit majitele (obec Vilémov) o jeho zachování. Komín, který je významným orientačním prvkem na nově vzniklé cyklostezce, by měl být výhledově přebudován na rozhlednu [27].

ZÁVĚR

Současný trend zvýšeného využívání věžových vodojemů k novým účelům na našem území je patrný. Aktuální jsou zejména přestavby na rozhledny doplněné muzejními prostory či expozicemi, zaměřenými převážně na vodárenství. Zázemí zde mohou také najít různé galerie a ateliéry. Přestavby na věže k bydlení patří většinou mezi projektové i finančně náročnější projekty, přesto se realizují. Vodojemy mohou také zůstat důstojnými památníky připomínajícími historii místa bez nutného užití jejich interiérů. Při jakékoliv úpravě stávajících objektů je vhodné důkladně zvážit smysl nového využití a mít zpracovaný kvalitní projekt jak po stránce stavební, tak architektonické. Věžové vodojemy jsou nám stále na očích.

Literatura

- [1] KOŘÍNEK, R. Druhý dech věžových vodojemů. *SOVAK – Sdružení oboru vodovodů a kanalizací 3/2012*, s. 14–17.
- [2] CHEJNOVSKÝ, P. *Zdravotní vodohospodářské stavby: akumulace vody – vodojemy*. Praha 2011, s. 9.
- [3] ČSN 75 5355. *Vodojemy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [4] Společenstvo vodárenských věží. Dostupné z <http://www.vodarenskeveze.cz>
- [5] VONKA, M., KOŘÍNEK, R., HOŘICKÁ, J. a PUSTĚJOVSKÝ, J. *Kominové vodojemy. Situace, hodnoty, možnosti*. Praha, 2015, s. 47, 51.
- [6] KAZDOVÁ, M. *Manželé si ve staré vodárenské věži postavili neuvěřitelný šestipatrový byt*. Publikováno 2010. Dostupné z: <http://bydleni.idnes.cz>
- [7] Společenstvo vodárenských věží. *Věžový vodojem – historická vodárenská věž Praha-Nové Město*. Dostupné z: <http://www.vodarenskeveze.cz>
- [8] KOŘÍNEK, R. Vodárenské věže. 1. část: Nejstarší vodní věže. *SOVAK – Sdružení oboru vodovodů a kanalizací 3/2013*, s. 20–23.
- [9] KOŘÍNEK, R. Vodárenské věže. 3. část: Vrcholná díla v meziválečném období. *SOVAK – Sdružení oboru vodovodů a kanalizací 5/2013*, s. 12–15.
- [10] Státní okresní archiv Chrudim. *Fond Okresní úřad Chrudim I 1850–1945*.
- [11] BERAN, L., VALCHÁŘOVÁ, V. a ZIKMUND, J. (eds). *Industriální topografie / Plzeňský kraj*. Praha, 2013, s. 55–57, 71–72.
- [12] [Dotacni.info](http://www.dotacni.info) – největší portál o dotacích v ČR. Dostupné z: <http://www.dotacni.info>.
- [13] ČECH, A. Dva důležité sociální podniky v Kolíně, 1. Městský vodovod. *Věstník odboru klubu čsl. turistů v Kolíně – Vlastivědný sborník středního Polabí*. Kolín, 1929, s. 134–137.
- [14] HEDBÁVNÝ, J. Věžový vodojem Kostelíček s vyhlídkovou plošinou na Strážné hoře v Třebíči. *SOVAK – Sdružení oboru vodovodů a kanalizací 9/2015*, s. 3–4.
- [15] ČERNÝ, J. a SÝKORA, F. Zastavení Turecká věž. *Manuál turistického průvodce Nymburkem* (rukopis), 2016.
- [16] Vodárenská věž. Dostupné z: <https://www.vodarenskeveze.cz>.
- [17] Galerie buddhistického umění. Dostupné z: <http://www.asian-center.cz>.

- [18] Kolektiv autorů. *Museum Rosice nad Labem*. Pardubice, 2010.
- [19] Společenstvo vodárenských věží. *Věžový vodojem Praha-Libeň*. Dostupné z: <http://www.vodarenskeveze.cz>
- [20] ČILA, R. *Historie výtopny – lokomotivního depa Jihlava, Vodárny a vodárenská zařízení* (rukopis). 2012, s. 34–36.
- [21] Věž Jičín, Kulturní památka ČR. Dostupné z: <http://www.vezjicin.cz>
- [22] PAVLÍK, O. *Věžové vodojemy na Mladoboleslavsku*. Mladá Boleslav, 2012, s. 43–46.
- [23] PAVLÍK, O. *Stručná historie Mladoboleslavského vodárenství II*. Mladá Boleslav, 2005, s. 56.
- [24] MATĚJ, M. *Kulturní dědictví Vítkovických železáren*. Ostrava, 2014, s. 164–165.
- [25] Společenstvo vodárenských věží. *Věžový vodojem – historická vodárenská věž Praha-Smíchov. Věžový vodojem Mladá Boleslav. Věžový vodojem Bohumín-Nový Bohumín*. Dostupné z: <http://www.vodarenskeveze.cz>.
- [26] Airbnb. Dostupné z: <https://www.airbnb.cz>
- [27] VONKA, M., KOŘÍNEK, R., HOŘICKÁ, J. a PUSTĚJOVSKÝ, J. *Kominové vodojemy. Situace, hodnoty, možnosti*. Praha, 2015, s. 105–107.

Autor

Ing. Robert Kořínek, Ph.D.

✉ robert_korinek@vuv.cz

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

Příspěvek prošel lektorským řízením.



Obr. 10. Návrh využití kominového vodojemu v Zahořanech jako rozhledny (autoři návrhu Jana Hořická a Jan Pustějovský, 2015)

Fig. 10. Proposal for the use of the water chimney reservoir as a lookout tower in Zahořany (authors of proposal Jana Hořická and Jan Pustějovský, 2015)

WATER TOWERS – RE-USE OF SPECIFIC INDUSTRIAL HERITAGE

KORINEK, R.

TGM Water Research Institute, p. r. i.

Keywords: water tower – new usage – conversion – industrial heritage

The issue of a new usage of industrial heritage (often referred to the concept of conversion) is the current trend of today. Also, water towers shutdown from water networks and stripped of their original mission can offer instead of decay or demolition attractive alternatives to new life. Treatise loosely based on article *Second breath of water towers* published by author in 2012.



Hydrologické modelování srážko-odtokového procesu v povodí Husího potoka

JANA UHROVÁ, KAMILA ZÁRUBOVÁ

Klíčová slova: povodí Husího potoka – odtok – srážka – srážko-odtokový model – schematizace – HEC-HMS – krajinný pokryv

SOUHRN

Cílem projektu QJ1520268 Nové postupy optimalizace systémů integrované ochrany území v kontextu jejich ekonomické udržitelnosti, který je řešen na pracovišti brněnské pobočky VÚV TGM, v. v. i., je vytvoření návrhu systému optimalizace hospodaření s vodními i půdními zdroji v dlouhodobém horizontu, včetně jejich bilancování v systému půda-rostlina-atmosféra. Současně řešení sleduje omezení dopadů klimatických změn na zemědělské ekosystémy, což je v současnosti velmi aktuální problém. Pro posouzení vlivů konkrétních změn v povodí Husího potoka byl vytvořen srážko-odtokový (S-O) model v programu HEC-HMS, který bude nadále sloužit pro další posuzování reálných návrhů ochranných opatření v ploše povodí i modelových scénářů využití krajiny. Příspěvek se věnuje popisu vytvoření S-O modelu, který bude dále použit pro posuzování funkčnosti návrhů protierozních a protipovodňových opatření. Prozatím byly testovány tři různé scénáře pokryvu – stávající stav využití území, návrh plošných ochranných opatření na zemědělské půdě a zatravnění všech ploch vedených v kategorii orná půda.

ÚVOD

Cílem řešeného projektu je na pilotním území navrhnout komplexní integrovanou ochranu území a řízení vodního režimu se zaměřením na organizaci území a optimální orientaci vývoje zemědělského a lesního hospodaření. Pilotní území – povodí Husího potoka – bylo pro návrh vybráno zejména na základě posouzení povodňového nebezpečí z přívalových srážek, které charakterizují zejména specifické fyzicko-geografické podmínky, pedohydrologické vlastnosti a způsoby užívání území [1]. Vybrané povodí bylo také postiženo katastrofální povodňovou událostí v červnu 2009. Ve městě Fulnek, nacházejícím se ve středu povodí přímo na Husím potoce, se škody způsobené povodněmi vyšplhaly na částku 297 mil. Kč, v obci Hladké Životice dosáhly škody 17 mil. Kč. Což dohromady představovalo téměř 10 % z celkových škod vzniklých při události v Moravskoslezském kraji [2]. V povodí se nachází lokality mimořádně silně ohrožované nebezpečnými odtoky z přívalových srážek, které vedou k četným povodňovým situacím, doprovázeným intenzivní vodní erozí a transportem splavenin.

V následujících kapitolách je popsáno vytvoření S-O modelu v programu HEC-HMS (Hydrology Engineering center – Hydrologic modeling system) [3] vyvinutý v US Army Corps of Engineers pro posouzení vlivů konkrétních změn v povodí Husího potoka a možnosti vyhodnocení jejich vlivu na odtokové stavy z povodí. Model byl sestaven pro povodí, kde byla pro kalibraci využita povodňová situace z května 2010 a pro verifikaci posloužila povodňová situace z července 1997. Na vytvořených verifikovaných modelech byly následně provedeny

simulace dvou příznivých scénářů využití území. Při prvním scénáři byla na jednotlivých plochách orné půdy navržena plošná ochranná protierozní opatření (organizační a agrotechnická opatření). Druhý scénář počítal se zatravněním všech orných ploch v povodí.

MATERIÁLY A METODA VYTVORENÍ HYDROLOGICKÉHO MODELU

Jediný monitorovaný měrný profil kategorie B (vedený na hlásné a předpovědní povodňové službě ČHMÚ pod číslem 266, databankové číslo stanice 2511) se záznamem průtoku v hodinovém kroku z požadovaných období výskytu událostí v povodí Husího potoka se nachází na Husím potoce (ř. km 10,36) před vtokem levostranného přítoku Gručovky ve městě Fulnek a je provozován ČHMÚ. Proto bylo pro prvotní srážko-odtokový (S-O) model uvažováno povodí pro závěrový profil ve městě Fulnek, které zaujímá plochu 58,97 km², což je zhruba 41 % celého povodí Husího potoka.

Prvním nezbytným krokem pro vytvoření S-O modelu je schematizace povodí, tj. rozdělení na dílčí povodí, z nichž každé má své specifické vlastnosti. Hlavním vstupem pro schematizaci i stanovení základních vstupních parametrů byl digitální model terénu 4. generace (DMT 4G), získaný od ČÚZK, který zobrazuje upravený zemský povrch v digitálním tvaru ve formě výšek diskretních bodů v pravidelné síti (5 x 5 m) bodů s úplnou střední chybou výšky 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu. Tato 4. generace DMT byla vytvořena metodou leteckého laserového skenování, které proběhlo v letech 2009 až 2013. Schematizace byla vytvořena v prostředí GIS za pomoci nástroje HEC-GeoHMS [3], který byl využit ke zpracování DMT, určení rozvodnic a říční sítě, určení finální podoby členění povodí a říční sítě. Zároveň byl použit i pro výpočet některých fyzicko-geografických charakteristik povodí soutokových uzlů a k nim se vztahujících dílčích úseků vodních toků, které tvoří vstupní parametry S-O modelu a jsou uvedeny v *tabulce 1*. Řešené území bylo rozděleno na 19 dílčích povodí s plochou v rozmezí zhruba 0,15–11 km² (*obr. 1*).

Do programu HEC-HMS vstupuje schematizované povodí, tj. úseky a jejich charakteristiky (délky, průměrné sklony, rozměry, drsnosti) a k nim zavěšené plochy a jejich charakteristiky (plocha, sklon aj.) podle zvolených výpočtových metod. Rozměry a drsnosti úseků toků byly stanoveny velice podrobně na základě terénních měření, která proběhla v létě tohoto roku. V rámci těchto měření byly šetřeny jednotlivé typově rozdílné úseky toků tak, aby byly v každém stanoveném úseku zaměřeny a zmapovány nejméně dva prizmatické úseky. Došlo tak k vytvoření podrobné databáze informací o stavu toků v povodí Husího potoka a stanovení vypovídajících charakteristik pro každý úsek. Pro výpočet jednotlivých komponentů odtoků je v HEC-HMS na výběr několik metod. Pro naše podmínky byla pro výpočet zvolena metoda SCS CN,

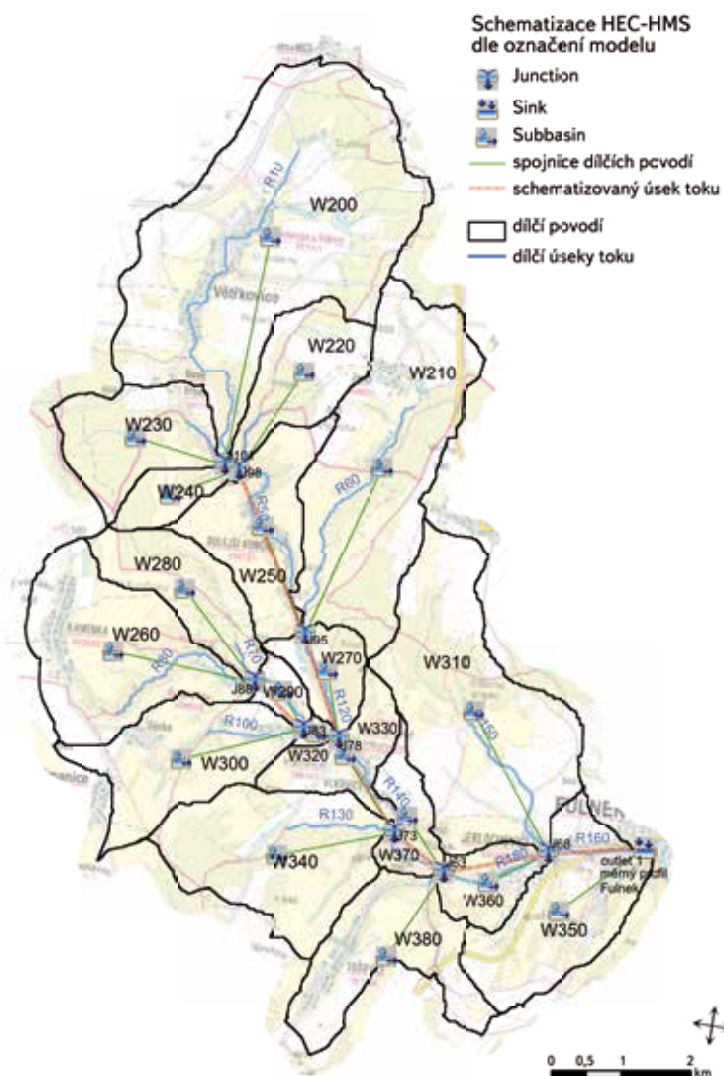
Tabulka 1. Vstupní parametry do modelu – charakteristiky dílčích povodí
 Table 1. Input parameters for the model – characteristics of subbasins and reaches

Dílčí povodí						Charakteristiky úseků toků					
Ozn. povodí	Plocha dílčího povodí [km ²]	CN povodí [-]	Prům. sklon [%]	Čas koncentrace T _c [hod]	Podíl neprop. ploch [%]	Ozn. úseku	Šířka ve dně b [m]	Sklon svahů 1: m	Drsnostní součinitel n [-]	Délka [m]	Podélný sklon [-]
W200	11,154	74,28	6,44	3,57	4,22	R10	1,5	1,0	0,048	6057,70	0,0132
W210	6,556	65,11	11,64	2,50	3,36	R60	1,1	2,0	0,072	4188,17	0,0260
W220	2,168	63,60	10,47	0,82	0,56	R40	1,7	0,7	0,096	916,08	0,0379
W230	2,423	62,44	9,44	0,89	0,45	R20	0,9	1,2	0,075	940,08	0,0276
W240	0,822	54,57	12,36	0,29	0,00	R30	1,9	0,8	0,080	218,99	0,0222
W250	2,862	66,29	15,57	1,66	2,45	R50	2,1	1,2	0,046	3220,28	0,0147
W260	4,371	70,14	10,91	1,58	7,77	R80	1,6	1,5	0,079	2718,64	0,0331
W270	1,113	60,87	17,79	1,10	0,32	R120	3,5	1,0	0,061	1741,10	0,0130
W280	2,139	59,89	9,64	0,71	0,00	R70	1,2	0,6	0,078	676,05	0,0276
W290	0,469	79,27	10,39	0,62	5,05	R90	2,1	0,7	0,079	1081,90	0,0249
W300	3,189	71,86	10,71	0,94	8,49	R100	1,2	1,0	0,062	1488,22	0,0334
W310	6,638	70,85	10,69	1,58	0,60	R150	0,8	1,1	0,068	2674,82	0,0212
W320	0,151	76,70	9,50	0,40	24,39	R110	1,2	1,4	0,048	571,13	0,0178
W330	1,546	74,36	10,59	1,04	15,46	R140	1,8	1,1	0,052	1819,59	0,0086
W340	4,320	68,28	12,21	1,13	0,00	R130	1,4	1,1	0,070	1801,56	0,0188
W350	3,462	72,90	14,30	0,76	24,31	R160	4,4	1,0	0,032	1394,87	0,0067
W360	1,125	70,99	15,60	0,84	24,40	R180	3,2	1,0	0,048	1614,18	0,0087
W370	1,022	73,01	15,09	0,60	2,69	R170	3,6	0,6	0,058	1079,83	0,0101
W380	3,031	72,90	12,73	0,18	6,01	R190	1,7	1,4	0,078	218,14	0,0347

a tedy dalšími definovanými parametry plochy dílčích povodí byly průměrné hodnoty čísla odtokových křivek (CN – Curve Number), čas koncentrace T_c, podíl nepropustných ploch a počáteční ztráty.

Většina vstupních ukazatelů byla stanovena v prostředí GIS za pomoci nástrojů Geo-HMS a Spatial Analyst. Pracovní postup stanovení čísel CN v prostředí GIS spočívá v sestavení vektorové vrstvy kombinující vrstvu HSP a vrstvu využití území. Jednotlivým vzniklým kombinacím HSP a využití území

byly přiřazeny konkrétní hodnoty čísla CN čerpané z metodického postupu Ochrana zemědělské půdy před erozí [4]. Hodnoty CN reprezentují vlastnosti povodí – půdní poměry, využití území (tabulka 2) a předchozí vláhové podmínky. Důležitým faktorem z hlediska tvorby odtoku a tedy i retence povodí je také nasycenost povodí před povodňovou událostí. Předchozí vlhkosti půdy určované na základě pětidenního úhrnu předcházejících srážek, resp. indexu předchozích srážek (IPS) na IPS II.



Obr. 1. Schematizace pro HEC-HMS

Fig. 1. Schematization to HEC-HMS

Tabulka 2. Podíl kultur při současném využití krajinného pokryvu v povodí

Table 2. Actual land use in the basin

Název kultury LPIS	Plocha [m ²]
rychle rostoucí dřeviny	73040,1
travní porost (na orné půdě)	826381,0
jiná trvalá kultura	2556,0
školka	6839,6
zalesněná půda	148128,7
jiná kultura	349,7
standardní orná půda	15564650,6
ovocný sad	29311,5
trvalý travní porost	18085022,6
úhor	66260,6

Volba metody transformace přímého odtoku je klíčovou součástí metodického postupu, neboť přímo určuje tvar vlny, a tím i velikost kulminačního průtoku. V této práci byl využit jednotkový hydrogram podle Clarka (Clark unit hydrograph). S ohledem na stanovenou metodu výpočtu SCS CN byl čas koncentrace T_c vypočítán podle vzorce SCS (Soil Conservation service) (rovnice 2), vycházející z T_{LAG} (rovnice 1), což je časový posun v hodinách mezi výskytem maxima příčné srážky a výskytem kulminačního průtoku v počítaném závěrovém profilu [5].

$$T_{LAG} = \frac{(3,281 \cdot L^{0,8} \cdot (0,0394 \cdot A + 1)^{0,7}}{(1900 \cdot \sqrt{Y})} \quad [\text{h}] \quad (1)$$

kde L je délka údolnice [m],
 A potencionální retence povodí vyjádřená pomocí CN křivek [mm] (rovnice 3),
 Y průměrný sklon povodí [%].

$$T_c = 1,67 \cdot T_{LAG} \quad [\text{h}] \quad (2)$$

$$A = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad [\text{mm}] \quad (3)$$

Pro výpočet podzemního odtoku byla využita recesní metoda (recession) a odtok v korytě byl stanoven s využitím metody Muskingum-Cunge. Metoda je založena na aproximaci kombinace rovnice kontinuity a difúzní formy momentové rovnice [6] a podrobněji je popsána např. [7].

Základem odtoku velkých vod, potažmo přirozené retence povodí jsou srážky, které jsou do modelu zadávány ve formě časové řady (hyetogramu). Pro stanovení charakteristik využitých příčných dešťů (tabulka 3) bylo využito dat pozemních srážkoměrných stanic Mošnov a Vítkov provozovaných ČHMÚ.

Pro kalibraci byla použita časová řada srážek ze stanice Mošnov a průtoků v profilu Fulnek v období 27. května 2010 (12:00)–29. května 2010 (23:00) a pro verifikaci pak událost, která proběhla v období 6. července 1997 (0:00)–9. července 1997 (23:00), zde byla použita časová řada srážek ze stanice Vítkov. V obou případech byly dosaženy hodnoty v hodinovém kroku.

Tyto dva příčné deště byly vybrány z několika řad měřených dat, které byly z důvodu řady nekválit či nepoužitelnosti současně s daty odtokovými, jako základní vstupní data, vyloučeny. Rozpory mezi odtokovými daty a daty ze srážkoměrných stanic (zejména nepromětnutí srážek do odtoku či naopak) jsou způsobeny zejména velkou vzdáleností srážkoměrných stanic od měrného profilu Fulnek. Stanice Vítkov se nachází ve vzdálenosti zhruba 12,74 km a stanice Mošnov (na Mezinárodním letišti Leoše Janáčka) ve vzdálenosti 14,73 km vzdušnou čarou.

Pro posouzení shody modelovaného a měřeného hydrogramu v závěrovém profilu S-O modelu bylo použito Nash-Sutcliffe kritérium E [8] (rovnice 4), které je pravděpodobně nejpoužívanějším kritériem při hodnocení hydrologických modelů.

$$E = 1 - \frac{(\sum_{i=1}^n (Q_{OBi} - Q_{SIMi})^2)}{(\sum_{i=1}^n (Q_{OBi} - \bar{Q}_{OB})^2)} \quad [-] \quad (4)$$

kde Q_{OBi} je pozorovaný průtok pro daný časový krok [m³/s],
 Q_{SIMi} simulovaný průtok pro daný časový krok [m³/s],
 \bar{Q}_{OB} průměrný pozorovaný průtok pro celou časovou řadu [m³/s].

Tabulka 3. Charakteristiky využitých příčinných dešťů
Table 3. Characteristics of casual rain

Období povodňové události	Srážkoměrná stanice	Délka trvání deště td [min]	Celkový úhrn deště Hs [mm]	Intenzita příčinného deště id [mm.min ⁻¹]	Kulminační průtok [m ³ .s ⁻¹]
1997	Vítkov	4 620	234,6	0,0508	44,1
2010	Mošnov	360	4,7	0,0131	5,1

Pokud platí kritérium shody $E = 1$, jedná se o absolutní shodu. Když je $E \geq 0,5$, jedná se o uspokojivou shodu, a pokud je $E < 0,5$ (může nabývat hodnot až do $-\infty$), pak jde o neuspokojivou shodu a simulovaný hydrogram není dostatečně kvalitní.

Na verifikovaných modelech byly následně provedeny simulace dvou příznivých scénářů využití území, které byly reprezentovány především změnou parametrů CN. První scénář spočíval v návrhu tzv. organizačních a agrotechnických opatření na zemědělsky využívané půdě, návrh byl proveden se zaměřením na ochranu půdy před projevy vodní eroze (obr. 2). Z celkové plochy 34,7 km² orné půdy bylo navrženo na cca 35,4 % plošně ochranné opatření. Vyloučení pěstování erozně nebezpečných plodin je navrženo na 17,2 % orné půdy, tedy že půda bude osázena úzkořádkovými plodinami dostatečně kryjící povrch půdy v období výskytu přívalových srážek. A dále byla navržena agrotechnická opatření na cca 13,3 % orné půdy s ponecháváním posklizňových zbytků, s předpokladem dobrých hydrologických podmínek. K trvalému zatravnění je navrženo 4,9 % orné půdy. Druhý scénář spočíval v zatravnění veškeré orné půdy, cca 46,1 % plochy povodí.

DOSAŽENÉ VÝSLEDKY A DISKUSE

Cílem hydrologického modelování je vytvořit takový srážko-odtokový model, který by se co nejvíce blížil skutečnému chování povodí, tedy skutečným měřeným průtokům. Toho lze dosáhnout optimalizací vhodných parametrů popisujících systém právě při procesu kalibrace a ověřením kalibrovaného modelu v procesu verifikace.

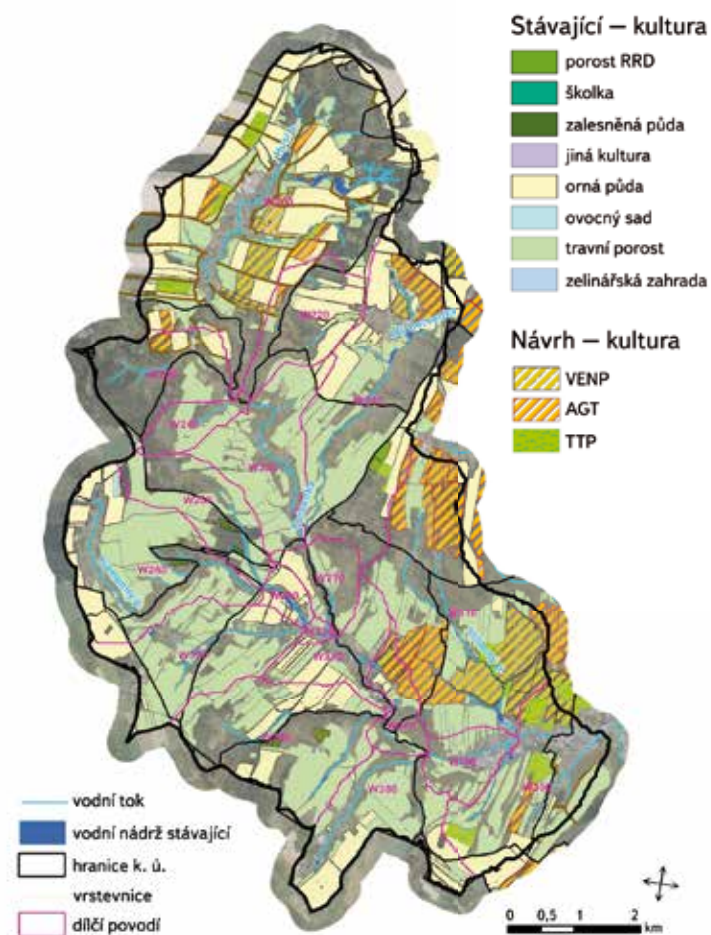
Kalibrace modelu

Pro kalibraci byla použita časová řada srážek ze stanice Mošnov a průtoků v profilu Fulnek z května 2010 s hodinovým krokem s dosaženým kulminačním průtokem 5,1 m³/s.

V rámci ruční kalibrace byly kalibrovány tyto parametry:

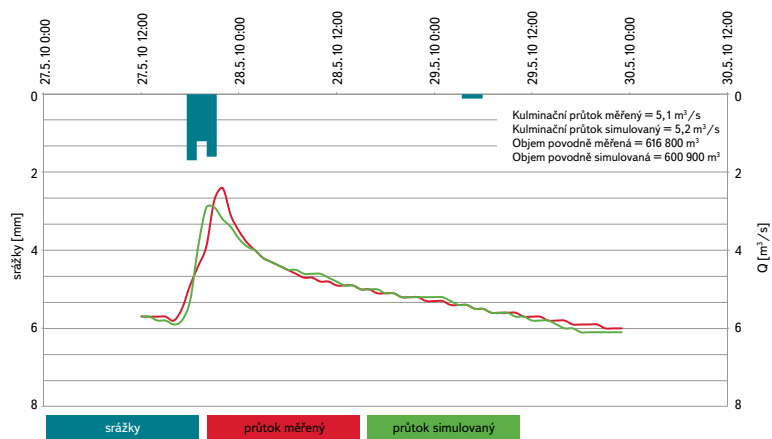
- počáteční ztráta (Initial abstraction) [mm],
- číslo CN (Curve number) [-],
- zásobní koeficient (storage coefficient) [h],
- čas koncentrace (time of concentration) [h],
- recesní konstanta (recession constant) [-],
- konstanta ratio to peak [-].

Po kalibraci byla provedena automatická optimalizace s maximálním počtem iterací 100 pro zpřesnění kalibrovaných hodnot. Kalibrované hodnoty byly optimalizací zpřesněny, změny těchto parametrů se pohybovaly v průměru řádově v jednotkách %, pro čísla CN byl vyhodnocen index změny roven jedné, tedy beze změny.



Obr. 2. Variantní návrh plošných protierozních opatření v povodí Husího potoka (VENP – vyloučení erozně nebezpečných plodin, AGT – agrotechnická opatření, TTP – trvalý travní porost)

Fig. 2. Variant designing of erosion control measures in “Husí potok” basin (VENP – exclusion of dangerous erosion crops, AGT – agro-technical measures, TTP – permanent grassland)



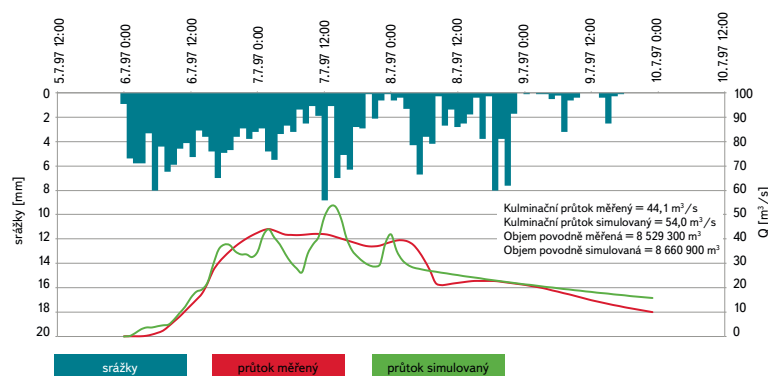
Obr. 3. Kalibrace S-O modelu

Fig. 3. Calibration of precipitation-runoff model (blue – precipitation, red – observed, green – simulated)

Po kalibraci modelu (obr. 3) na použitou událost z roku 2010 byla vypočítaná hodnota Nash-Sutcliffe kritéria shody $E = 0,904$, přičemž vypočítaný kulminační průtok dosáhl hodnoty $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ a objem povodně byl oproti skutečnému naměřenému stavu o 1,4 % vyšší. Po optimalizaci kalibrovaných parametrů byla hodnota kritéria $E = 0,933$, přičemž kulminační průtok dosáhl hodnoty $5,6 \text{ m}^3/\text{s}$ a objem povodně byl oproti skutečné o 0,9 % nižší. Z dosažených výsledků bylo možné kalibraci tedy považovat za uspokojivou a vhodnou pro následnou verifikaci modelu.

VERIFIKACE MODELU

Verifikace je ověření správnosti kalibrace na jiné povodňové události. Pro verifikaci byly použity srážky z července 1997 s hodinovým krokem. V tomto období nastala dlouhodobá kulminace (více než jednodenní) s maximálním kulminačním průtokem $44,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (obr. 6). Jedná se o velmi významnou povodňovou událost, kdy byl překročen stoletý průtok, který v profilu Fulnek činí $39,8 \text{ m}^3/\text{s}$ [9].



Obr. 4. Verifikace S-O modelu

Fig. 4. Verification of precipitation-runoff model (blue – precipitation, red – observed, green – simulated)

Pouhým pohledem by se mohlo zdát, že shoda hydrogramů byla velmi malá (obr. 4), avšak hodnotící kritérium dosáhlo hodnoty $E = 0,854$, což je přijatelné. Odlišný tvar hydrogramů může být způsoben zejména tím, že srážkoměrná



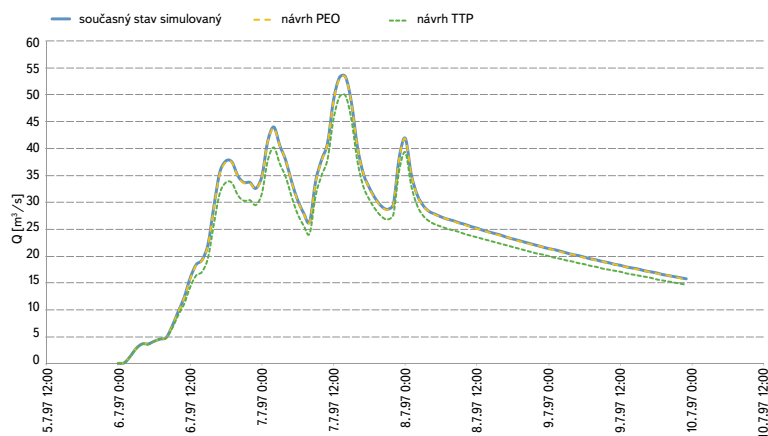
stanice Mošnov, ze které byly použity srážky, se nachází mimo povodí Husího potoka ve vzdálenosti téměř 15 km od měrného profilu ve Fulneku. Nepřesnost může způsobit také zvolená metoda SCS, tato rozkolísanost bude v budoucnu podrobena analýze. I přes vyšší vypočítaný kulminační průtok (54,0 m³/s) oproti skutečně naměřenému o zhruba 17 % je vypočítaný objem povodně pouze o 0,2 % nižší. Objem povodně je pro naše stanovení zásadní kritérium. Proto byla i verifikace považována za přijatelnou a tento model, zejména jeho hodnoty kalibračních koeficientů a kalibrovaných parametrů, se stane při následném modelování vstupem pro simulování vlivu stávajících i navrhovaných ochranných opatření v povodí.

VÝSLEDKY SIMULOVANÝCH SCÉNÁŘŮ KRAJINNÉHO POKRYVU

Na verifikovaných modelech byly následně provedeny simulace dvou příznivých scénářů využití území, které byly aplikovány do obou namodelovaných událostí (květen 2010 a červenec 1997). Pro další analýzy byla vybrána událost z července 1997, kde byl význam krajinného pokryvu na odtokové charakteristiky výraznější podle rozdílů zaznamenaných v kulminaci i objemu povodně (obr. 5).

Prvním simulovaným scénářem byl návrh plošných ochranných opatření (vyloučení erozně nebezpečných plodin, použití agrotechnologických postupů a návrh na částečné trvalé zatravnění) (obr. 2). Návrhem došlo ke snížení hodnot CN v dílčích povodích v průměru o 0,6 % (maximálně o 3,7 %), což mělo za následek pouze nepatrné snížení kulminačního průtoku i objemu povodně. Maximální kulminační průtok byl oproti simulovanému snížen z hodnoty 54,0 m³/s na 53,2 m³/s. Došlo tedy k jeho snížení o 1,5 %. Objem povodně by v případě aplikace návrhů PEO v povodí v uvažovaném rozsahu byl snížen o 1,7 % z hodnoty 8 660 700 m³ na 8 516 900 m³, přičemž objem skutečně měřené povodně činil 8 529 300 m³.

Druhým simulovaným scénářem byl návrh trvalého zatravnění na všech plochách orné půdy. Aplikací došlo k výraznějšímu snížení hodnot CN v dílčích povodích, v průměru o 4,2 % (maximálně o 12,6 %). Při tomto scénáři došlo již k patrnějšímu snížení maximálního kulminačního průtoku i objemu povodňové vlny. Maximální kulminační průtok byl oproti simulovanému snížen z hodnoty 54,0 m³/s na 49,8 m³/s, tedy došlo ke snížení o 7,8 %. Objem povodně by byl v případě aplikace ochrany ploch orné půdy formou zatravnění snížen o 8,7 % z hodnoty 8 660 700 m³ na 7 906 000 m³.



Obr. 5. Porovnání hydrogramů odtoku v závěrovém profilu při variantním využití území pro srážkovou událost z července 1997

Fig. 5. Comparison of hydrographs in the outfall with two variants in land use (precipitation July 1997) (blue – simulated, yellow – agrotechnical and organizational erosion control measures, green – grassland on all agricultural soil)

ZÁVĚR

Velkým problémem u takto malých povodí, jako je povodí Husího potoka, je častá absence podrobného měření proběhlých srážko-odtokových událostí, což je částečně případ i povodí Husího potoka. V povodí se sice nachází měrný profil se záznamem průtoků ve městě Fulnek, chybí však měření průtoků tokem těsně před jeho zaústěním do Odry a srážkoměrná stanice s dlouhodobým záznamem dat umístěná přímo v povodí. Až v rámci řešení projektu QJ1520268 byl v povodí Husího potoka rozšířen monitorovací a informační systém (MIS) o 4 nevyhřívané srážkoměry a 4 hladinoměry pro získání dat přímo z povodí. S ohledem na měrný profil byl vytvořen hydrologický model v programu HEC-HMS jen pro část povodí Husího potoka nad profilem, na kterém byly vyhodnoceny dvě srážko-odtokové epizody v různých časových obdobích (z července 1997 a května 2010). Popsanou kalibrací a verifikací byl vytvořen prvotní odhad kalibračních veličin, které budou dále zpřesňovány. Budou následovat práce, jejichž cílem bude další zpřesňování modelu, zaměřené zejména na větší podrobnost schematizace. Při jemnější schematizaci dojde ke zpřesnění vstupních charakteristik dílčích povodí i úseků toků. Poté bude provedena nová kalibrace a verifikace, kde bude pravděpodobně zakomponována událost z června 2009, která je svým úhrnem a charakterem více podobná události z května 2010, na kterou byl model kalibrován. Tím by mělo dojít ještě ke zpřesnění jak vstupních, tak i kalibrovaných charakteristik a tento model se poté stane výchozím modelem pro celé povodí Husího potoka.

Na vytvořeném prvotním modelu byly dále simulovány scénáře změn krajinného pokryvu formou návrhu plošných ochranných opatření proti vodní erozi půdy na orné půdě (agrotechnická a organizační opatření a návrh TTP) pro zjištění vlivu způsobu využití území v povodí. Z dosažených výsledků je patrné, že pouze změna krajinného pokryvu není dostatečnou protipovodňovou ochranou pro snížení kulminačního průtoku při typově podobných srážkových událostech, jaké byly na území aplikovány.

Při srážko-odtokovém modelování je také třeba počítat s tím, že jak do výpočtů vstupních parametrů, tak i následně do samotného modelu vstupuje řada nejistot a nepřesností. Chyby v měření průtoků při měření vodního stavu jsou asi 1 cm a hlavní zdroj nejistoty nastává při převodu naměřených vodních stavů na průtokové veličiny. U měřených srážkových dat může mít například velký vliv působení větru (2–15 %) a další náhodné i systematické chyby. Celkově se tedy chyby v měření pohybují okolo 10–15 % [10].

I přesto lze s ohledem na Nash-Sutcliffe kritérium „E“ považovat kalibrované a následně verifikované modely povodí za dostatečně vypovídající a funkční, aby se jejich parametry mohly stát zdrojem pro vytvoření jemnějšího modelu a dále modelu pro celé povodí Husího potoka. Ten pak bude podroben následnému hodnocení funkčnosti a míry transformace povodně pro další návrhové stavy využití krajiny i návrhy nových vodních nádrží jako zásadnějších prvků pro zadržetí a zpomalení odtoku, které jsou v rámci projektu plánovány. Parametry odtoku z celého povodí Husího potoka v místě, kde se vlévá do Odry, budou následně stanoveny právě hydrologickým modelováním na stanovený model.

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] DRBAL, K. *Implementace směrnice EU o vyhodnocování a zvládnání povodňových rizik*. Brno: VÚV TGM, 2010.
- [2] DRBAL, K. aj. Vyhodnocení povodní v červnu a červenci 2009 na území České republiky, DÚ Metodika mapování povodňového rizika. Brno: VÚV TGM, 2009.
- [3] HEC – Hydrologic Engineering Center. US Army Corps of Engineers [online]. 2010 [cit. 2010-06-13]. Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/>
- [4] JANEČEK, M. aj. Ochrana zemědělské půdy před erozí: Metodika. Praha: ČZU, 2012. ISBN 978-80-87451-42-9.
- [5] DINGMAN, S.L. *Physical Hydrology*, 2nd. ed. Upper Saddle river: Prentice Hall, 2002. ISBN 0-13-099695-5.
- [6] ŠERCL, P. *Vliv fyzicko-geografických faktorů na charakteristiky teoretických návrhových povodňových vln*. Praha, 2009. ISBN 978-80-86690-62-9.
- [7] FELDMAN, A.D. (Ed.). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual*. US Army Corps of Engineers. Washington, 2000. 149 s. Dostupný z [www: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation.html](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation.html).
- [8] JENÍČEK, M. *Modelování průběhu extrémních povodní v kontextu krajinných změn a integrované protipovodňové ochrany*. Praha, 2009.
- [9] ČHMÚ. *Hlásná a předpovědní povodňová služba* [online]. 2016 [cit. 2016-09-20]. Dostupné z: http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_main.php
- [10] ČHMÚ. *Využití údajů o historických povodních pro účely hydroprognózy*, Tomáš Vlasák (ČHMÚ České Budějovice). *Katalog prezentací* [online]. 2016 [cit. 2016-09-29]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/katalogprezentaci/files/prezentace_prednaska_uk_historicke_rady_zmensene_obrazky.ppt.

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.

Příspěvek prošel lektorským řízením.

HYDROLOGICAL MODELING OF PRECIPITATION-RUNOFF PROCESS IN THE “HUSÍ POTOK” BASIN

UHROVA, J.; ZARUBOVA, K.

TGM Water Research Institute, p. r. i.

Keywords: runoff – precipitation – precipitation-runoff model – schematization – HEC-HMS – land use

The aim of the project “QJ1520268 The new procedures of optimization systems integrated protection area in the context of their economic sustainability” is to create a design optimized system of management of water and soil resources in the long term, including balancing the soil-plant-atmosphere system and also in order to reduce the impact of climate change on agricultural ecosystem, which is highly topical issue today. To assess the effects of specific changes in the “Husí potok” basin the runoff model in HEC-HMS was created and this model will be used for further assessment. This article describes the creation of runoff model in HEC-HMS, including calibration, optimization and verification and simulation of two different ways of land use. First simulated variant of land use was application of agro-technical and organizational erosion control measures. Second simulated variant of land use was application of grassland on all agricultural soil. These models demonstrate that change of land use could affect the characteristics of flood – peak flow and flood volume, but not enough (see Fig. 5). That is the reason to design the complex and strategic solutions around the “Husí potok” basin for all area of the basin and not just a local solution in individual cadastre. There is only one flow measurement in “Husí potok” basin in Fulnek city, so the hydrological model was created for this outlet. The sub-basin to outlet in Fulnek is about 41% of all “Husí potok” basin. Another problem is absence of weather station in the basin. We took data from weather station Vítkov (12.74 km from Fulnek) and Mošnov (14.74 km from Fulnek). These big distances are one of the reasons, why the shape of flood is not 100% (see Fig. 3 and 4). However, due to Nash–Sutcliffe model efficiency coefficient, which was 0.933 (calibration) and 0.854 (verification), the model was found sufficient for further use. Characteristics from this created and tested hydrological model will be used for a full basin model.



Využití epidemiologie odpadních vod pro sledování spotřeby nelegálních drog a dalších látek v českém a mezinárodním kontextu

VĚRA OČENÁŠKOVÁ

Klíčová slova: epidemiologie odpadních vod – nezákonné drogy – LC-MS/MS – marihuana – extáze – metamfetamin – amfetamin – kokain – efedrin – tramadol

SOUHRN

Příspěvek přináší stručnou souhrnnou informaci o projektu Stanovení množství nelegálních drog a jejich metabolitů v komunálních odpadních vodách – nástroj pro doplnění údajů o spotřebě drog v České republice (identifikační číslo projektu VG 20122015101) se zkráceným názvem DRAGON a o mezinárodní konferenci 2nd International Conference on „Wastewater-based drug epidemiology“, která se konala ve dnech 11.–15. 10. 2015 ve švýcarské Asconě.

ÚVOD

Přestože slovo droga má více významů, většinou se všem vybaví spojení s něčím nezákonným. Užívání nelegálních drog je celospolečensky nežádoucí záležitost, hledají se cesty k omezení jejich spotřeby. Tato spotřeba se obvykle monitoruje prostřednictvím dotazníkových akcí, údaji zjištěnými při policejní práci – kriminální činy spojené s požitím nebo získáváním drog a údaji ze zdravotnictví – choroby vzniklé na základě zneužívání drog.

Jako doplňková metoda se v současnosti využívá analýza komunálních odpadních vod – epidemiologie odpadních vod (WBE – wastewater-based epidemiology). Epidemiologii odpadních vod byl položen základ na přelomu let 1999 až 2000 [1] a poprvé byla aplikována v povodí řeky Pád [2]. Od dob svého vzniku se stala plnohodnotnou rozvíjející se disciplínou, která spojuje práci expertů z mnoha oborů.

Zpočátku byla epidemiologie odpadních vod využívána především pro sledování nezákonných látek (drog), léčiv atd. v odpadních vodách, a tím ke zjišťování stavu spotřeby drog, případně léčiv ve sledovaných lokalitách, především městských aglomeracích. V dnešní době je tento způsob sledování spotřeby drog v dané lokalitě využíván na celém světě. Zároveň však dochází k rozšiřování spektra sledovaných látek o další markery, které umožňují zjistit další informace o populaci – zdravotní stav, spotřebu alkoholu atd.

O tom, jak rozšířený obor epidemiologie odpadních vod je, svědčila i 2nd International Conference on „Wastewater-based drug epidemiology“, která se konala ve dnech 11.–15. 10. 2015 ve švýcarské Asconě.

V první části tohoto příspěvku je prezentován projekt DRAGON realizovaný v letech 2012 až 2015 ve VÚV TGM, v. v. i., druhá část je věnována výše zmíněné konferenci.

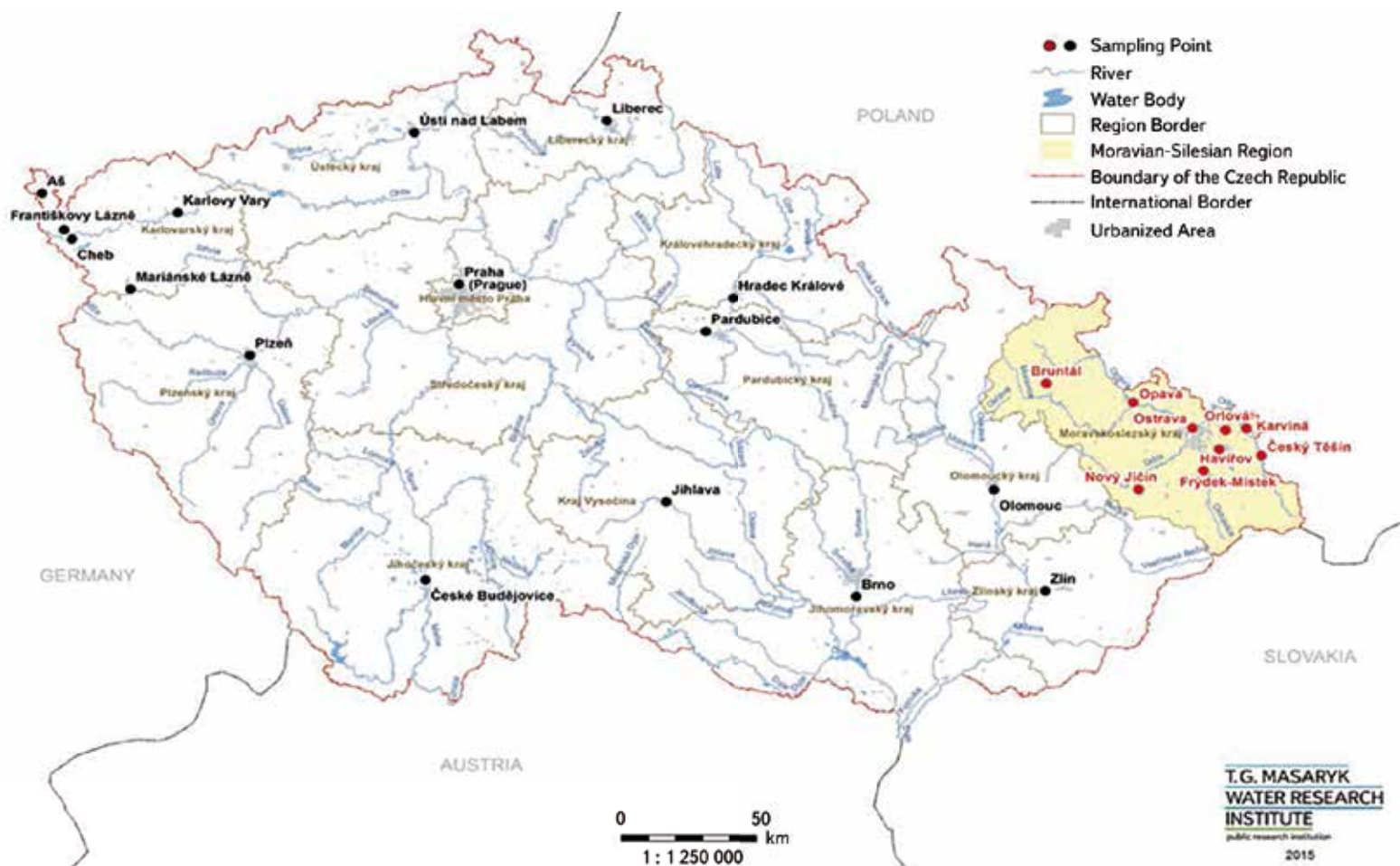
PROJEKT DRAGON

V České republice byl epidemiologický přístup ke sledování spotřeby drog aplikován v projektu Stanovení množství nelegálních drog a jejich metabolitů v komunálních odpadních vodách – nástroj pro doplnění údajů o spotřebě drog v České republice (identifikační číslo projektu VG 20122015101) se zkráceným názvem DRAGON. Tento projekt byl řešen v rámci Programu bezpečnostního výzkumu České republiky v letech 2010–2015 (BII/2 – VS) a byl financovaný formou dotace z rozpočtové kapitoly Ministerstva vnitra České republiky. Cílem projektu bylo zavést vhodnou analytickou metodu pro měření koncentrací vybraných látek v komunálních odpadních vodách, pomocí této metody analyzovat odebrané vzorky a zpětnou kalkulací spočítat látkové odnosy u jednotlivých drog. Součástí projektu byla i Sociodemografická studie včetně analýz prostorového rozložení obyvatelstva a identifikace rizikových skupin uživatelů návykových látek (drog). Tuto studii zpracovala společnost Accendo – Centrum pro vědu a výzkum, o. p. s., se sídlem v Ostravě [3].

Řešitelský tým prošel během řešení projektu mnoha změnami, klíčovými osobami byli Věra Očenášková, Petr Tušil, Alena Svobodová, Danica Pospíchalová a Petra Kolářová.

Hlavním výstupem projektu byla Metodika aplikace epidemiologie odpadních vod pro stanovení odnosu nezákonných látek (drog) v České republice (http://www.vuv.cz/files/pdf/220/221_certifikovana_metodika_pro_stanoveni_odnosu_drog_stanoveni_def.pdf).

Původní počet aglomerací zapojených do projektu (deset) se díky výborné spolupráci s místními čistírnami odpadních vod postupně podařilo rozšířit na dvacet pět, jejich lokalizace je znázorněna na obr. 1. V jednotlivých městech proběhly sedmidenní, v Ostravě pak 14denní odběrové kampaně, při kterých byly odebírány 24hodinové slévané vzorky. Každý rok byly kampaně realizovány ve čtyřech termínech, a to v dubnu, červnu, září a listopadu. V Praze, Brně, Ostravě, Ústí nad Labem, Plzni, Frýdku-Místku, Orlové, Havířově, Karviné a Českém Těšíně probíhal monitoring dva roky (celkem tedy 8 odběrových kampaní), v ostatních lokalitách byl jejich počet nižší. Hlavní odběrová místa byla na přítoku na čistírnu odpadních vod po hrubém předčištění. Tam, kde to umožňovala stoková síť, byla další odběrová místa situována i v uzlových bodech stokové sítě. Příklad z Brna je na obr. 2.



Obr. 1. Lokalizace sledovaných čistíren odpadních vod v České republice
 Fig. 1. Localization of monitored WWTP in the Czech Republic

Odebrané vzorky odpadních vody byly analyzovány metodou on-line SPE – LC-MS/MS po ionizaci elektrosprejem v pozitivním nebo negativním modu [4].

Ve vzorcích odpadních vod byly sledovány původní drogy a z důvodu jejich přeměny v organismu i jejich významné metabolity, které jsou také vylučovány do odpadních vod. Ke zpětné kalkulaci se u některých drog vychází právě z těchto metabolitů a nikoliv z látek původních. Sledovány byly tyto sloučeniny:

- amfetaminy (metamfetamin (pervitin), amfetamin, 3,4-methylen-dioxy-N-methylamfetamin (MDMA, extáze));
- kokain a jeho metabolity benzoylekgonin a kokaethylen;
- opioidy (heroin, morfin, metabolit 6-acetylmorfin);
- LSD;
- buprenorfin;
- metadon a jeho hlavní metabolit EDDP;
- efedrin a pseudoefedrin;
- tramadol;
- THC-COOH (hlavní metabolit marihuany).

Vedle nelegálních drog byly sledovány i látky používané pro substituční léčbu – metadon a buprenorfin, prekurzory využívané pro výrobu drog (efedrin a pseudoefedrin) a účinná látka léčiv předepisovaných na bolesti opioid tramadol, který je často zneužíván [5].

VÝSLEDKY PROJEKTU A POROVNÁNÍ S EVROPOU

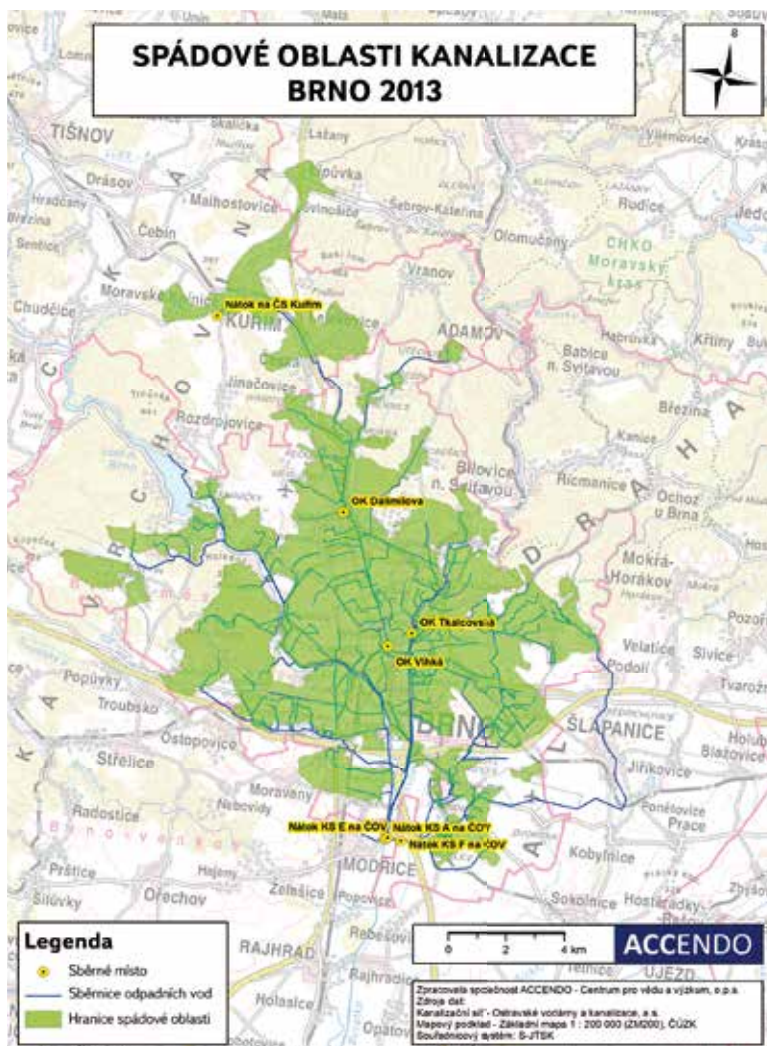
Celkem bylo v průběhu projektu odebráno a zanalyzováno více než 2500 vzorků odpadních vod, ve všech vzorcích byly nezákonné drogy, jejich metabolity a další sledované látky nalezeny. Koncentrace jednotlivých analytů (ng/l) byla zpětnou kalkulací přepočtena na mg/den/1000 obyvatel [6]. Díky tomuto přepočtu lze mezi sebou porovnávat jednotlivé sledované lokality.

Kromě porovnání jednotlivých sledovaných lokalit v rámci České republiky bylo provedeno také srovnání s evropskou studií realizovanou v letech 2011–2013 [7].

Extáze (MDMA) je typickou „party“ drogou. Její spotřeba výrazně stoupá o víkendech a hudebních akcích. V České republice byla nejvyšší spotřeba této drogy v Praze, následovalo Brno, Plzeň a Ostrava. Po dobu konání hudebního festivalu Summer City Fest v Plzni a festivalu Colours of Ostrava stoupla spotřeba extáze proti průměru v uvedených městech až šestkrát. Ve srovnání s Evropou se Česká republika pohybuje na evropském průměru.

Nejvyšší spotřeba kokainu, jehož užívání má také víkendový charakter, byla opět v Praze, dále potom v Plzni, Ústí nad Labem a v Brně. V mnoha evropských městech je spotřeba několikanásobně vyšší, Česká republika se pohybuje těsně pod průměrem.

Spotřeba metamfetaminu (pervitinu) v České republice je naopak několikanásobně vyšší než v Evropě. Na prvním místě v České republice je Ústí nad Labem. Některé zjištěné koncentrace byly extrémně vysoké, a byly ze statistického hodnocení vyloučeny. Protože ve stejných vzorcích byly naměřeny i velmi vysoké



Obr. 2. Spádové oblasti a odběrová místa na kanalizační síti města Brno
Fig. 2. Catchment areas and sampling places of Brno sewerage system

koncentrace efedrinu, který slouží k výrobě této drogy, a nálezy byly v lokalitách, ve kterých lze předpokládat výskyt nezákonných varen pervitinu, je nanejvýš pravděpodobné, že došlo ke kontaminaci odpadních vod právě z těchto varen. Dalšími městy s vysokou spotřebou metamfetaminu jsou Plzeň, Praha a Ostrava.

Rovněž spotřeba marihuany je v České republice vysoká. Pořadí českých měst podle její spotřeby je Praha, Plzeň, Ostrava a Brno. Srovnání s Evropou nebylo možné, protože nebylo zřejmé, jakým způsobem byla provedena zpětná kalkulace. Ve studii, s kterou byly výsledky porovnávány [7], nebyl uveden použitý přepočítávací faktor.

Na rozdíl od Evropy je v České republice relativně nízká spotřeba amfetaminu – nejvyšší nálezy jsou přibližně 15x nižší než nejvyšší nálezy v Evropě. Pořadí v ČR je Ústí nad Labem, Praha, Ostrava a Plzeň.

Tramadol je účinná látka řady léků předepisovaných na bolest (Tramal, Mabron, Noax). Řadí se mezi opioidy a může na něj vzniknout závislost. Často je také zneužíván. Jeho spotřeba o víkendech narůstá až třikrát.

Detailnější jsou výsledky uvedeny ve sborníku z konference Hydrochémia 2016 [8].

Průběžné výsledky projektu byly prezentovány také na několika mezinárodních konferencích, zejména pak na konferenci v Asconu.

2. MEZINÁRODNÍ KONFERENCE WASTEWATER-BASED DRUG EPIDEMIOLOGY, 10.–15. 10. ASCONA, ŠVÝCARSKO

Konference se zúčastnilo 80 expertů z 23 zemí ze čtyř světadílů. Bylo předneseno 44 ústních prezentací, v plakátové sekci bylo prezentováno 18 posterů, 9 z nich bylo představeno formou bleskové prezentace. Ústní příspěvky byly rozděleny do osmi sekcí. Českou republiku zastupovaly tři příspěvky autorů z VÚV TGM, v. v. i. (jedna přednáška (Očenášková), dvě plakátová sdělení (Tušil, Kvíčalová)).

Přednášky v sekci Monitoring informovaly o využití epidemiologického přístupu k monitorování spotřeby nezákonných látek. Bezesporu jednou z nejvýznamnějších byla prezentace Kevina Thomase. Informoval o výsledcích celoevropské studie, která probíhala v letech 2011 až 2015 celkem ve 42 evropských zemích. Z této studie jasně vyplývá, že je nanejvýš vhodné doplnit stávající metody zjišťování spotřeby drog analýzou odpadních vod [7]. Dalšími zajímavými příspěvky přinášejícími informace z mimoevropského prostředí byly prezentace Xiqing Li z Číny a Cobuse Gerbera z Jižní Austrálie. Jak v Číně, tak v Jižní Austrálii je převládající drogou metamfetamin. V Evropě dominuje metamfetamin jen v některých oblastech – severské země, část Německa (Sasko), Česká republika.

Odběry odpadní vody jsou realizovány většinou na přítoku na čistírnu. V sekci Transformace byly příspěvky zabývající se chováním jednotlivých látek při průtoku kanalizačním systémem. Například v příspěvku Ann-Kathrin McCall (Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology) bylo řešeno rozdílné chování jednotlivých látek v přítomnosti či nepřítomnosti biofilmu. Například benzoylkegonin (metabolit kokainu) a MDMA (extáze) se za určitých podmínek v přítomnosti biofilmu transformují. Tato transformace obecně může mít vliv na přesnost zpětného výpočtu spotřeby nezákonných drog.

Při zpětné kalkulaci je velmi důležitý korekční faktor, který vyjadřuje poměr molekulárních hmotností zvolené drogy a specifické látky (metabolitu nebo nezměněné drogy) násobený průměrnou procentuální metabolizací drogy na zvolený metabolit, popř. původní drogu, prochází-li droga organismem částečně nezměněna. Emma Gracia-Lor z italského Istituto di Ricerche Farmacologiche „Mario Negri“ představila studii, na jejímž základě navrhuje upřesnění korekčních faktorů pro zpětný výpočet spotřeby drog. Pro porovnání spotřeby drog v jednotlivých lokalitách je velmi důležité používat stejný korekční faktor.

Rychle se vyvíjející přístrojová technika umožňuje analyzovat látky ve stále nižších koncentracích, s lepším rozlišením jednotlivých látek, přesnější identifikací. V sekcích Analytika/NPS (nové psychoaktivní substance), Enančiometrické profilování a Alkohol/festivaly/NPS byly zajímavé příspěvky z této oblasti.

Přednáška Wayne Halla z University of Queensland, Centre for Youth Substance Abuse Research z Austrálie uvedla sekci, která se zabývala řešením etických a legálních problémů spojených s využitím monitoringu spotřeby drog prostřednictvím analýzy odpadních vod. Při využití tohoto postupu v malých lokalitách (zábavní centra, školy, vězeňská zařízení) je nutné prezentaci výsledků věnovat zvláštní pozornost, aby nedošlo např. k nevhodné interpretaci prostřednictvím médií.

Sledování způsobu užívání drog se věnovala ve své studii Lisa Benaglia (Ecole des Sciences Criminelles, University of Lausanne, Švýcarsko). V průběhu trvání týdenního hudebního festivalu byly odebírány vzorky tak, aby byly zachyceny rozdíly v aplikaci drog v průběhu jednoho festivalového dne i celého festivalu. Spotřeba kokainu, marihuany a metamfetaminu v průběhu celého festivalu mírně stoupala, ale byla stejná jako průměrná spotřeba ve Švýcarsku, spotřeba extáze (MDMA) a amfetaminu byla v průběhu festivalu několikanásobně vyšší. Během jednoho dne průběžně stoupala spotřeba extáze (MDMA), zatímco kokain byl pravděpodobně konzumován před začátkem festivalového dne.

Několik dalších přednášek bylo věnováno využití epidemiologického přístupu ke sledování konzumace alkoholu a nikotinu.

Novému směřování využití epidemiologického přístupu byla věnována poslední sekce Nové metody, další látky. Prostřednictvím sledování různých biomarkerů a specifických metabolitů v odpadních vodách je a bude možno sledovat zdravotní stav populace.

Konference byla velmi zajímavá a přínosná a je zřejmé, že epidemiologie odpadních vod se bude i nadále rozvíjet.

Další možnosti využití epidemiologického přístupu k analýze odpadních vod jasně definuje Kasprzyk-Hordern. Komunální odpadní vody obsahují komplexní směs chemických látek včetně humánních metabolitů – biomarkerů. Kvantitativní měření těchto specifických látek poskytnete informaci např. o způsobu stravování, zdravotním stavu, výskytu chorob, spotřebě alkoholu, léčiv či expozici populace environmentálním a potravinovým kontaminantům [9].

ZÁVĚR

Projekt Stanovení množství nelegálních drog a jejich metabolitů v komunálních odpadních vodách – nástroj pro doplnění údajů o spotřebě drog v České republice splnil svůj účel a přinesl údaje o spotřebě nelegálních drog a dalších látek v 25 městech České republiky. Celkově v těchto městech žije více než třetina obyvatel Česka. Byla certifikována metodika, která je plně kompatibilní s postupy používanými v Evropě i v dalších mimoevropských lokalitách.

Modifikace metodiky pro malé lokality byla a je již využívána ve spolupráci s policií České republiky především v Moravskoslezském kraji. V některých školách v tomto kraji byly ve stejném časovém úseku provedeny dotazníkové akce, slinné testy na přítomnost drog a odběry a analýza příslušných odpadních vod. Ukázala se významná shoda mezi slinnými testy a rozborů odpadních vod. Epidemiologický přístup k analýze odpadních vod má velký potenciál a bylo by přínosné, kdyby tento přístup byl i nadále aplikován, rozvíjen a využíván jak ve VÚV TGM, v. v. i., tak v rámci České republiky.

Poděkování

Všechny odebrané vzorky byly zpracovány v Referenční laboratoři složek životního prostředí a odpadů VÚV TGM, v. v. i.

Projekt by nebylo možno realizovat bez úzké spolupráce s následujícími klíčovými institucemi a subjekty v oblasti vodovodů a kanalizací: Pražské vodovody a kanalizace, a. s., Vodárna Plzeň, Ostravské vodárny a kanalizace, a. s., Severočeské vodovody a kanalizace, a. s., Brněnské vodárny a kanalizace, a. s., VEOLIA Voda Česká republika, a. s., Severomoravské vodovody a kanalizace, a. s., CHEVAK Cheb, a. s., Moravská vodárenská, a. s., Severočeská vodárenská společnost, a. s., Vodárny a kanalizace Karlovy Vary, a. s., ČEVAK, a. s.

Literatura

- [1] DAUGHTON, C.G. Illicit drugs: contaminants in the environment and utility in forensic epidemiology. *Rev. Environ. contam. toxicology*, 2001, (210), p. 59–110.
- [2] ZUCCATO, E., CHIABRANDO, CH., CASTIGLIONI, S., CALAMARI, D., et. al. Cocaine in surface waters: a new evidence-based tool to monitor. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 2005, 4(14), p. 1–7. doi: 10.1186/1476-069X-4-14. ISSN 1476069x. Dostupné také z: <http://www.ehjournal.net/content/4/1/14>
- [3] HRUŠKA, L., HRUŠKOVÁ, A., DOLEŽALOVÁ, H. aj. *Sociodemografická studie včetně analýz prostorového rozložení obyvatelstva a identifikace rizikových skupin uživatelů návykových látek (drog)*. Ostrava, 2012.
- [4] POSPÍCHALOVÁ, D., OČENÁŠKOVÁ, V., SVOBODOVÁ, A. a KOLÁŘOVÁ, P. Metoda stanovení nelegálních drog a jejich metabolitů v odpadních vodách. In: HUCKO, Pavel. *Zborník prednášok zo XLI. ročníka konferencie s medzinárodnou účasťou „Nové analytické metódy v chémii vody“ Hydrochémia 2014*. Bratislava: Slovenská vodohospodárska spoločnosť, 2014, s. 35–44. ISBN 978-80-89062-97-3.
- [5] NECHANSKÁ, B., MRAVČÍK, V. a POPOV, P. *Zneužívání psychoaktivních léků v České republice: identifikace a analýza zdrojů dat*. 1. vyd. Praha: Úřad vlády České republiky, c2012. Monografie (Úřad vlády České republiky). ISBN 978-80-7440-073-5.

[6] OČENÁŠKOVÁ, V., TUŠIL, P., POSPÍCHALOVÁ, D., SVOBODOVÁ, A. a KOLÁŘOVÁ, P. Nezáonné drogy v odpadních vodách. *Vodohospodársky spravodajca: dvojmesačník pre vodné hospodárstvo a životné prostredie*, 2014, 57, s. 7–8.

[7] THOMAS, K.V., BIJLSMA, L., CASTIGLIONI, S., et. al. Comparing illicit drug use in 19 European cities through sewage analysis. *Science of The Total Environment*, 2012, 432, p. 432–439. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.06.069. ISSN 00489697. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969712008959>

[8] OČENÁŠKOVÁ, V., TUŠIL, P., POSPÍCHALOVÁ, D., SVOBODOVÁ, A. a KOLÁŘOVÁ, P. Co o nás (a drogách) vypovídají odpadní vody. In: HUCKO, Pavel. *Zborník prednášok zo XLII. ročníka konferencie s medzinárodnou účasťou „Nové analytické metódy v chémii vody“ Hydrochémia 2016*. Bratislava: DALI-BB, s. r. o., Banská Bystrica, 2016, s. 109–120. ISBN 978-80-89740-10-9.

[9] KASPRZYK-HORDERN, B., BIJLSMA, L., CASTIGLIONI, S., et. al. Wastewater-based epidemiology for public health monitoring. *Water and Sewerage Journal*, 4, p. 25–26.

Autor

Ing. Věra Očenášková

✉ vera_ocenaskova@vuv.cz

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

Príspevek prošel lektorským řízením.

USE OF WASTEWATER-BASED EPIDEMIOLOGY FOR MONITORING OF ILLICIT DRUGS CONSUMPTION IN CZECH AND INTERNATIONAL CONTEXT

OČENASKOVA, V.

TGM Water Research Institute, p. r. i.

Keywords: wastewater-based epidemiology – illicit drugs – LC-MS/MS – marihuana – ecstasy – methamphetamine – amphetamine – cocaine – ephedrine – tramadol

This paper presents a brief summary of information about the project Determination of the amount of illicit drugs and their metabolites in municipal wastewater – new tool for obtaining of complementary data on illicit drug consumption in the Czech Republic and about the 2nd International Conference on “Wastewater-based drug epidemiology”, which was held from 11.–15. 10. 2015 in Ascona, Switzerland.

Charakteristiky určující stabilitu říčního dřeva na příkladu Moravy v Litovelském Pomoraví

PAVEL KOŽENÝ

Klíčová slova: říční dřevo – povodně – řeka Morava – CHKO Litovelské Pomoraví – logistická regrese

SOUHRN

Říční dřevo je významnou součástí vodních toků, ve kterých ovlivňuje hydraulické, morfologické i biologické vlastnosti. Pro potřeby správy vodních toků a omezení povodňových rizik je důležité znát faktory, které zvyšují stabilitu dřeva a brání jeho odplavení při zvýšených průtocích. Na základě analýzy vlastností 160 kusů říčního dřeva v korytě Moravy v CHKO Litovelské Pomoraví byly zjištěny charakteristiky významné pro stabilitu říčního dřeva v této oblasti. Analýza byla provedena logistickým regresním modelem a jako statisticky významné identifikovala následující charakteristiky: délka kmene, výška uložení vůči běžné hladině, míra zazemnění, přítomnost kořenů a rozlišení, zda jde o kmen živý či odumřelý. Aplikací modelu na konkrétní kus lze vypočítat modelovanou pravděpodobnost stability. Pokud je z důvodů zachování přirozeného stavu koryta požadováno ponechání stabilních kusů říčního dřeva, měly by být tyto charakteristiky respektovány. Modelované pravděpodobnosti korelovaly se subjektivním odhadem stability s koeficientem determinace $R^2 = 0,57$.

ÚVOD

Termínem říční dřevo označujeme stromy a jejich části, které se přirozenými způsoby nebo činností člověka dostaly do koryta vodního toku a vstupují zde do interakce s vodním proudem [1]. Říční dřevo ovlivňuje hydraulické podmínky v korytě, formuje jeho tvar a vytváří pestrou nabídku stanovišť pro vodní organismy [2]. Dřevo je dynamickou složkou říčních krajín. Vstupuje do koryta různými přísunovými mechanismy, mění svou polohu, je unášeno povodněmi a znovu zachycováno v jiných úsecích koryta. V průběhu času může zcela podlehout rozkladu, může být vyplaveno do nivy nebo být pohřbeno v říčních náplavech. Pohyblivost říčního dřeva při povodních je věnována pozornost mimo jiné z důvodu údržby vodních toků a prevence povodňových rizik.

Z minulých desetiletí existuje řada výzkumných prací, které se mobilitou říčního dřeva zabývají. Deskriptivní přístupy vycházejí z popisu množství a charakteru dřeva na lokalitě, tvaru a výskytu akumulací naplaveného dřeva i stabilních kusů v jejich základech [3–5]. Experimentální studie značeného dřeva v terénu umožnily posouzení vlivu konkrétních průtoků v definovaných časových úsecích. Značené kusy mohly být dohledány a byly zkoumány parametry ovlivňující jejich transport [6–12]. Teorie o vlastnostech mobilizace, transportu a zachytávání idealizovaných modelů říčního dřeva byly ověřovány experimentálně v hydraulických laboratořích i v terénu [13–15]. V posledních letech jsou sestavovány matematické modely popisující dynamiku dřeva v rámci dlouhých úseků toků nebo povodí. Časté jsou také zcela praktické studie zabývající se náchylností inženýrských staveb k zachytávání vodou unášeného plovoucího materiálu [16–18].

Výzkumy provedené v minulosti ukázaly, že kromě průtokových charakteristik vodního toku je stabilita říčního dřeva ovlivňována především jeho rozměry relativně k šířce a hloubce koryta. Stabilitu také významně zvyšují zachovalé kořeny, kořenový bal a větve. Poloha kmene v korytě a jeho orientace vůči proudění jsou též významné parametry, které navíc souvisejí se stabilizačními mechanismy břehové vegetace a stabilitou rozměrných akumulací říčního dřeva. Ačkoliv jsou uvedené poznatky obecně platné, každá lokalita je specifická svými přírodními podmínkami, které je třeba pro praktický management říčního dřeva zohlednit.

V této studii je popsána identifikace parametrů, které jsou významné pro stabilitu říčního dřeva v meandrujícím korytě v podmínkách tvrdého luhu střední Evropy. Tato práce vychází z předpokladu, že analýzou stávajícího říčního dřeva lze v určitém typu přírodního území poměrně snadno určit parametry, které jsou v daném prostředí pro stabilitu dřeva rozhodující. Pokud dokážeme rozlišit mezi dřevem, které se korytem v minulosti pohybovalo, a kusy říčního dřeva, které se vyskytují na původním místě svého přísunu do koryta, můžeme si udělat představu o charakteru dřeva, které je v daném území stabilní. Dílčí studovanou otázkou též byla shoda mezi subjektivním odhadem stability a pravděpodobností stability vypočítané na základě analýzy říčního dřeva.

METODY

Lokalita

Terénní výzkum proběhl na řece Moravě u Litovle na lokalitě zvané Vrapač (49.7140° N, 17.0340° E). Řeka Morava je zde tokem sedmého řádu podle Strahlera s průměrnou šířkou koryta 28 metrů a plochou povodí 2144 km². Pro blízký profil v Moravičanech udává Český hydrometeorologický ústav průměrný průtok 17,1 m³.s⁻¹. Dno řeky je převážně šterkové, břehy tvoří vrstvy povodňových hlín silně přes dva metry. Povrch říční nivy se nachází v nadmořské výšce kolem 230 m n. m. Neupravené koryto Moravy u Vrapače prodělává již desítky let zrychlený geomorfologický vývoj, který je následkem zvýšení spádu na kontaktu s regulovaným korytem nad Litovlí. Dnešní sklon koryta v úseku Vrapače je v průměru 2,4 ‰. To je více než na zbytku Moravy mezi jezem Řimice a Litovlí, jehož sklon je v rozmezí 0,6–0,9 ‰. Kromě postupného zahlubování se zvýšení spádu projevuje výraznou boční erozí a rozmeandrováním koryta v úseku dlouhém téměř 1 kilometr. Průvodním jevem rychlého ústupu břehů v nárazových obloucích meandrů je postupné sesouvání stromů z břehového porostu do koryta. Lokalita je charakteristická bohatým přísunem místní (autochtonní) dřevní hmoty i akumulací říčního dřeva splaveného z výše položených úseků toku. Druhá struktura říčního dřeva odpovídá tvrdému luhu, kterým je řeka

obklopena. Převládá v něm jasan, dub, javor a lípa. Z nižších partií nivy se do řeky dostávají části vrb a výjimečně topolů. Ze vzdálenějších částí povodí jsou splavovány též části olšových kmenů a ojediněle zbytky jehličnanů. Většina říčního dřeva na lokalitě má přirozený původ (vývraty, zlomy). Na lokalitě byla v roce 2003 provedena stabilizace říčního dřeva v podobě ukotvení 70 vzrostlých stromů ocelovými lany [19]. Po roce 2010 však počet zachovalých kotvených kmenů klesl na minimum a neovlivňoval nijak významně akumulaci naplaveného dřeva nebo stabilitu okolních nekotvených kmenů. Několik zbývajících kotvených kmenů, které se na lokalitě vyskytovaly v roce 2014, nebylo do evidence říčního dřeva zahrnuto.

Popis říčního dřeva

Pokud nás zajímají vlastnosti říčního dřeva, které je v podmínkách dané lokality stabilní, lze to zjistit analýzou stávajícího dřeva na lokalitě, pokud dokážeme u jednotlivých kusů určit, zda se v korytě pohybují, nebo zůstávají po dlouhou dobu na místě. S jistou mírou zjednodušení můžeme autochtonní říční dřevo v této studii považovat za kusy stabilní přinejmenším za období několika posledních let. Naopak naplavené dřevo by mělo být charakterizováno vlastnostmi, které jsou typické pro nestabilní kusy běžně unášené povodněmi. Tato studie proto považuje kategorie autochtonní/naplavený za analogické pro stabilní/nestabilní říční dřevo. V dalším textu tyto termíny používám s vědomím této analogie.

Tabulka 1. Přehled charakteristik použitých pro popis říčního dřeva a jejich hodnoty
Table 1. List of the characteristics used to describe the woody debris and their values

Proměnná	Popis	Jednotky	Průměr (1. kvartil; 3. kvartil) nebo četnosti v třídách
AUTOCH	autochtonní/naplavený kmen	třídy: A – autochtonní, N – naplavený	A: 96; N: 64
NAD_HL	výška uložení středu kmene nad běžnou hladinou	cm	14,7 (-30; 40)
ZAZEM	procento zazemnění kmene do dna nebo břehu ¹	%	14,8 (0; 20)
ZIVY	A – kmen živý, X – kmen suchý	třídy: A – živý, X – suchý	A: 13; X: 147
KORUNA	přítomnost koruny nebo silných větví	třídy: A – s korunou, X – bez koruny	A: 64; X: 96
KORENY	přítomnost kořenů	třídy: A – s kořeny, X – bez kořenů	A: 100; X: 60
SAMOST	uložení samostatně nebo v akumulaci	třídy: S – samostatně, A – v akumulaci	S: 54; A: 106
PRUMER	průměr kmene v polovině délky	cm	25,6 (19; 30)
DELKA	délka kmene	m	11,6 (5,3; 16,4)
ROZKLAD2tr	stupeň rozkladu	třídy: 0–3; 3,5–5 ²	0–3: 142; 3,5–5: 18
KORYTO2tr	poloha kmene na příčné ose koryta	třídy: 1–2; 3–5 ³	1–2: 141; 3–5: 19
ORIENT1	orientace osy kmene vůči vodnímu proudu	třídy: 150°–210°, jiné ⁴	150°–210°: 71; jiné: 89
STAB_SUBJ	míra subjektivně stanovené stability kmene	třídy: 1–10 ⁵	5,6 (3; 9)

¹ Pokud nebyl kmen viditelný v celé délce, byla jeho délka konzervativně odhadnuta podle délek kmenů odpovídajícího průměru vyskytujících se na lokalitě.

If the log was not visible in its entire length, its length was conservatively estimated according to other wood of the same diameter occurring at the locality.

² Třídy stupně rozkladu: 0 – čerstvě vyvrácený živý strom, 1 – zachovalé drobné větvičky a pevná kůra, 2 – zachovány silné větve, kůra volná, 3 – bez kůry, dřevo pevné, 4 – dřevo částečně zetlelé, 5 – dřevo převážně zetlelé. Pro analýzu byly třídy stupně rozkladu agregovány do dvou skupin.

Wood decay class: 0 – recently uprooted living tree, 1 – small twigs present, firm bark, 2 – large branches present, loose bark, 3 – no bark, solid wood, 4 – partially decayed wood, 5 – mostly decayed wood. For the analysis decay classes were aggregated into two groups.

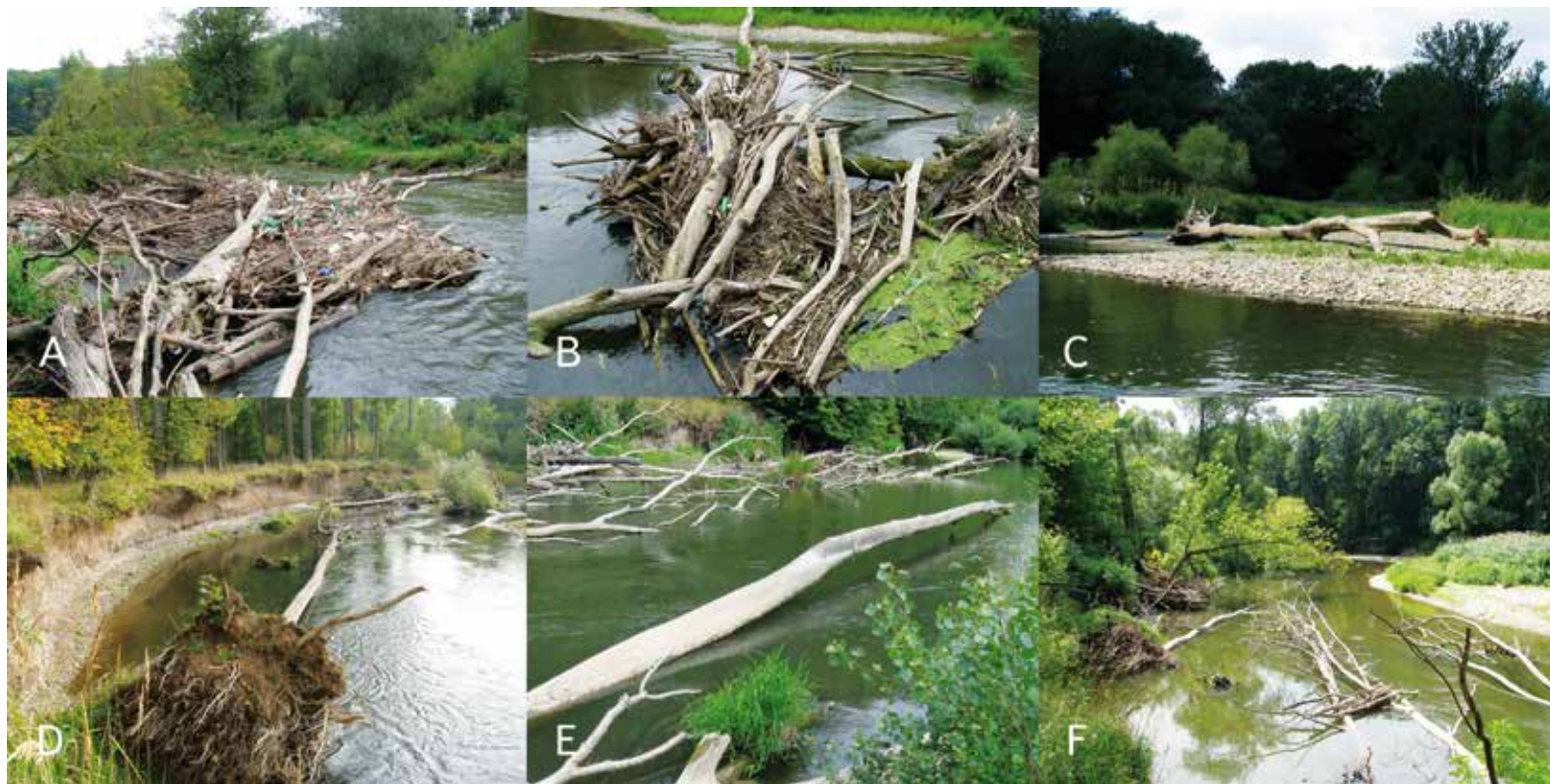
³ Třídy polohy kmene na příčné ose koryta: 1 – ve vodě v proudnici, 2 – ve vodě mimo proudnici, 3 – přechod voda/souš, 4 – svah břehu (souš), 5 – okraj břehové hrany. Pro analýzu byly třídy agregovány do dvou skupin.

Class of wood position on the transverse axis of the stream channel: 1 – in water in a streamline, 2 – in the water, off the streamline, 3 – transition water / stream bank, 4 – stream bank (land), 5 – upper edge of bankfull channel. For analysis classes were aggregated into two groups.

⁴ Orientace osy 180° značí polohu, kdy je kmen paralelně s proudem, špička směřuje po proudu, kořeny proti proudu, 0° – kmen paralelně s proudem, špička směřuje proti proudu, 90° – kmen kolmo k proudu, špička směřuje od břehu, 270° – kmen kolmo k proudu, špička směřuje ke břehu. Pro analýzu byla orientace agregována do dvou tříd. Orientation of 180° is the position where the tree is deposited parallel to flow direction, the treetop is downstream, roots are upstream, 0° – the tree is parallel to the flow direction, the treetop is upstream, 90° – tree is perpendicular to the flow direction, treetop directed from the bank, 270° – tree is perpendicular to the flow direction, treetop directed to the bank.

⁵ Třídy subjektivně stanovené stability kmene: 1 – minimální stabilita, 10 – maximální stabilita.

Class of subjectively estimated wood piece stability: 1 – minimum stability, 10 – maximum stability.



Obr. 1. Příklady říčního dřeva v řece Moravě na lokalitě Vrapač v CHKO Litovelské Pomoraví; A–C: naplavené kusy, D–F: autochtonní kusy
 Fig. 1. Examples of wood in Morava River at the Vrapač locality, Litovelské Pomoraví PLA; A–C: allochthonous pieces, D–F: autochthonous pieces

Popis říčního dřeva probíhal na zmíněné lokalitě v říjnu 2014. Na úseku dlouhém přibližně 700 metrů, zahrnujícím čtyři meandrové oblouky, bylo popsáno vyskytující se říční dřevo od délky dvou metrů a průměru 10 cm. Dřevo bylo popisováno v celém rozsahu koryta, tedy až po okraj břehové hrany. Popis proběhl v období nízkých průtoků, kdy bylo koryto z více než 95 % broditelné. Pro každý jednotlivý kus říčního dřeva byly zaznamenány charakteristiky velikosti, tvaru a stupně rozkladu. Dále byla zaznamenána poloha v korytě, poloha vůči ostatním kusům říčního dřeva a orientace vůči směru proudění. Před statistickou analýzou byl rozsah tříd kategoriálních proměnných agregován, abychom získali třídy s dostatečnými četnostmi pozorování. Přehled popisných charakteristik je uveden v *tabulce 1*.

U každého kusu bylo rovněž posouzeno, zda jde o kus naplavený, nebo uložený v místě svého vzniku (tzv. autochtonní). Určení bylo provedeno pomocí vzhledu kmene (např. způsob a vyšší míra abraze u naplavených kusů) a jeho pozice (např. výskyt v akumulaci zjevně naplaveného dřeva, na šterkových lavicích mimo potenciální místa přísunu, při březích bez stromové vegetace atd.) nebo na základě stop v terénu (např. bezprostředně související břehová nátrž). Identifikaci autochtonních kmenů usnadňovala skutečnost, že u meandrujících toků je hlavním přísunovým mechanismem břehová eroze [1]. Příklady říčního dřeva vyskytujícího se na lokalitě přibližuje *obr. 1*. Mezi naplavené byly zařazeny kmeny, které se posunuly alespoň o 25 metrů od pravděpodobného místa přísunu do koryta. Rozlišení na autochtonní a naplavené říční dřevo bylo provedeno bez ohledu na čas, který uplynul od přemístění naplaveného kusu nebo přísunu autochtonního kusu ze břehu. To znamená, že jako naplavený byl označen i kmen, který se přesunul při jedné povodňové epizodě v minulosti a v nové pozici již zůstal po řadu let.

Poslední zaznamenanou charakteristikou byl subjektivní odhad stability popisovaného kusu, tedy odolnost vůči odplavení při povodních. Hlediskem

pro posouzení byly informace z literatury a víceletá zkušenost autora s dynamikou říčního dřeva na lokalitě. Tato charakteristika souvisí do značné míry s popisovanými vlastnostmi říčního dřeva, ale jejich souhrnné hodnocení pro daný kus bylo rychlým subjektivním odhadem. Analýza tohoto odhadu probíhala proto odděleně od ostatních, objektivně hodnocených charakteristik. Subjektivní odhad stability napodobuje terénní odhad, který by na základě místní zkušenosti mohl provádět například pracovník pověřený správou vodního toku.

Statistická analýza terénních dat

Analýza dat spočívala v určení nezávislých popisných charakteristik, které jsou významné pro rozlišení mezi autochtonními a naplavenými kusy říčního dřeva (proměnná AUTOCH). Vzhledem k povaze získaných dat, kdy závislá proměnná nabývá pouze dvou hodnot (autochtonní/naplavený, resp. stabilní/nestabilní), byla pro statistickou analýzu zvolena logistická regrese. Logistický regresní model popisuje pravděpodobnost P zkoumaného jevu za podmínek daných hodnotami nezávislých proměnných x . Vyjadřujeme jej rovnicí:

$$\ln \left(\frac{P^{(x)}}{1-P^{(x)}} \right) = \beta_0 + \sum_i \beta_i x_i \quad (1)$$

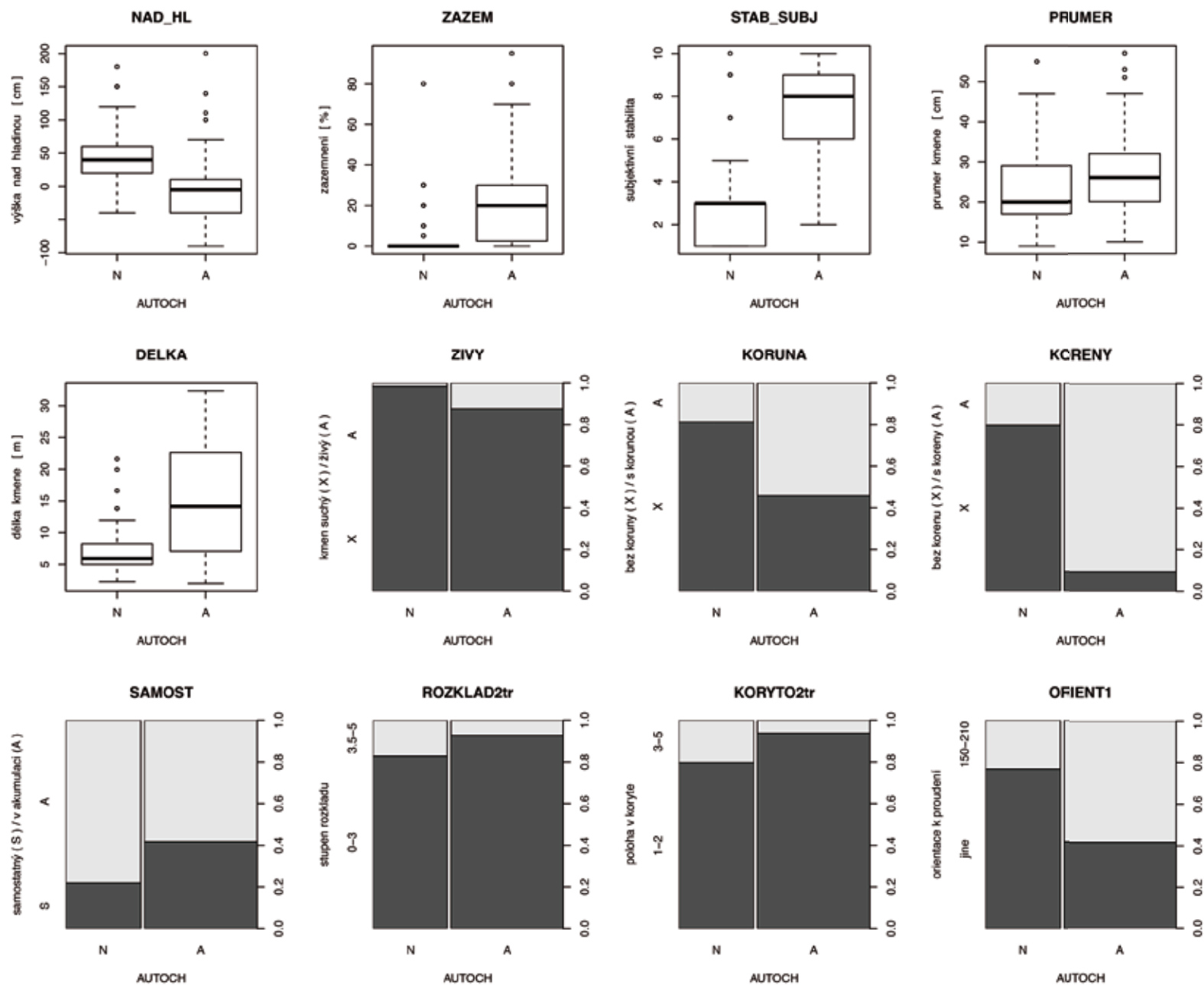
kde P je pravděpodobnost, že nastane zkoumaný jev,
 x vyjadřuje hodnoty nezávislých proměnných,
 β_0 a β_i koeficienty regresního modelu.

Ekvivalentně lze tento model vyjádřit rovnicí:

$$p^{(x)} = \frac{\exp(\beta_0 + \sum \beta_i x_i)}{1 + \exp(\beta_0 + \sum \beta_i x_i)} \quad (2)$$

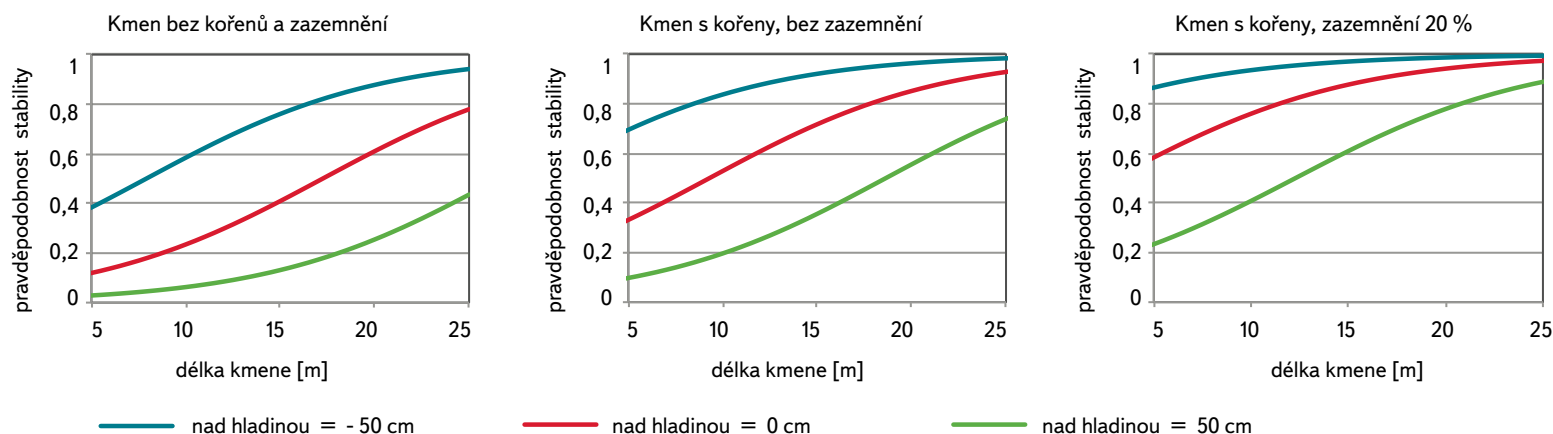
Protože hodnoty koeficientů β jsou výsledkem logistického regresního modelu, můžeme po dosažení hodnot proměnných x vypočítat pravděpodobnost P , s jakou nastane zkoumaný jev [20].

Výběr vhodných proměnných a tvorba logistického regresního modelu probíhala v několika krocích. V první fázi byla závislá proměnná AUTOCH modelována vždy jen pomocí jedné z popisných charakteristik. Výsledek tohoto tzv. univariálního modelu naznačil, které z popisných charakteristik jsou významné pro zařazení kusu mezi autochtonní či naplavené říční dřevo. Zároveň byly zhodnoceny případné závislosti mezi popisnými charakteristikami pomocí grafů, korelační matice a hodnot VIF (variance inflation factor). Do další analýzy byly zařazeny pouze charakteristiky, které univariální model určil jako významné pro stabilitu říčního dřeva a zároveň tyto proměnné nebyly



Obr. 2. Popisné charakteristiky říčního dřeva pro kusu naplavené (N) a autochtonní (A); krabicový diagram znázorňuje medián, 1–3 kvartil (krabička), maxima a minima (vousy), odlehle hodnoty jsou zobrazeny kolečky; pro kategoriální proměnné jsou šířky sloupců úměrné počtu hodnot

Fig. 2. Descriptive characteristics of wood for pieces of driftwood (N) and autochthonous (A) wood pieces; the box and whisker plot shows the median, 1st–3rd quartile (box), maximum and minimum values (whisker), outliers are displayed as circles; for discrete variables the width of columns is proportional to the number of values



Obr. 3. Modelované pravděpodobnosti stability pro odumřelý kus říčního dřeva v třídě rozkladu 0–3; grafy znázorňují různé kombinace délky, výšky uložení, zazemnění a přítomnosti kořenů

Fig. 3. The stability model for a deadwood piece in the decay class 0–3; the graphs show various combinations of length, log elevation, burial and presence of roots

v korelaci. Z výběru významných a vzájemně nekorelujících popisných charakteristik byl sestaven logistický regresní model. Abychom získali menší skupinu popisných charakteristik se silnou závislostí ke stabilitě, postupně byly z modelu vylučovány proměnné s nejnižší hodnotou významnosti (p – hodnota). Do výsledného modelu pak byl zařazen výběr nezávislých proměnných s očekávaným silným vlivem na určení stability kmene. Finální model byl

ověřen pomocí analýzy reziduí.

Subjektivně hodnocená stabilita byla analyzována odděleně od ostatních proměnných, tedy pouze v univariálním modelu. Dále byla porovnána s výsledky logistického regresního modelu a stanovena míra korelace subjektivního hodnocení a pravděpodobnosti počítaných modelem. Statistická analýza byla provedena v programu R [21].

Tabulka 2. Statistická významnost závislosti proměnné AUTOCH na popisných charakteristikách v postupných krocích statistické analýzy a regresní koeficienty výsledného modelu (hladiny významnosti p – hodnoty: [***] $p < 0,001$; [**] $0,001 < p < 0,01$; [*] $0,01 < p < 0,05$; [nesig.] $p > 0,05$)

Table 2. Statistical significance of the AUTOCH variable on the descriptive characteristics in the sequential steps of statistical analysis and the regression coefficients of the resulting model (significance levels of p – value: [***] $p < 0.001$; [**] $0.001 < p < 0.01$; [*] $0.01 < p < 0.05$; [nesig.] $p > 0.05$)

Proměnná (parametr x)	Univariální model	Logistický regresní model	Logistický regresní model upravený ($\beta_0 = -2,81372$)
			regresní koeficient (β)
NAD_HL	***	nesig.	**
ZAZEM	***	**	*
ZIVY_A	*	nesig.	*
KORUNA_A	***	nesig.	vyřazeno
KORENY_A	***	*	*
SAMOST_A	*	nesig.	vyřazeno
PRUMER	*	nesig.	vyřazeno
DELKA	***	***	***
ROZKLAD2tr_3.5-5	nesig.	*	nesig.
KORYTO2tr_3-5	*	nesig.	vyřazeno
ORIENT1_150-210	***	nesig.	vyřazeno
NAD_HL: ROZKLAD2tr_3.5-5	nehodnoceno	nehodnoceno	*
STAB_SUBJ	***	nehodnoceno	nehodnoceno

VÝSLEDKY

Na lokalitě bylo popsáno celkem 160 kusů říčního dřeva o délce od 2 do 32 metrů. Toto množství představovalo objem 134,31 m³ na ploše přibližně 1,96 ha. Mezi autochtonní kmeny bylo zařazeno 96 kusů, naplavených kusů bylo 64. Jen 13 případů tvořily živé nebo dožívající stromy, ostatní říční dřevo tvořily odumřelé kusy. Rovných 100 kmenů mělo zachovalé kořeny. Přibližně dvě třetiny říčního dřeva se vyskytovaly v akumulacích, tedy ve vzájemném kontaktu s alespoň dvěma dalšími kmeny. U většiny kusů lze předpokládat poměrně dobrou mechanickou pevnost, protože většina říčního dřeva spadala do kategorie kmenů sice již bez kůry, ale dosud s pevným dřevem. Hodnoty četností a průměrné hodnoty pro jednotlivé sledované parametry jsou uvedeny v *tabulce 1*. Minima a maxima spojitých proměnných lze dále odečíst z grafů na *obr. 2*.

Tabulka 2 uvádí výsledek univariátního testování významnosti jednotlivých proměnných pro určení kategorie autochtonní/naplavený kus. Statistická významnost byla jednotlivě prokázána u všech proměnných, kromě stupně rozkladu, kde analýza jen těsně nedosáhla 5% hladiny statistické významnosti. Vztahy mezi popisnými charakteristikami a proměnnou AUTOCH jsou zobrazeny v grafech na *obr. 2*. Autochtonní kusy říčního dřeva se vyznačovaly výrazně větší délkou doprovázenou mírně vyšším průměrem kmene. Byly obvykle uloženy v úrovni hladiny nebo pod ní, tedy níže než kmeny naplavené. Střední míra zazemnění se u autochtonních kmenů pohybovala okolo 20 %, kdežto u kmenů naplavených byl kontakt s materiálem dna nebo břehů výjimkou. Mezi autochtonními kmeny byl vyšší podíl živých stromů se zachovalou korunou a kořenovým systémem. I když se asi dvě třetiny z celkového počtu kusů říčního dřeva vyskytovaly v akumulacích, autochtonní kmeny se nacházely dvakrát častěji samostatně než kmeny naplavené. Téměř 60 % autochtonních kmenů se nacházelo v poloze blízké směru proudění se špičkou směřující po proudu. Mezi naplavenými kmeny se tato vlastnost vyskytovala jen asi v 20 % případů. Naprostá většina říčního dřeva se sice vyskytovala v rozsahu vymezeném šíří hladiny za běžných průtoků, pokud se ale nějaké kusy vyskytovaly na břehu, byly to častěji kusy naplavené. Naplavené kusy také častěji než autochtonní spadaly do vyšších tříd stupně rozkladu, ačkoliv převážná většina kusů bylo dřevo mechanicky pevné. Subjektivně byla stabilita většiny naplavených kusů hodnocena známkami 1–3, kdežto mezi autochtonními kmeny převažovaly třídy 6–9, tedy velmi stabilní poloha. Statistická významnost této závislosti byla zároveň jedna z nejvyšších ve srovnání s ostatními charakteristikami.

I když byly popisné charakteristiky zaznamenávány jako nezávislé proměnné, je zřejmé, že některé proměnné spolu mohly korelovat. Korelační matice ukázala významnější korelaci mezi proměnnými NAD_HL a ZAZEM (Pearsonův korelační koeficient = -0,48) a mezi proměnnými DELKA a PRUMER (0,5). U ostatních spojitých proměnných byl korelační koeficient nižší než 0,2. Proměnná PRUMER nebyla nakonec do výsledného modelu zařazena. Druhým přístupem k odhalení korelací mezi popisnými charakteristikami byl výpočet hodnoty VIF (variance inflation factor). Ve všech případech nedosahoval hodnoty 3, což je obecně považováno za výsledek, který nesvědčí o významné korelaci mezi proměnnými.

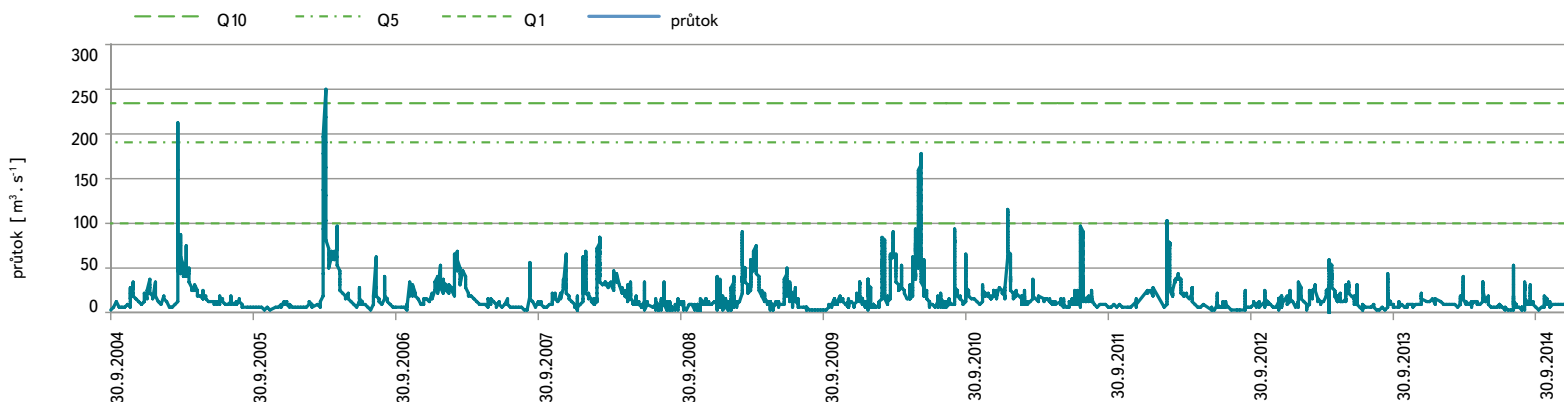
Popisné charakteristiky byly dále testovány logistickým regresním modelem. Jak je vidět z přehledu v *tabulce 2*, statisticky významnou popisnou charakteristikou byla délka kmene, míra zazemnění, stupeň rozkladu a přítomnost kořenů. Těsně za hranicí 5% statistické významnosti byl vyhodnocen průměr kmene. Abychom snížili počet proměnných v modelu a omezili je na statisticky významné závislosti, upravili jsme model postupným odebráním proměnných s nejnižší statistickou významností. Zároveň byl do modelu vložen prvek interakce mezi proměnnými NAD_HL a ROZKLAD2tr, která byla zjištěna při kontrole závislostí mezi proměnnými. Interakce je jev, kdy se vlivem jedné proměnné mění směrnice modelovaného vztahu u jiné proměnné. V našem případě to konkrétně znamenalo, že mechanicky odolné kmeny z tříd rozkladu 0–3 byly častěji hodnoceny jako autochtonní, pokud se nacházely pod

hladinou. Pro částečně zetlelé dřevo v třídách rozkladu 3,5–5 byla závislost opačná – autochtonní kmeny byly uloženy výše nad hladinou než naplavené kusy. V kategorii rozkladu 3,5–5 se nacházelo jen 18 kmenů, tedy 11 % celkového počtu. Logické vysvětlení interakce může vycházet z podmínek na lokalitě. Naplavené dřevo je v korytě téměř vždy uloženo v akumulacích, které jsou za běžných průtoků nad hladinou. Naopak většina autochtonních kmenů se vyskytuje ve vodě v úrovni hladiny nebo pod ní. Toto dřevo zároveň spadá nejčastěji do třídy rozkladu 0–3, protože ponořené dřevo se jen pomalu rozkládá. Naplavené dřevo v akumulacích dobře vysychá, což opět brání rychlému rozkladu. Jiná je situace na březích. Autochtonní i naplavené dřevo zde může ležet v různé výši nad hladinou a zároveň je uloženo ve vlhku, což napomáhá rozkladu. Za vznikem popsané interakce tedy mohou stát vlastnosti říčního dřeva uloženého na březích, kde není rozdíl ve výškovém uložení mezi autochtonními a naplavenými kusy a zároveň jsou všechny zde uložené kmeny náchylnější k rozkladu.

Do výsledného modelu popisujícího vliv popisných charakteristik na určení kmene jako autochtonní či naplavený byly zahrnuty proměnné NAD_HL, ZAZEM, ZIVY, KORENY, DELKA, ROZKLAD2tr a zmíněná interakce NAD_HL:ROZKLAD2tr. Koeficienty β a statistickou významnost jednotlivých parametrů modelu zobrazuje *tabulka 2*. Pomocí vykreslení různých typů reziduí proti nezávislým proměnným a odhadnutým hodnotám byla ověřena platnost modelu. V žádném z případů nedocházelo k výraznému odklonu od nuly. Jak bylo popsáno výše, autochtonní kmeny můžeme považovat za stabilní říční dřevo, naplavené kmeny jsou naopak nestabilní pohyblivou složkou říčního dřeva. Koeficienty β a skutečné hodnoty proměnných x pro jednotlivé kusy říčního dřeva jsme dosadili do rovnice modelu (2) a získali tak pravděpodobnost stability pro každý jednotlivý kus říčního dřeva na lokalitě. V 91 % případů se vypočtená pravděpodobnost stability shodovala s označením kmene za autochtonní kus. Modelovaná stabilita představuje hodnotu pravděpodobnosti, s jakou bude kmen stabilní v podmínkách průtoků, které se na lokalitě vyskytly v období předcházejícím terénnímu sběru dat.

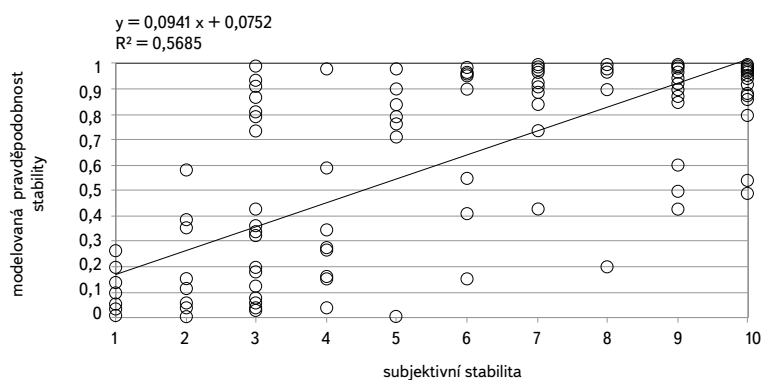
Výsledný model logistické regrese umožňuje výpočet pravděpodobnosti odplavení pro kus říčního dřeva s konkrétními parametry. Například kmen o délce 15 metrů uložený v úrovni hladiny zůstane na svém místě s pravděpodobností 41 %. Pokud bude mít navíc zachovalé kořeny, stoupne tato pravděpodobnost na 78 %. Bude-li navíc v kontaktu se sedimentem na 20 procentech svého povrchu, výsledná pravděpodobnost stability stoupne na 91 %. To je pravděpodobnost odplavení kusu říčního dřeva s mediánovými vlastnostmi typického stabilního kmene. Oproti tomu běžný nestabilní kmen o délce šest metrů, bez kořenů, volně uložený ve výšce 0,5 m nad hladinou zůstane při povodni na původní pozici jen s pravděpodobností 3,4 %. Uvedené pravděpodobnosti platí pro odumřelé kmeny ve třídě rozkladu 0–3. Pro částečně zetlelé kmeny ve třídě rozkladu 3,5–5 by se výsledná pravděpodobnost vlivem interakce NAD_HL:ROZKLAD2tr zvýšila na 17 % u krátkého nestabilního kusu, zatímco u dlouhého kmene s kořeny by zůstala téměř stejná (93 %). Pro odumřelé říční dřevo ve třídě rozkladu 0–3 jsou pravděpodobnosti stability pro různé kombinace délky, přítomnosti kořenů, uložení nad hladinou a míry zazemnění vyneseny v grafech na *obr. 3*.

Vypočtené pravděpodobnosti jsme dále použili pro korelaci mezi modelovanou pravděpodobností a subjektivním určením stability v proměnné STAB_SUBJ. Modelované hodnoty korelovaly se subjektivním odhadem s koeficientem determinace $R^2 = 0,57$ (*obr. 4*).



Obr. 5. Průtok na měřicí stanici Morava-Moravičany v období let 2004–2014 (zdroj dat: ČHMÚ)

Fig. 5. Discharge at the Morava-Moravičany gauging station in the period 2004–2014 (source of data: Czech hydrometeorological institute)



Obr. 4. Korelace subjektivního odhadu stability a modelované pravděpodobnosti stability kusů říčního dřeva

Fig. 4. Correlation of the subjective estimate of stability and modelled probabilities of wood piece stability

DISKUSE

Metoda pro výpočet stability říčního dřeva použitá v této studii je poměrně netradiční. Většina prací, které se zabývaly terénním výzkumem dynamiky říčního dřeva, pracovala s daty o mobilitě dřeva zjištěné rozdílem v dohledání značených kusů před a po povodni [9, 10, 22–25]. Tyto výsledky jsou sice interpretovatelné jednoznačně, ale jejich získání je obtížné: dřevo je potřeba nejprve označit a po povodni dohledat. To je časově náročné a naráží to na řadu problémů – po povodni se daří dohledat jen část značených kmenů, což platí i pro kmeny, které zůstaly na místě. To může významně zkreslovat výsledky. Tento problém byl v nedávných letech řešen pomocí sofistikovaných způsobů značení RFID čipy [26], nebo dokonce pomocí vysílaček se zabudovaným GPS přijímačem [12]. Použití takových metod je však stále pracné a neúměrně drahé. Hodí se spíše pro základní výzkum obecných zákonitostí pohybu dřeva při zvýšených vodních stavech. Tyto „přímé metody“ navíc vypovídají o mobilitě dřeva při jedné konkrétní povodňové události, jejíž zobecnění je obtížné. Získání dat z přímých metod je limitováno délkou trvání výzkumných projektů. Pokud nemají výzkumníci výjimečné štěstí, zachytí se svým vzorkem značeného dřeva jen běžnou povodeň odpovídající časovému úseku výzkumu. Oproti tomu zde popsána metoda je založena na jednorázovém popisu dřeva vyskytujícího se na lokalitě. Obejde se bez značení i zpětného dohledávání dřeva po povodni.

Integruje vliv povodní za delší časové období. Jak dlouhý tento časový úsek může být, závisí zejména na rychlosti zániku říčního dřeva na lokalitě. Pokud se v minulosti vyskytla významná povodňová událost, je možné naplavené dřevo analyzovat po dobu jeho životnosti. V podmínkách této studie odhadujeme tuto dobu nejméně na pět let, ale velmi pravděpodobně se setkáváme se dřevem starším, zvláště mezi autochtonními kusy. Na obr. 5 je hydrogram blízkého profilu Morava-Moravičany, který je reprezentativní pro Moravu na počátku CHKO Litovelské Pomoraví. V období pěti let před provedením výzkumu prošlo lokalitou několik přibližně jednoletých a jedna pětiletá povodeň. V celém desetiletí, které graf zobrazuje, se vyskytla největší povodeň v roce 2006 s dobou opakování 10–20 let [27]. Úvahy o tom, jestli říční dřevo v roce 2014 mohlo vypovídat ještě o povodni z roku 2006, jsou reálné. Jak bylo popsáno výše, kotvené kmeny, které se na lokalitě vyskytovaly od roku 2003, se do dnešní doby prakticky rozpadly a podobný osud mohl stihnout i zbytky kmenů naplavených do vyšších partií koryta při povodni roku 2006. Na druhou stranu řada zahraničních prací s mírného klimatického pásu uvádí dobu zdržení dřeva v korytě v desítkách let [4, 28]. Podobně Máčka aj. [29] byli schopni v roce 2009 rozpoznat naplavené a autochtonní říční dřevo v akumulacích z povodní 2002 a 2006.

Popsanou metodu je možné uplatnit pouze na homogenním úseku řeky po stránce přísunu říčního dřeva. Jestliže porovnáme naplavené dřevo s autochtonním, měla by existovat alespoň hypotetická možnost naplavení kmenů stejných rozměrů, jako je autochtonní dřevo. V podmínkách lokality byl možný přísun vzrostlých stromů z úseku 500 metrů neupraveného koryta k mostu Mladeč-Nové Zámky a dále z asi 2,5 km dlouhého úseku částečně upraveného koryta až k jezu Řimice. V břehových porostech se vyskytuje podobný vzrostlý porost jako na Vrapači, i když intenzita břehové eroze je díky stabilizaci břehů nižší. V charakteristikách polohy hodnotí metoda vlastnosti naplaveného dřeva „po naplavení“. V tom se odlišuje od metod přímého sledování, kdy je hodnocena poloha kusu před odplavením. Lze ale předpokládat, že většina naplaveného dřeva patřila mezi naplavené dřevo i výše v povodí a uvolnila se z podobných pozic, jaké byly popisovány na zkoumané lokalitě. Při hodnocení významu délky kmene není uvažována možná fragmentace během povodně. Takto vzniklé krátké kusy by měly nižší pravděpodobnost stability než kmen původní. Přesto byl tento vliv zanedbán, zejména proto, že k hodnocení možnosti fragmentace jednotlivých kusů nebyly získány žádné údaje. Lze předpokládat, že k rozlámání dochází častěji u říčního dřeva ve vyšším stupni rozkladu. Na lokalitě však převládalo dřevo nezetlelé, což byl druhý důvod, proč nebyla možnost fragmentace zohledněna.

Podobný přístup při hodnocení akumulací dřeva použili Máčka aj. [29] v NP Podují. Naplavené kusy dřeva se vyznačovaly statisticky významnou kratší délkou a menším průměrem než kmene autochtonní. Oproti autochtonním kusům postrádaly naplavené kusy kořeny i větve. Abbe a Montgomery [5] popsali stabilní tzv. klíčové kusy akumulací pomocí jejich délky a průměru báze kmene. Na základě těchto dvou parametrů byly stabilní kusy dobře odlišitelné od naplaveného říčního dřeva. Délka stabilních kusů byla obvykle větší než polovina šířky koryta. Průměr báze těchto kmenů byl obvykle větší než polovina hloubky koryta.

Význam rozměrů kmene pro stabilitu byl již popsán v mnoha studiích z terénu i hydraulických laboratoří [6, 10, 13]. Při zobecnění je délka kmene obvykle uváděna relativně vzhledem k šířce koryta. Kmeny s hodnotou blízko 1 a delší jsou považovány za velmi stabilní. V tomto se naše výsledky shodují, neboť nejdelší popsané kmeny s délkami 25–30 metrů s vysokou pravděpodobností stability se shodují délkou s šíří koryta, která je v průměru 28 m. Oproti výsledkům mnoha jiných studií nebyla zjištěna příliš významná závislost stability na průměru kmene. Je to patrně způsobeno tím, že hloubka vody na lokalitě během zvýšených průtoků přesahuje průměr nejsilnějších vyskytujících se kusů. Silnější závislost by mohla být prokázána, pokud by byly měřeny tloušťky bází kmenů nebo nejlépe průměr kořenového systému [5]. Rovněž míra zazemnění a přítomnost kořenů jsou obecně známé znaky podporující stabilitu kmene [5, 10, 11]. Obě charakteristiky jsou součástí finálního modelu. Oproti tomu přítomnost koruny (silných větví) a paralelní orientace s proudem byly statisticky významné pouze jednotlivě, ale nikoliv v logistickém regresním modelu v „konkurenci“ ostatních charakteristik.

Uložení naplavených kusů v akumulaci říčního dřeva bylo charakteristické pro rozlišení mezi autochtonními a naplavenými kusy, ale statisticky významné pouze v univariantním modelu. Tato vlastnost vychází z povahy naplaveného dřeva, které se při povodni hromadně zachytává na překážkách [3]. Tento vztah nelze jednoduše interpretovat obráceně jako závislost, tedy že dřevo uložené uvnitř akumulací je náchylnější k odplavení. Stabilita akumulace jako celku je závislá na tzv. klíčových kusech, rozměrných kmenech, které leží v jejím základu [5]. Ostatní součásti akumulace, zejména tzv. volné kusy, se mohou při zvýšených vodních stavech snadno mobilizovat. Stabilita jednotlivých prvků akumulace se tedy může značně lišit, i když akumulace samotná je stabilní po řadu let. Rozlišení jednotlivých kusů říčního dřeva mezi funkční prvky akumulací však nebylo v této studii provedeno.

Jako novinka mezi identifikovanými vlastnostmi ovlivňujícími stabilitu kmene se jeví význam úrovně uložení kmene vůči běžné hladině. Interpretace je zřejmá. Kmeny vyskytující se po většinu roku pod hladinou jsou nasáklé vodou, jejich specifická hustota je vyšší než hustota vody, což významně snižuje náchylnost k odplavení. Oproti tomu dřevo naplavené na vrcholech akumulací či štěrkových lavic snadno vysychá a zvyšuje tak pravděpodobnost dalšího odplavení. Hustota dřeva je běžně uvažována při modelování pohybu jednotlivých kusů, obvykle v kombinaci s průměrem kmene [13]. Kombinace těchto hodnot se používá k stanovení tzv. kritické hloubky, při které dochází k odplavení volných kusů dřeva. Tento vztah sice dobře funguje v mělkých a sklonitých tocích nižších řádů [10], v hlubokých meandrujících korytech se však uplatňují i jiné mechanismy stabilizace [30]. Zvýšení specifické hustoty dřeva zde působí jako pozitivní zpětná vazba.

Podobným způsobem jako v této studii použili pro analýzu pohyblivosti říčního dřeva logistický regresní model např. Van der Nat aj. [8] na řece Tagliamento v Itálii, Wohl a Goode [10] na horských potocích v Coloradu a Merten aj. [11] na tocích v okolí Hořejšího jezera v USA. Proměnné finálních modelů se liší podle metodik těchto prací a popisovaných charakteristik říčního dřeva. Van der Nat aj. [8] popsali modelem stabilitu dřevních akumulací v závislosti na velikosti povodně, velikosti akumulace a její poloze. Model Wohl a Goode [10] zahrnoval statisticky významné parametry: délka kmene, průměr kmene a typ uložení (napříč přes koryto, volný, podél břehu). Merten a kol. [11] vyhodnotil v modelu sedm významných faktorů, mezi které patřila

délka kmene, zazemnění a přítomnost kořenů. Podobně jako v této studii použil upravený vzorec logistické regrese pro vykreslení křivek pravděpodobnosti stability pro daný parametr.

Modelované hodnoty pravděpodobnosti samozřejmě nemohou být přijímány s nekritickou důvěrou. Každý model platí pouze v podmínkách dat, ze kterých byl vytvořen. I když připustíme, že přírodní podmínky na lokalitě Vrapač jsou reprezentativní pro hlavní koryto Moravy v Litovelském Pomoraví, modelované hodnoty by měly být použity spíše pro demonstraci relativního významu jednotlivých popisných charakteristik. Takový příklad může mít význam při vzdělávání pracovníků pověřených údržbou koryta. Z tohoto pohledu je zajímavý vztah znázorněný na obr. 4. Poměrně dobrá míra korelace mezi subjektivně určenou stabilitou říčního dřeva a jejich modelovaných hodnot navozuje myšlenku, že by k základnímu odhadu stability stačilo kvalifikované posouzení pracovníka s místní znalostí.

ZÁVĚR

Metodou terénního popisu říčního dřeva byly získány charakteristiky typické pro stabilní (autochtonní) kmeny a nestabilní (naplavené) říční dřevo. Jak vyplynulo z univariantního testování jednotlivých proměnných, stabilitu říčního dřeva ovlivňuje řada charakteristik rozměrů, tvaru, mechanických vlastností a uložení dřeva v korytě. Pomocí logistického regresního modelu byly jako charakteristiky nejvýznamnější pro stabilitu určeny: délka kmene, výška uložení vůči běžné hladině, míra zazemnění, přítomnost kořenů a zda jde o kmen živý či odumřelý. Pokud je z důvodů zachování přirozeného stavu koryta požadováno ponechání stabilních kusů říčního dřeva, měly by být tyto charakteristiky respektovány. Podobně lze využít analogii se stabilními kmeny při instalaci záměrně vkládaného dřeva do koryt vodních toků. Konečně modelované pravděpodobnosti stability mohou sloužit k lepšímu poznání dynamiky říčního dřeva na konkrétní lokalitě a získání citu pro terénní odhad stability říčního dřeva.

Poděkování

Děkuji pracovníkům Správy CHKO Litovelské Pomoraví, zejména paní Olze Žerníčkové za vstřícnost při zajištění terénního výzkumu a Janě Timkové z firmy DataTalk za pomoc se statistickou analýzou.

Literatura

- [1] MÁČKA, Z., KREJČÍ, L., GRÝC, V., HALAS, P., KOLÁŘ, T., KOLÁŘOVÁ, N. a VAVRČÍK, H. *Říční dřevo ve vodních tocích ČR*. Brno: Masarykova univerzita, 2011. 107 s.
- [2] GREGORY, S.V., BOYER, K.L., and GURNELL, A.M. The Ecology and Management of Wood in World Rivers. *American Fisheries Society, Symposium 37*. Bethesda, Maryland, 2003. 432 p.
- [3] PIÉGAY, H. Nature, mass and preferential sites of coarse woody debris deposits in the Lower Ain Valley (Mollon Reach), France. *Regulated Rivers: Research & Management*, 1993, 8(4), p. 359–372.
- [4] HYATT, T.L. and NAIMAN, R.J. The residence time of large woody debris in the Queets River, Washington, USA. *Ecological Applications*, 2001, 11(1), p. 191–202.
- [5] ABBE, T.B. and MONTGOMERY, D.R. Patterns and processes of wood debris accumulation in the Queets river basin, Washington. *Geomorphology*, 2003, 51(1–3), p. 81–107.
- [6] LIENKAEMPER, G.W. and SWANSON, F.J. Dynamics of large woody debris in old-growth Douglas-fir forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 1987, 17(2), p. 150–156.
- [7] ELOSEGI, A., DIEZ, J.R., and POZO, J. Abundance, characteristics, and movement of woody debris in four Basque streams. *Archiv für Hydrobiologie*, 1999, 144(4), p. 455–471.
- [8] VAN DER NAT, D., TOCKNER, K., EDWARDS, P.J., and WARD, J.V. Large wood dynamics of complex Alpine river floodplains. *Journal of the North American Benthological Society*, 2003, 22(1), p. 35–50.
- [9] WARREN, D.R. and KRAFT, C.E. Dynamics of large wood in an eastern U.S. mountain stream. *Forest Ecology and Management*, 2008, 256(4), p. 808–814.

- [10] WOHL, E. and GOODE, J.R. Wood dynamics in headwater streams of the Colorado Rocky Mountains. *Water Resources Research*, 2008, 44: W09429.
- [11] MERTEN, E., FINLAY, J., JOHNSON, L., NEWMAN, R., STEFAN, H., and VONDRACEK, B. Factors influencing wood mobilization in streams. *Water Resources Research*, 2010, 46: W10514.
- [12] RAVAZZOLO, D., MAO, L., PICCO, L., and LENZI, M.A. Tracking log displacement during floods in the Tagliamento River using RFID and GPS tracker devices. *Geomorphology*, 2015, 228, p. 226–233.
- [13] BRAUDRICK, C.A., GRANT, G.E., ISHIKAWA, Y., and IKEDA, H. Dynamics of wood transport in streams: A flume experiment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1997, 22(7), p. 669–683.
- [14] BOCCHIOLA, D., RULLI, M.C., and ROSSO, R. Transport of large woody debris in the presence of obstacles. *Geomorphology*, 2006, 76(1–2), p. 166–178.
- [15] ALLEN, D., ARTHUR, S., HAYNES, H., WALLIS, S.G., and WALLERSTEIN, N. Influences and drivers of woody debris movement in urban watercourses. *Science China-Technological Sciences*, 2014, 57(8), p. 1512–1521.
- [16] RUIZ-VILLANUEVA, V., BLADE, E., SANCHEZ-JUNY, M., MARTI-CARDONA, B., DIEZ-HERRERO, A., and MARIA BODOQUE, J. Two-dimensional numerical modeling of wood transport. *Journal of Hydroinformatics*, 2014, 16(5), p. 1077–1096.
- [17] SCHMOCKER, L., HUNZIKER, R., MUELLER, U., and WEITBRECHT, V. Driftwood retention in pre-alpine rivers. In: Schleiss, A. J., Speerli, J., Pfammatter, R. (ed.) *Swiss Competences in River Engineering and Restoration*, 2014, p. 117–127.
- [18] GSCHNITZER, T., GEMS, B., AUFLEGER, M., MAZZORANA, B., and COMITI, F. On the Evaluation and Modelling of Wood Clogging Processes in Flood Related Hazards Estimation. In: Lollino, G., Arattano, M., Rinaldi, M., Giustolisi, O., Marechal, J. C., Grant, G. E. (ed.) *Engineering Geology for Society and Territory, Vol.3: River Basins, Reservoir Sedimentation and Water Resources*, 2015, p. 139–142.
- [19] KOŽENÝ, P., VAJNER, P., ŽERNÍČKOVÁ, O., ŠINDLAR, M. a ZAPLETAL, J. Vývoj technické stabilizace dřevní hmoty v korytě Moravy v CHKO Litovelské Pomoraví. *Vodní hospodářství*, 2011, (3), s. 125–129.
- [20] HENDL, J. Přehled statistických metod zpracování dat: analýza a metaanalýza dat. *Portál*. Praha, 2006, 583 s.
- [21] R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2008. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- [22] BENKE, A.C. and WALLACE, J.B. Wood Dynamics in Coastal Plain Blackwater Streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1990, 47(1), p. 92–99.
- [23] BERG, N., CARLSON, A., and AZUMA, D. Function and dynamics of woody debris in stream reaches in the central Sierra Nevada, California. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1998, 55(8), p. 1807–1820.
- [24] MAO, L., BURNS, S., COMITI, F., ANDREOLI, A., URCIUOLO, A., GAVIÑO-NOVILLO, et. al. LW jams in a mountain stream of Tierra del Fuego: Piece movement and hydro-morphological effects analysis. *Bosque*, 2008, 29(3), p. 197–211.
- [25] KOŽENÝ, P. Large wood dynamics in the channel and floodplain of the Blanice stream during an one in ten years flood. In: Šustr, P. (ed.) *Aktuality šumavského výzkumu IV. Správa NP a CHKO Šumava*, 2010, s. 51–53.
- [26] MACVICAR, B.J., PIEGAY, H., HENDERSON, A., COMITI, F., et. al. Quantifying the temporal dynamics of wood in large rivers: field trials of wood surveying, dating, tracking, and monitoring techniques. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2009, 34(15), p. 2031–2046.
- [27] ANONYM. *Zpráva o hydrologickém vyhodnocení jarní povodně 2006 na území ČR*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2006, 86 s.
- [28] WALLACE, J.B., WEBSTER, J.R., EGGERT, S.L., MEYER, J.L., and SILER, E.R. Large woody debris in a headwater stream: Long-term legacies of forest disturbance. *International Review of Hydrobiology*, 2001, 86(4–5), p. 501–513.
- [29] MÁČKA, Z., KREJČÍ, L., a LOUČKOVÁ, B. Prostorová distribuce a vlastnosti dřevních akumulací jako indikátory transportu a depozice hrubého říčního dřeva – případová studie z řeky Dyje na česko-rakouském pomezí. *Thayensia*, 2011, (8), p. 27–56.
- [30] CURRAN, J.C. Mobility of large woody debris (LWD) jams in a low gradient channel. *Geomorphology*, 2010, 116(3–4), p. 320–329.

CHARACTERISTICS DETERMINING THE STABILITY OF WOODY DEBRIS ON THE EXAMPLE OF MORAVA RIVER IN THE LITOVELSKÉ POMORAVÍ

KOZENY, P.

TGM Water Research Institute, p. r. i.

Keywords: woody debris – floods – Morava River – Litovelské Pomoraví PLA – logistic regression

Wood is an important part of streams, affecting their hydraulic, morphological and biological features. For the stream management and flood risk reduction it is important to know the characteristics that increase the stability of wood and prevent its flushing at high water stages. By the analysis of 160 pieces of woody debris in the Morava River in Litovelské Pomoraví PLA the features important for wood stability in this area were identified. The analysis by the logistic regression model identified statistical significance of the following characteristics: log length, elevation according to the common water level, burial, presence of roots and whether the piece is living or dead. Application of the model to a specific wood piece enables to calculate modelled probability of stability. If the aim is to maintain stable wood in stream according to the natural status of stream, these characteristics should be respected. The stability probabilities of the model correlated with subjective probability estimate with the coefficient of determination $R^2 = 0.57$.

Autor

Mgr. Pavel Kožený

✉ pavel_kozeny@vuv.cz

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

Příspěvek prošel lektorským řízením.



Aplikace charakterizačního faktoru nedostatku vody ve studiích LCA v podmínkách České republiky

LIBOR ANSORGE

Klíčová slova: vodní stopa – posuzování dopadů životního cyklu – ISO 14046 – charakterizační faktor – nedostatek vody – elektrárna – teplárna

SOUHRN

V předloženém článku jsou shrnuty výsledky testování metody charakterizace užívání vody v systému posuzování životního cyklu v podmínkách České republiky. Zvolená metoda umožňuje robustní vyjádření užívání vody v ekvivalentních hodnotách referenčního systému. Metoda je postavena na potenciálu obnovitelnosti vodních zdrojů. Pro aplikaci metody v České republice byly odvozeny hodnoty charakterizačního faktoru pro jednotlivá hydrologická povodí III. řádu v České republice. Takto získané hodnoty byly porovnány s hodnotami spočítanými pro konkrétní profily Českého hydrometeorologického ústavu. Dále bylo provedeno stanovení vodní stopy pomocí testované metody procesu výroby elektrické energie ve vybraných elektrárnách a teplárnách ČR. Vzhledem k tomu, že zvolená metoda nepokrývá problematiku dopadů na lidské zdraví či ekosystémy, tak zjištěné hodnoty představují (pouze) „vodní stopu nedostatku vody procesu výroby elektrické a tepelné energie v elektrárnách a teplárnách“.

ÚVOD

Vodní stopa je odborný výraz, který se ve vodohospodářské praxi začal objevovat od 90. let minulého století. Vodní stopa byla definována jako celkové množství vody, které je použito přímo či nepřímo pro produkci se zahrnutím množství spotřebované a znečištěné vody [1]. Tento koncept prošel určitou formou kritiky, která poukazovala na skutečnost, že takto definovaná vodní stopa nijak nevypovídá o dopadech, které užívání vody přináší. Komunita zabývající se posuzováním životního cyklu přišla s vlastním chápáním pojmu vodní stopy a Mezinárodní organizace pro standardizaci (ISO) vyvinula a vydala normu zařazující vodní stopu do kategorie posuzování životního cyklu [2]. V rámci inventarizace životního cyklu (LCI – Life Cycle Inventory) jsou shromážděny veškeré informace o vstupech a výstupech během celého životního cyklu posuzovaného produktového systému. Ve vztahu k vodní stopě je to pak zjištění množství vody užité či spotřebované během životního cyklu. Následně je pak během fáze analýzy dopadů (LCIA – Life Cycle Impact Analyses) zjištěné množství použité či spotřebované vody převedeno pomocí tzv. charakterizačních faktorů na

Application of the water unavailability factor for characterisation of water use in LCA studies in the Czech Republic

LIBOR ANSORGE

Keywords: water footprint – life cycle impact assessment – ISO 14046 – characterisation factor – water scarcity – power plant – heat plant

SUMMARY

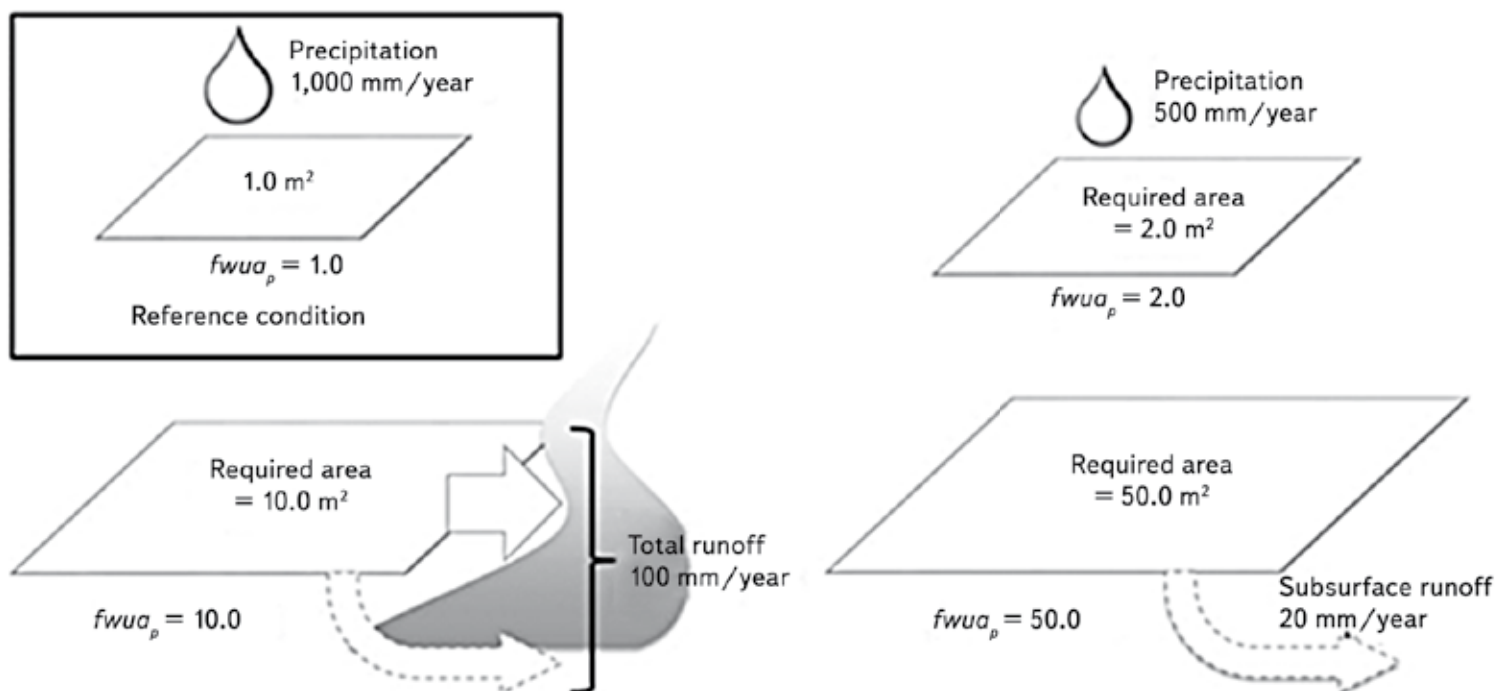
The following article summarises the results of testing a method for the characterisation of water use in the system of life cycle assessment in the Czech Republic. The chosen method allows for robust expression of water use in the equivalent values of the reference system. The method is based on the potential renewability of water resources. To apply the method in the Czech Republic, characterisation factor values were derived for individual hydrological third-order catchments in the Czech Republic. These values were compared with values calculated for specific profiles from the Czech Hydrometeorological Institute. In addition, water footprint of electricity production process in selected power plants and heat plants in the Czech Republic was determined by using a tested method. Given the fact that the chosen method does not cover the issue of impacts on human health and ecosystems, the identified values represent (only) the “water scarcity footprint of electricity and heat production processes in power plants and heat plants.”

INTRODUCTION

“Water footprint” is a technical term which started to appear in water management practice from the 1990s. Water footprint was defined as the total amount of water used directly or indirectly for production, including consumed and polluted water [1]. This concept received some criticism, which pointed to the fact that such a defined water footprint tells us nothing about the impacts that water use brings. The community involved in life cycle impact assessment came up with its own understanding of the concept of water footprint and the International Organization for Standardization (ISO) developed and issued a norm classifying water footprint in the category of life cycle impact assessment [2]. In Life Cycle Inventory (LCI), all information regarding inputs and outputs is collected throughout the life cycle of the examined product system. In relation to the water footprint, it then finds the amount of water used or consumed during the life cycle. Subsequently, during the Life Cycle Impact Analyses (LCIA) phase, the determined quantity of used or consumed water is transferred via the so-called characterisation factors to the units expressing

Tabulka 1. Ukázkový příklad výpočtu vodní stopy „nedostatku vody“ (převzato z: [7])
 Table 1. Example of water scarcity footprint calculation (source: [7])

	Charakterizační faktor		LCI	LCIA
	Hydrologické charakteristiky Hydrological characteristics [mm/rok]	Faktor nedostupnosti vody Water unavailability factor (fwua)	Inventarizace užívání vody Water use inventory [m ³]	Vodní stopa Water scarcity footprint [m ³ H ₂ O _{ekv.}]
Dešťové srážky Precipitation	500	2,0	2,0	4,0
Povrchová vody Surface runoff	100	10,0	1,5	15,0
Podzemní vody Subsurface runoff	20	50,0	0,5	25,0
CELKEM TOTAL	-	-	4,0	44,0



Obr. 1. Konceptuální diagram faktoru nedostupnosti vody vyjádřený pomocí potřebné plochy území (převzato se svolením autorů z: [7])

Fig. 1. Conceptual diagram of the water unavailability factor in terms of the required land area (reproduced with permission from: [7])

This figure is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).

jednotky vyjadřující tzv. „midpointové“ kategorie dopadu [3]. Jedním z charakterizačních faktorů, který je běžně využíván pro charakterizaci „spotřeby vody“ je Water Stress Index (WSI) [4]. Existuje ovšem i řada dalších charakterizačních faktorů [5]. Koncept Water Stress Indexu je sice běžně zahrnut do nejrozšířenějších LCA databází, ale je mu vytýkáno [6], že se jedná o syntetický ukazatel stanovený na základě výsledků hydrologických modelů s problematickým fyzikálním vyjádřením, který nerozlišuje mezi zdroji vody (srážky, podzemní vody, povrchové vody).

V reakci na některé nedostatky Water Stress Indexu byla v roce 2015 publikovaná metoda [7], která je založena na posouzení obnovitelnosti vodních zdrojů v řešeném území. Na rozdíl od Water Stress Indexu (a jemu podobných charakterizačních metod) nevyužívá tato metoda pro konstrukci charakterizačního faktoru hodnotu užívání vod v řešeném území, takže nemohou nastat situace, kdy je užívání vody započítáno „dvakrát“ [6]. Mezi další výhody metody patří schopnost prostorové a časové diferenciaci i rozlišení jednotlivých typů zdrojů.

METODIKA

Popis testované metody

Myšlenka charakterizačního faktoru postaveného na obnovitelnosti vodních zdrojů vychází z předpokladu, že dopad užití jednotkového množství vody je nepřímo úměrný schopnosti zdroje toto množství dodat/nahradit. Prakticky jediným zdrojem vody jsou dešťové srážky. V povodí s nedostatkem vody/srážek musí být k dispozici větší plocha nebo delší čas k vytvoření požadovaného množství vody. Jinými slovy potenciální dopad může být vyjádřen jako plocha povodí nebo doba potřebná k získání jednotkového množství vody v každém zdroji. Charakterizační faktor je definován rovnicí 1.

$$fwua_{x,l} = \frac{A_{x,l}}{A_{ref}} = \frac{T_{x,l}}{T_{ref}} \quad (1)$$

kde $fwua_{x,l}$ je charakterizační faktor „nedostupnosti vody“ pro zdroj x v místě l ,

$A_{x,l}$	množství vody v definovaném čase ve zdroji x v místě l ,
A_{ref}	plocha potřebná k získání jednotkového množství vody v definovaném čase za referenčních podmínek,
$T_{x,l}$	čas potřebný k získání jednotkového množství vody z definované plochy ve zdroji x v místě l ,
T_{ref}	čas potřebný k získání jednotkového množství vody z definované plochy za referenčních podmínek.

Hodnoty $A_{x,l}$ a $T_{x,l}$ jsou definovány rovnicemi 2 a 3.

$$A_{x,l} = \frac{Q_{A,ref}}{P_{x,l}} \quad (2)$$

$$T_{x,l} = \frac{Q_{T,ref}}{P_{x,l}} \quad (3)$$

kde $Q_{A,ref}$ je referenční množství vody na jednotku času [m^3/rok],
 $Q_{T,ref}$ referenční množství vody na jednotku plochy [m^3/m^2],
 $P_{x,l}$ roční schopnost vodního cyklu obnovit zdroj x v místě l [m/rok].

the so-called “midpoint” impact categories [3]. One of the factors commonly used for “water consumption” characterisation is the Water Stress Index (WSI) [4]. However, there are many other characterisation factors [5]. Although the concept of Water Stress Index is commonly incorporated into leading LCA databases, it is criticised [6] in that it is a synthetic measure based on the results of hydrological models with problematic physical expression, which do not differentiate between water sources (precipitation, groundwater, surface water).

In response to some of the deficits of the Water Stress Index, a method was published in 2015 [7] which is based on the assessment of water sources renewability in the selected area. Unlike Water Stress Index (and other similar characterisation methods), this method does not use the value of water use in the selected area for constructing the characterisation factor, so situations cannot occur where water use is calculated “twice” [6]. Other advantages of the method include the ability for spatial and temporal differentiation, as well as differentiation of various types of sources.

METHODOLOGY

Description of the tested method

The idea of a characterisation factor built on the renewability of water sources is based on the assumption that the impact of the use of the unit amount of water is inversely proportional to the ability of the source to supply or substitute this amount. Precipitation is virtually the only water source. In a catchment with water or precipitation scarcity, a larger area or a longer time must be available to create the desired amount of water. In other words, the potential impact can be expressed as a catchment area or the time required to obtain a unit amount of water from each water source. The characterisation factor is defined by equation 1.

where $fwua_{x,l}$ is the characterisation factor of “water unavailability” for a source x in a location l ,

$A_{x,l}$	the area required to obtain the unit amount of water at a defined time from a source x in a location l ,
A_{ref}	the area required to obtain the unit amount of water at a defined time under reference conditions,
$T_{x,l}$	the time required to obtain the unit amount of water from a defined area from a source x in a location l ,
T_{ref}	the time required to obtain the unit amount of water from a defined area under reference conditions.

Factors $A_{x,l}$ and $T_{x,l}$ are defined by equations 2 and 3.

where $Q_{A,ref}$ is the reference water quantity per unit of time [$m^3/year$],
 $Q_{T,ref}$ the reference water quantity per unit of area [m^3/m^2],
 $P_{x,l}$ the annual capacity of a water cycle to restore a source x in a location l [$m/year$].

Referenční množství vody může mít libovolnou hodnotu. Autoři metody při stanovení referenční hodnoty [7] vychází z přibližného průměru celosvětových srážek na 1 m² plochy zemského povrchu, který činí přibližně 1 000 mm. Tuto hodnotu používají pro vyjádření charakterizačního faktoru jak pro srážky, tak pro zdroje povrchových a podzemních vod s vysvětlením, že veškeré zdroje sladké vody pocházejí ze srážek. Globální průměrnou hodnotu srážek tak považují za vhodný ukazatel pro vážení obnovitelnosti vodních zdrojů (za obnovitelné zdroje nejsou v tomto smyslu považovány podzemní vody bez možnosti doplňování ze srážek, které se stejně v ČR nevyskytují). Výsledná vodní stopa, stanovená touto metodou, se vyjadřuje v m³ H₂O_{ekv.}, což lze fyzikálně interpretovat jako množství referenčních srážek. V případě použití referenčních hodnot navržených autory metody pak jako množství průměrných srážek na Zemi.

Celkový odtok lze považovat za odpovídající přirozené schopnosti obnovy podzemních vod ze srážek. Celkový odtok se skládá z přímého a základního odtoku. Přímý odtok je tvořen ze srážek a základním odtokem se rozumí ta část celkového odtoku, která pochází z podzemních zdrojů. Množství přímého i základního odtoku je vymezeno hydrologickým cyklem a je možno jej považovat za teoretické maximální množství využitelné společností (poznámka: tento předpoklad zanedbává požadavek na zachování ekologických průtoků, ať již budou definovány jakkoliv; zároveň však není principiálně v rozporu s myšlenkou šedé vodní stopy [1]).

Při srážkách 1 000 mm/rok je třeba 1 m² a doby 1 rok k dosažení referenční hodnoty 1 m³. Faktor nedostupnosti vodních zdrojů $fwua = 1,0$. Pro vysvětlení aplikace metody uvažujeme povodí o ploše 1 km² se srážkami 500 mm/rok, odtokem povrchových vod o velikosti 100 000 m³/rok a základním odtokem 50 000 m³/rok. V tomto povodí se srážkami 500 mm/rok je potřeba k dosažení referenčního objemu 1 m³ buďto plocha 2 m² nebo doba 2 let. Charakterizační faktor srážek (precipitation – p) $fwua_p = 1000/500 = 2$. Pokud odtoková výška z povodí činí 100 mm/rok (např. z povodí o ploše 1 km² = 1 mil. m² odtěče za rok 100 000 m³), pak je charakterizační faktor odtoku povrchových vod (surface water – sw) $fwua_{sw} = 1000/100 = 10$. Obdobně charakterizační faktor podzemních vod (ground water – gw) $fwua_{gw} = 1000/50 = 20$.

Potenciální dopad užívání vody v povodí pak může být vypočítán pro jednotlivé zdroje vynásobením součtu užívání každého zdroje jeho charakterizačním faktorem podle rovnice 4.

$$WSF = \sum fwua_{x,l} \times WI_{x,l} \quad (4)$$

kde $fwua_{x,l}$ je charakterizační faktor „nedostupnosti vody“ pro zdroj x v místě l ,
 WSF vodní stopa nedostatku vody (water scarcity footprint) založená na potenciálním dopadu [m³ H₂O_{ekv.}],
 $WI_{x,l}$ výsledek inventarizační analýzy užívání vody vycházející ze spotřeby vody ve zdroji x v místě l [m³].

Pokud v popisovaném povodí je pro nějaký produkt, službu, instituci či proces spotřebováno 2,0 m³ dešťových srážek, 1,5 m³ povrchových vod a 0,5 m³ podzemních vod, je vodní stopa „nedostatku vody“ 44,0 m³ H₂O_{ekv.} (viz obr. 1 a tabulku 1).

Hodnoty charakterizačního faktoru pro povodí III. řádu

Hodnotu charakterizačního faktoru $fwua_{sw}$ lze snadno získat z dat poskytovaných Českým hydrometeorologickým ústavem podle rovnice 5. V případě studií LCA však často dochází k situaci, kdy v rámci posuzovaného životního cyklu je využíváno velké množství různých zdrojů vody a získání potřebných dat od

Reference water quantity may have any value. To determine the reference value [7] the authors of the method proceed from the approximate global precipitation average per 1 m² of the Earth's surface, which is approximately 1000 mm. They use this value to express the characterisation factor for precipitation as well as surface water and groundwater sources, explaining that all sources of fresh water come from precipitation. Therefore, they consider the global average precipitation value to be an appropriate indicator for weighing renewability of water sources (in this sense, fossil groundwater without the possibility of replenishment from precipitation, which does not occur in the Czech Republic anyway, is not considered a renewable source). The resulting water footprint, determined by this method, is expressed in m³ H₂O_{eq.}, which can be physically interpreted as a reference precipitation amount, and, in the case of using reference values proposed by the authors of the method, as the amount of average precipitation on the Earth.

The total runoff can be considered as corresponding to natural recharge capabilities of groundwater from precipitation. The total runoff is composed of two components: direct and primary runoff. Direct runoff is formed from precipitation and primary runoff means the part of the total runoff which comes from groundwater sources. The amount of direct as well as primary runoff is defined by the hydrological cycle and can be considered as the theoretical maximum amount usable by society (note: this assumption neglects the requirement to maintain ecological flows, whether they are defined in any way; at the same time, however, it is not fundamentally contrary to the idea of grey water footprint [1]).

With a precipitation of 1000 mm/year, 1 m² and 1 year is required to achieve the reference value of 1 m³. The water unavailability factor $fwua = 1.0$. For an explanation of method application, let us consider a catchment area of 1 km², precipitation of 500 mm/year, surface water runoff of 100 000 m³/year and basic runoff 50 000 m³/year. In this catchment with precipitation of 500 mm/year, either an area of 2 m² or a time of 2 years is required to achieve a reference volume of 1 m³. The characterisation factor of precipitation (p) $fwua_p = 1000/500 = 2$. If the runoff level from the catchment is 100 mm/year (e.g. in a catchment area of 1 km² = 1 x 10⁶ m², 100 000 m³ runoff in a year), then the characterisation factor of surface water runoff (sw) $fwua_{sw} = 1000/100 = 10$. Similarly, the characterisation factor of groundwater (gw) $fwua_{gw} = 1000/50 = 20$.

The potential impact of water use in the catchment can then be calculated for each source by multiplying the sum of the usage of each resource by its characterisation factor according to equation 4.

where $fwua_{x,l}$ is the characterisation factor of “water unavailability” for a source x in a location l ,
 WSF the water scarcity footprint based on a potential impact [m³ H₂O_{eq.}],
 $WI_{x,l}$ the result of the inventory analysis of water use based on water consumption in a source x in a location l [m³].

If for any product, service, institution or process at a described catchment, 2.0 m³ of rainfall, 1.5 m³ of surface water and 0.5 m³ of groundwater is consumed, the water scarcity footprint is 44.0 m³ H₂O_{eq.} (see Fig. 1 and Table 1).

Characterisation factor values for third-order catchments

The characterisation factor value $fwua_{sw}$ from equation 5 can be easily obtained from data provided by the Czech Hydrometeorological Institute (CHMI). However, in the case of LCA studies, it often happens that a large number of different water sources are used within the assessed life cycle, and obtaining data from CHMI would be rather expensive and time consuming. Therefore,

Tabulka 2. Charakterizační faktor „nedostupnosti vody“ ($fwua$) pro povodí 3. řádu a referenční podmínky $fwua_{ref} = 1,0$
 Table 2. Factor of water unavailability ($fwua$) for watershed 3rd order and reference $fwua_{ref} = 1.0$

ČHP III	Plocha povodí III. řádu (Catchment area)	Srážky (Precipitation)		Celkový odtok (Total runoff)		ČHP III	Plocha povodí III. řádu (Catchment area)	Srážky (Precipitation)		Celkový odtok (Total runoff)	
	km ²	mm	$fwua_p$	mm	$fwua_{sw}$		km ²	mm	$fwua_p$	mm	$fwua_{sw}$
1-01-01	711,59	855	1,16996	412	2,42755	1-14-03	1193,81	731	1,36781	260	3,85189
1-01-02	512,87	822	1,21609	375	2,66352	1-14-04	71,44	602	1,65987	135	7,42777
1-01-03	610,99	777	1,28665	300	3,32993	1-14-05	220,05	731	1,36781	260	3,85189
1-01-04	290,80	788	1,26934	315	3,17697	1-15-01	387,68	731	1,36781	260	3,85189
1-02-01	777,35	817	1,22385	362	2,76225	1-15-02	209,21	602	1,65987	135	7,42777
1-02-02	758,31	778	1,28466	307	3,25486	1-15-03	518,32	705	1,41920	278	3,60204
1-02-03	502,78	788	1,26955	266	3,76372	1-15-04	153,36	705	1,41920	278	3,60204
1-03-01	243,32	749	1,33475	290	3,44249	1-15-05	213,54	705	1,41920	278	3,60204
1-03-02	736,72	698	1,43178	207	4,82225	2-01-01	1616,13	720	1,38858	223	4,49038
1-03-03	867,14	714	1,40073	238	4,20856	2-02-01	944,62	672	1,48863	187	5,35352
1-03-04	650,42	679	1,47264	230	4,34405	2-02-02	900,00	720	1,38948	220	4,55149
1-03-05	591,15	701	1,42715	206	4,84719	2-02-03	242,85	698	1,43361	188	5,33024
1-04-01	607,65	652	1,53485	207	4,83134	2-02-04	40,31	695	1,43810	192	5,19572
1-04-02	645,43	668	1,49747	173	5,76808	2-03-01	826,29	955	1,04670	434	2,30301
1-04-03	379,44	646	1,54734	134	7,46594	2-03-02	150,40	695	1,43810	192	5,19572
1-04-04	172,73	650	1,53912	152	6,59177	2-03-03	1112,18	1026	0,97443	496	2,01615
1-04-05	685,08	615	1,62501	123	8,12581	2-04-01	438,33	695	1,43810	192	5,19572
1-04-06	543,04	672	1,48845	205	4,88243	2-04-02	479,45	695	1,43947	223	4,47679
1-04-07	604,78	672	1,48845	205	4,88243	2-04-03	538,82	753	1,32731	286	3,49911
1-05-01	782,08	1000	0,99953	536	1,86695	2-04-04	773,68	864	1,15758	378	2,64208
1-05-02	1166,03	804	1,24371	331	3,01677	2-04-05	110,22	753	1,32731	286	3,49911
1-05-03	244,07	768	1,30175	289	3,46465	2-04-06	121,11	964	1,03772	490	2,04047
1-05-04	630,33	634	1,57627	167	5,99855	2-04-07	376,92	1003	0,99672	517	1,93278
1-06-01	1862,79	785	1,27329	307	3,25799	2-04-08	190,06	749	1,33586	264	3,78679
1-06-02	978,81	712	1,40505	213	4,68469	2-04-09	111,50	1003	0,99672	517	1,93278
1-06-03	750,19	711	1,40643	226	4,43191	2-04-10	324,10	964	1,03772	490	2,04047
1-07-01	588,63	701	1,42707	188	5,32872	4-01-01	19,20	668	1,49606	194	5,16043
1-07-02	1128,33	692	1,44576	179	5,58062	4-01-02	305,07	668	1,49606	194	5,16043
1-07-03	998,06	709	1,40963	235	4,26204	4-01-03	193,59	736	1,35858	205	4,87432
1-07-04	1519,53	671	1,48957	181	5,52255	4-02-01	106,77	736	1,35858	205	4,87432
1-07-05	326,83	652	1,53281	198	5,04200	4-02-02	160,56	736	1,35858	205	4,87432

ČHP III	Plocha povodí III. řádu (Catchment area)		Srážky (Precipitation)		Celkový odtok (Total runoff)		ČHP III	Plocha povodí III. řádu (Catchment area)		Srážky (Precipitation)		Celkový odtok (Total runoff)	
	km ²	mm	fwua _p	mm	fwua _{sw}	km ²		mm	fwua _p	mm	fwua _{sw}		
1-08-01	1288,71	855	1,17023	372	2,69013	4-03-01	90,95	736	1,35858	205	4,87432		
1-08-02	724,78	758	1,31980	268	3,72792	4-04-01	299,88	736	1,35858	205	4,87432		
1-08-03	981,40	680	1,47133	190	5,25438	4-04-02	153,55	736	1,35858	205	4,87432		
1-08-04	845,39	631	1,58458	152	6,59870	4-04-03	19,45	707	1,41472	224	4,46907		
1-08-05	1325,42	584	1,71271	116	8,61802	4-10-01	821,00	889	1,12518	398	2,51110		
1-09-01	1508,89	710	1,40906	202	4,94132	4-10-02	1319,95	726	1,37818	240	4,17500		
1-09-02	1188,57	705	1,41806	188	5,33174	4-10-03	1436,20	672	1,48920	210	4,75354		
1-09-03	1653,52	665	1,50307	184	5,43022	4-11-01	988,69	899	1,11255	380	2,63063		
1-09-04	171,59	610	1,64028	164	6,11445	4-11-02	631,55	817	1,22374	309	3,23415		
1-10-01	1824,13	648	1,54222	178	5,62989	4-12-01	812,59	600	1,66705	118	8,49815		
1-10-02	1268,35	685	1,45932	190	5,25512	4-12-02	1423,38	626	1,59846	165	6,04434		
1-10-03	915,41	753	1,32884	244	4,10172	4-13-01	1314,56	732	1,36540	214	4,67239		
1-10-04	26,71	595	1,68190	137	7,28644	4-13-02	975,00	656	1,52497	207	4,83836		
1-10-05	755,91	641	1,55989	152	6,57838	4-13-03	760,97	656	1,52497	207	4,83836		
1-11-01	740,88	640	1,56353	162	6,18957	4-14-01	1404,13	666	1,50162	176	5,67712		
1-11-02	1520,85	612	1,63416	153	6,51683	4-14-02	2187,98	609	1,64281	138	7,23578		
1-11-03	603,91	545	1,83517	92	10,86357	4-14-03	1014,94	538	1,85801	76	13,08706		
1-11-04	641,26	592	1,69041	132	7,57473	4-15-01	1730,65	653	1,53228	168	5,94014		
1-11-05	558,13	578	1,72871	132	7,59928	4-15-02	1155,42	628	1,59145	136	7,35675		
1-12-01	429,00	602	1,66192	145	6,90142	4-15-03	1233,11	590	1,69531	100	10,01972		
1-12-02	975,12	533	1,87723	86	11,64605	4-16-01	1206,21	655	1,52564	177	5,64846		
1-12-03	887,24	619	1,61572	171	5,85519	4-16-02	870,08	638	1,56774	176	5,67853		
1-13-01	2471,03	701	1,42755	266	3,75963	4-16-03	583,99	573	1,74395	114	8,78400		
1-13-02	1147,13	735	1,36054	289	3,45541	4-16-04	333,35	584	1,71095	110	9,05780		
1-13-03	1262,68	630	1,58810	155	6,44661	4-17-01	1720,72	581	1,72078	100	9,97182		
1-13-04	725,29	633	1,57880	180	5,55985	4-21-06	269,90	1026	0,97443	496	2,01615		
1-13-05	253,67	608	1,64600	151	6,63501	4-21-07	150,40	770	1,29806	233	4,28717		
1-14-01	1082,64	615	1,62597	169	5,92719	4-21-08	451,94	770	1,29806	233	4,28717		
1-14-02	282,02	602	1,65987	135	7,42777	4-21-09	302,90	744	1,34348	207	4,83429		

ČHMÚ by bylo časově a finančně značně náročné. Proto byl otestován i modelový přístup, kdy pro výpočet charakterizačního faktoru $fwua_{sw}$ byly použity hydrologické charakteristiky povodí 3. řádu odvozené pomocí modelu BILAN. Podrobný postup stanovení hydrologických charakteristik uvádí článek z roku 2015 [8]. Základní charakteristiky vypočítané modelem BILAN a použité pro zpracování charakterizačního faktoru jsou údaje o srážkách a celkovém odtoku vztažené k příslušnému dílčímu povodí 3. řádu. Pro tyto charakteristiky byly spočítány hodnoty charakterizačního faktoru $fwua_p$ a $fwua_{sw}$ (tabulka 2). Za referenční hodnoty pro stanovení charakterizačních faktorů byla použita hodnota srážek 1000 mm/rok na plochu 1 m², tj. stejné hodnoty jako používají autoři testované metodiky [7]. Volba těchto referenčních podmínek umožní přímá srovnání s jinými studii využívajícími stejné „globální“ referenční podmínky.

Pro řešení větších povodí, skládajících se z několika hydrologických povodí 3. řádu, se vypočítá hodnota průměrného charakterizačního faktoru celého povodí \overline{fwua}_{sw} podle rovnice 6. Pro porovnání dosažených výsledků bylo vybráno 34 profilů s uveřejněnými hydrologickými údaji [9]. Z dostupných údajů ČHMÚ pak byla stanovena hodnota charakterizačního faktoru $fwua_{sw-CHMU}$ podle rovnice 5 a porovnána s vypočítaným charakterizačním faktorem $fwua_{sw}$ v případě složených povodí nebo $fwua_{sw}$.

$$fwua_{sw-CHMU} = \frac{Q_{A,ref}}{365 \times 86400 \times Q_A} \times A \quad (5)$$

kde $fwua_{sw-CHMU}$ je průměrný charakterizační faktor „nedostupnosti vody“ stanovený na základě údajů ČHMÚ,
 Q_A průměrný průtok stanicí ČHMÚ [m³/s],
 A plocha povodí [km²].

a model approach was also tested to calculate characterisation factor $fwua_{sw}$ using hydrological characteristics of third-order catchments derived by the BILAN model. Detailed procedures of hydrological characteristic determination is stated in a 2015 article [8]. Basic characteristics calculated using the BILAN model and used for processing the characterisation factor are the data on precipitation and total runoff related to the respective third-order sub-basin. For these characteristics, characterisation factor values $fwua_p$ and $fwua_{sw}$ were calculated (Table 2). As reference values for determining characterisation factors, a precipitation value of 1000 mm/year per area of 1 m² was used, i.e. the same values as the authors of the tested methodology used [7]. The choice of these reference values will allow direct comparisons with other studies using the same “global” reference values.

When dealing with larger catchments, consisting of several third-order hydrological catchments, the value of the average characterization factor of the entire catchment \overline{fwua}_{sw} is calculated according to equation 6. To compare the results obtained, 34 profiles with published hydrological data were selected [9]. The characterisation factor value $fwua_{sw-CHMU}$ from equation 5 was then determined from the available data of CHMI and compared with the calculated characterisation factor \overline{fwua}_{sw} in the case of a composite catchment, or $fwua_{sw}$.

where $fwua_{sw-CHMU}$ is the average characterisation factor of “water unavailability” determined from CHMI data,
 Q_A the average flow through a CHMI station [m³/s],
 A the catchment area [km²].

$$\overline{fwua}_{sw-CHMU} = \frac{\sum_l (fwua_{sw} \times Q_l)}{\sum_l Q_l} = \frac{\sum_l \left(\frac{Q_{A,ref}}{P_l \times A_{ref}} \times L_l \times P_l \right)}{\sum_l (L_l \times P_l)} = \frac{\sum_l (L_l \times P_{ref})}{\sum_l (L_l \times Q_{ref})} = \frac{\overline{A}_{p,l}}{\overline{A}_{ref}} \quad (6)$$

kde \overline{fwua}_{sw} je průměrný charakterizační faktor „nedostupnosti vody“ povrchových vod,
 $fwua_{sw}$ charakterizační faktor „nedostupnosti vody“ povrchových vod v povodí l ,
 Q_l roční odtok z povodí l [m³],
 P_l roční odtoková výška z povodí l [m],
 L_l plocha povodí l [m²],
 P_{ref} roční srážky v referenčních podmínkách [m/rok].

where \overline{fwua}_{sw} is the average characterisation factor of “water unavailability” of surface water,
 $fwua_{sw}$ the characterisation factor of “water unavailability” of surface water in catchment l ,
 Q_l the annual runoff from catchment l [m³],
 P_l the annual runoff level from catchment l [m],
 L_l the catchment area l [m²],
 P_{ref} annual precipitation in reference conditions [m/year].

Výběr energetických provozů

Testování metody v podmínkách České republiky proběhlo na údajích o operační spotřebě vody ve vybraných energetických provozech České republiky. Pro každý energetický provoz byla analýzou povolení podle zákona č. 76/2002 Sb. (o integrované prevenci a omezení znečištění) identifikována dotčená povodí III. řádu, která tvoří povodí energetického provozu (viz tabulku 3). Pro každé povodí energetického provozu, které je tvořeno dvěma a více povodími III. řádu, pak byla stanovena „průměrná“ hodnota charakterizačního faktoru \overline{fwua}_{sw} podle rovnice 6.

Power plant selection

Testing the method in the Czech Republic was based on information on the operational water consumption of selected Czech power plants. By permit analysis under Act no. 76/2002 Coll. (Integrated Pollution Prevention and Control), the third-order catchments, which form a catchment of a power plant, were identified for each power plant (see Table 3). For each catchment of the power plant which is formed by two and more third-order catchments, an “average” characterisation factor value \overline{fwua}_{sw} was determined according to equation 6.

Tabulka 3. Vodní stopa energetických provozů (pouze proces generování energie v provozu bez upstream a downstream procesu)
 Table 3. Water scarcity footprint of Energy units (only power generation proces without downstream and upstream processes)

Energetický provoz (Power plant)	Systém chlazení (Cooling system)	Výroba energie brutto (Energy production)	Spotřeba vody (Water consum.)	Hydrologické povodí III. řádu (Catchment No.)	Char. faktor (Char. factor)	Vodní stopa (Water scarcity footprint)	
		[MWh/rok]	[m ³ /MWh]		$fwua_{sw}$	[m ³ H ₂ O _{ekv.} / rok]	[m ³ H ₂ O _{ekv.} / MWh]
Tep. Písek	Recirk.	155 836	0,372	1-08-03 až 1-08-01	3,48142	542 531	1,30
El. Opatovice	Prūt.	3514978	0,503	1-03-01 až 1-01-01	2,97966	10 473 434	1,50
El. Hodonín	Prūt.	607 782	0,424	4-13-02 až 4-10-01	4,17235	2 535 882	1,77
Tep. Olomouc	Prūt. + Suché	832 410	0,388	4-10-03	4,75354	3 956 894	1,84
Tep. Strakonice	Prūt.	365 548	0,625	1-08-02 a 1-08-01	2,98972	1 092 886	1,87
Tep. Liberec	Recirk.	280 130	0,992	2-04-07	1,93278	541 430	1,92
Tep. Kolín	Prūt.	415 099	0,616	1-04-01 až 1-01-01	3,51626	1 459 595	2,17
Tep. Vřesová (+PPC)	Recirk.	7 057 527	0,581	1-13-01	3,75963	26 533 713	2,18
El. Poříčí	Recirk.	1 098 995	0,93	1-01-02	2,66352	2 927 193	2,48
El. Dětmarovice	Recirk.	2 646 007	1,346	2-03-03	2,01615	5 334 741	2,71
El. Tisová	Recirk.	1 869 319	0,841	1-13-01	3,75963	7 027 954	3,16
Tep. Otrokovice	Recirk.	780 256	0,914	4-12-02 až 4-10-01	4,02356	3 139 406	3,68
Tep. Zlín	Recirk.	683 066	0,918	4-13-01	4,67239	3 191 553	4,29
Alpiq Kladno	Recirk.	2 188 569	1,011	1-12-02 až 1-01-01	4,55282	9 964 160	4,60
Energetika Třinec	Recirk.	2 166 807	2,622	2-03-03	2,01615	4 368 603	5,29
Tep. Č. Budějovice	Recirk.	1 024 075	1,175	1-06-02	4,68469	4 797 478	5,50
Tep. Dvůr Králové	Prūt.	154 163	2,399	1-01-01	2,42755	374 238	5,82
El. Tušimice II	Recirk.	4 021 132	1,674	1-13-02 a 1-13-01	3,65754	14 707 447	6,12
Tep. Trmice (+PPC)	Recirk.	1 439 117	1,411	1-14-01 až 1-01-01	4,56612	6 571 187	6,44
El. a tep. Komořany	Recirk.	1 520 382	1,106	1-14-01	5,92719	9 011 598	6,56
El. Pruněřov I a II	Recirk.	8 803 992	1,841	1-13-02 a 1-13-01	3,65754	32 200 943	6,73
El. Chvaletice	Recirk.	3 125 041	2,104	1-03-04 až 1-01-01	3,35140	10 473 271	7,05
El. Mělník I až III	Prūt. + Recirk.	7 637 173	1,602	1-12-03 až 1-01-01	4,57396	34 932 112	7,33
El. Temelín	Recirk.	13 295 602	1,979	1-06-03 až 1-06-01	3,78096	50 270 131	7,48
Tep. Ostrov	Recirk.	123 615	2,086	1-13-02 a 1-13-01	3,65754	452 127	7,63
Tep. Plzeň	Recirk.	1 576 252	1,402	1-10-01 a 1-10-04	5,64842	8 903 338	7,92
El. Ledvice 2 a 3	Recirk.	2 338 291	1,352	1-14-01	5,92719	13 859 503	8,01
Tep. Varnsdorf	Recirk.	74 440	2,156	2-04-08	3,78679	281 889	8,16
El. Počeradý	Recirk.	6 699 537	1,934	1-14-01 a 1-13-03 až 1-13-01	4,36004	29 210 269	8,43
Tep. Přerov	Recirk.	672 558	3,031	4-11-02 a 4-11-01	2,83699	1 908 040	8,60
El. Dukovany	Recirk.	14 426 350	2,079	1-16-01	5,64846	81 486 677	11,74
Tep. Planá n. Lužnicí	Recirk.	337 921	2,486	1-07-04 až 1-07-01	5,15168	1 740 860	12,81

Tabulka 4. Porovnání hodnot charakterizačních faktorů pro profily ČHMÚ a stanovených z hydrologických charakteristik profilů a z hydrologických charakteristik povodí III. řádu
 Table 4. Comparison of values of characterisation factor of Czech Hydromet. Institute profiles computed from characteristics of profiles and characteristics of catchment

Tok (River)	Stanice (Station)	„Dotčená“ povodí III. řádu („Affected“ catchments)	$fwua_{sw-CHMU}$	$fwua_{sw-CHP3}$	Rozdíl faktoru $fwua$ (Difference of $fwua$)	Rozdíl plochy povodí (Difference of catchment area)
Úslava	Koterov	1-10-05	6,568137	6,578385	-0,16 %	-3,09 %
Ploučnice	Benešov nad Ploučnicí	1-14-03	3,941965	3,851889	2,29 %	-3,20 %
Sázava	Zruč nad Sázavou	1-09-01	4,818125	4,941318	-2,56 %	-6,21 %
Ohře	Louny I.	1-13-01 až 1-13-03	4,230260	4,118502	2,64 %	1,99 %
Bečva	Dluhonice	4-11-02 a 4-11-01	2,919574	2,836989	2,83 %	-1,72 %
Malše	Roudné	1-16-02	4,827766	4,684694	2,96 %	-1,73 %
Morava	Olomouc-Nové Sady tok	4-10-01 až 4-10-03	3,992059	3,784396	5,20 %	-7,63 %
Opava	Děhylov	2-02-01 až 2-02-03	4,716079	4,973169	-5,45 %	-2,45 %
Vltava	České Budějovice	1-16-02 a 1-16-01	3,446637	3,639814	-5,60 %	0,22 %
Lužická Nisa	Hrádek nad Nisou	2-04-07	2,063779	1,932781	6,35 %	-6,09 %
Vltava	Březí-Kamenný Újezd	1-16-01	3,062730	3,257993	-6,38 %	-2,04 %
Otava	Katovice	1-08-01	2,514099	2,690126	-7,00 %	-13,67 %
Labe	Nymburk	1-04-05	4,183141	3,883723	7,16 %	-0,22 %
Otava	Písek	1-08-01 až 1-08-03	3,786591	3,481423	8,06 %	-2,79 %
Tichá Orlice	Černá nad Orlicí	1-02-02	2,995150	3,254861	-8,67 %	-9,38 %
Olše	Věřňovice	2-03-03	2,214723	2,016148	8,97 %	-3,40 %
Odra	Svinov	2-01-01	4,061118	4,490377	-10,57 %	-0,15 %
Ostravice	Ostrava	2-03-01	2,080213	2,303008	-10,71 %	-0,76 %
Labe	Děčín	1-01-01 až 1-14-03	5,146080	4,556079	11,47 %	0,00 %
Svitava	Bílovice nad Svitavou	4-15-02	8,328877	7,356751	11,67 %	-3,16 %
Labe	Jaroměř	1-01-01 a 1-01-02	2,256742	2,521097	-11,71 %	-0,03 %
Labe	Ústí nad Labem	1-01-01 až 1-13-05	5,202176	4,542868	12,67 %	0,00 %
Svratka	Židlochovice	4-15-01 až 4-15-03	8,269998	7,208014	12,84 %	-4,60 %
Odra	Bohumín	2-01-01 až 2-03-02	3,554957	4,017024	-13,00 %	-1,22 %
Opava	Opava	2-02-01	4,593418	5,353521	-16,55 %	-1,73 %
Berounka	Beroun	1-10-01 až 1-11-04	7,101476	5,924886	16,57 %	-0,13 %
Úhlava	Štěnovice	1-10-03	4,923786	4,101719	16,70 %	-2,53 %
Sázava	Kácov	1-09-01 a 1-09-02	6,284836	5,106066	18,76 %	4,16 %
Berounka	Bílá Hora	1-10-01 až 1-10-04	6,401649	5,092866	20,44 %	-0,43 %
Metuje	Jaroměř	1-01-03	2,746833	3,329925	-21,23 %	-0,04 %
Jihlava	Ivančice	4-16-01 až 4-16-04	8,171308	6,368676	22,06 %	-11,70 %
Oslava	Oslavany	4-16-02	7,875908	5,678529	27,90 %	-0,95 %
Rokytná	Moravský Krumlov	4-16-03	12,919672	8,784002	32,01 %	-3,86 %
Bílina	Trmice	1-14-01	4,044422	5,927193	-46,55 %	-17,27 %
Želivka	Nesměřice	1-09-02	12,340132	5,331740	56,79 %	-0,80 %

Pro vyhodnocení vodní stopy energetických provozů byly použity údaje o výrobě elektrické energie a tepla ve vybraných energetických provozech, pro které byly k dispozici údaje o spotřebě vody na výrobu elektrické energie a tepla za období 2004–2013 (viz *tabulku 3*). Podrobná informace o způsobu zpracování dat je obsažena v článku z roku 2016 [10].

VÝSLEDKY

V první části řešení byly porovnány hodnoty spočtených charakterizačních faktorů pro hydrologická povodí 3. řádu s hodnotami spočtenými přímo z dat pro konkrétní profily ČHMÚ. Jak vyplývá z *tabulky 4*, tak u 16 ze 35 profilů (46 %) byly rozdíly mezi stanovenými charakterizačními faktory do ± 10 %. U dalších osmi profilů (23 %) se rozdíl hodnot faktorů pohybuje mezi ± 10 % až ± 15 %. Bohužel, ve čtyřech případech (11 %) je rozdíl vyšší než 25 %.

Cílem tohoto článku však není testování výsledků hydrologického modelu, ale popis možností aplikace charakterizačního faktoru v rámci LCA studií. Nezbyvá proto než upozornit budoucí zpracovatele studií LCA, že použití modelových výstupů v rámci komplexních hodnocení typu LCA je v obecné rovině možné (a někdy dokonce nezbytné), ale vždy je třeba provádět verifikaci a validaci jak používaných dat, tak dosažených výsledků. Pravděpodobně vysvětlení vysokých rozdílů u některých povodí je v nejistotách s užíváním vod, neboť modelované hodnoty odpovídají „přirozenému“ stavu, zatímco hodnoty ČHMÚ vycházejí z měřených hodnot, a tudíž jsou ovlivněny současným užíváním vod.

Druhá část řešení se zabývala stanovením vodní stopy samotného procesu produkce energie ve vybraných energetických provozech (viz *tabulku 3*). Potvrdily se očekávané výsledky, že vodní stopa energetických provozů s průtočným chlazením je obecně nižší než vodní stopa provozů s recirkulačním chlazením. Situace u obou jaderných elektráren pak již naznačuje smysl LCA. Ačkoliv je specifická spotřeba obou jaderných elektráren podobná (1,979, resp. 2,079), tak dopad výroby elektrické energie v obou elektrárnách je již výrazně odlišný (7,48, resp. $11,74 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}_{\text{ekv.}}/\text{MWh}$). Zjednodušeně lze prohlásit, že na proces výroby 1 MWh energie v elektrárně Dukovany je potřeba $11,74 \text{ m}^3$ referenčního množství vody, které bylo stanoveno jako „průměrné celosvětové srážky“, zatímco v elektrárně Temelín pouze $7,48 \text{ m}^3$.

Je to dáno tím, že jaderná elektrárna Dukovany leží na méně vodném toku s menším povodím a nižší odtokovou výškou. Proto, ačkoliv její specifická spotřeba vody na výrobu 1 MWh energie činí jen 105 % specifické potřeby jaderné elektrárny Temelín, tak vodní stopa procesu produkce 1 MWh elektrické a tepelné energie je o 57,0 % vyšší než vodní stopa procesu produkce elektrické a tepelné energie v jaderné elektrárně Temelín. Je třeba si ale uvědomit, že tyto poměrové ukazatele platí pouze pro samotný dílčí proces výroby elektrické a tepelné energie v energetickém provozu. Vzhledem k tomu, že v rámci testování metody nebyla stanovena vodní stopa ostatních procesů v rámci životního cyklu (těžba primárních surovin, jejich úprava, doprava, nakládání s vyhořelým palivem, distribuce vyrobené energie atd.), nelze tyto stanovené poměry vztahovat k celému životnímu cyklu obou elektráren.

Vodní stopa testovaných provozů se pak odvíjí od množství produkované energie a je vyjádřena v $\text{m}^3 \text{ H}_2\text{O}_{\text{ekv.}}/\text{rok}$. Takto získaná hodnota pak laicky řečeno představuje množství „průměrných celosvětových srážek“, které jsou „spotřebovány“ v energetickém provozu za rok. Je třeba upozornit, že se jedná pouze o jednu dílčí část vodní stopy, která je vztažena pouze k samotnému procesu výroby energie v elektrárně/teplárně, tj. není to hodnota vodní stopy celého životního cyklu produkce elektrické a tepelné energie v těchto provozech.

To evaluate the water footprint of power plants, the data on electricity and heat production in selected power plants were used, for which data were available on water consumption for electricity and heat production between 2004 and 2013 (see *Table 3*). Detailed information on the method of data processing can be found in a 2016 article [10].

RESULTS

In the first part of our analysis, the values of calculated characterisation factors for third-order catchments were compared with the values calculated directly from the data for specific profiles of CHMI. As indicated in *Table 4*, in 16 out of 35 profiles (46%) the differences between determined characterisation factors were up to ± 10 %. In other 8 profiles (23%), the difference of factor values ranges between ± 10 % and ± 15 %. Unfortunately, in four cases (11%) the difference is bigger than 25%.

However, the aim of this article is not testing the results of the hydrological model, but the description of possible applications of characterisation factor for assessment in the context of LCA studies. It can only be pointed out to future processors of LCA studies that using model outputs within the comprehensive evaluation of the LCA type is generally possible (and sometimes even necessary), but it is always vital to both verify and validate the data used and the results achieved. A probable explanation for high differences in some catchments lies in uncertainties with water use, because the modelled values correspond to the “natural” state, while the CHMI values are based on measured values and are therefore influenced by current water use.

The second part of our analysis dealt with the determination of the water footprint of selected power plants (see *Table 3*). The expected results were confirmed: the water footprint of power plants with once-through cooling is generally lower than the water footprint of operations with recirculation cooling. The situation in both nuclear power plants suggests the importance of LCA evaluation. Although the specific consumption of both nuclear power plants is similar (1.979 or 2.079), the impact of electricity production in both plants is significantly different (7.48 or $11.74 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{MWh}$). Simply put, we can say that in the process of 1 MWh of power production in the Dukovany power plant, 11.74 m^3 of reference quantity of water is needed, which was determined as “global average precipitation”, while at the Temelín power plant it is only 7.48 m^3 .

This is due to the fact that the Dukovany nuclear power plant lies on less water flow with a smaller catchment and lower runoff level. Therefore, although its specific water consumption for production of 1 MWh of power is only 105% of Temelín’s specific consumption, the water footprint of the process of 1 MWh of electricity and heat production is about 57.0% higher than the water footprint of the process of electricity and heat production in the Temelín nuclear power plant. It is important to realize, however, that these ratios apply only to the electricity and heat production sub-process itself in a power plant. In regard to the fact that when testing the method, the water footprint of other processes within the life cycle was not determined (extraction of primary raw materials, their processing, transport, spent fuel management, distribution of produced power, etc.), these ratios cannot be related to the whole life cycle of both power plants.

The water footprint of the tested plants is then based on the amount of power produced and is expressed in $\text{m}^3 \text{ H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{year}$. The value thus obtained is, in layman’s terms, the amount of “global average precipitation” which are “consumed” in power plants per year. Again, it should be noted that this is only a one sub-part of water footprint, which is related only to the process of energy production itself in a power / heat plant, i.e. it is not the value of the water footprint of the entire life cycle of electricity and heat production in these power plants.

DISKUSE

Testovaná metoda se ukázala jako snadno použitelná. Pro lokální studie LCA je možné jako referenční množství použít průměrné srážky v České republice namísto „globálních“ srážek. Použití průměrných srážek v České republice lze doporučit zejména pro aplikace s kratším časovým krokem, tj. např. pro řešení po měsících, kdy je možno jako referenční uvažovat reálné měsíční srážky, zatímco v případě „globálních“ srážek lze použít 1/12 z ročních globálních srážek.

Autoři metody také předpokládají, že veškerá voda je dostupná pro užití, což samozřejmě je pouze teoretický předpoklad. V reálných podmínkách není možno využít ani veškeré srážky, ani veškerý odtok z povodí. Z pohledu aplikačního využití není zásadní problém např. u povrchového odtoku odečíst „minimální zůstatkový průtok“ či jinak definovaný „ekologický průtok“. V případě podzemních vod a srážek však tato konstrukce již není tak jednoznačná. Navíc se tímto rozšířením ztrácí určitá elegance navrženého konceptu a nezávislost konceptu na subjektivním rozhodování, neboť rozhodnutí o tom, co „se bude odečítat“, je subjektivní rozhodnutí řešitele studie.

Z principu metody vyplývá, že metoda není úplně vhodná pro některé aplikace například typu rozhodování o dopadech na dostupnost lokálních vodních zdrojů v různých lokalitách. Neboť výsledky charakterizačního modelu mají jen nepřímou vazbu na skutečnou dostupnost vody v místě posuzování.

V prezentovaných údajích nejsou také zahrnuty ztráty vody výparem z nádrží, které jsou součástí vodního hospodářství jednotlivých elektráren. V případě jaderné elektrárny Temelín představuje ztráta výparem z nádrže Hněvkovice přibližně 7 % rozdílu mezi odběrem a vypouštěním pro jadernou elektrárnu Temelín. V případě jaderné elektrárny Dukovany tvoří výpar z VD Dalešice-Mohelno dokonce okolo 14 %. Dále nejsou v této testovací aplikaci uvažována rozdílná místa odběrů a vypouštění, které mohou hrát při aplikaci metody značnou roli, např. elektrárna Temelín odebírá vodu z povodí 1-06-03, ale vypouští odpadní vody do povodí 1-07-05, korektní výpočet vodní stopy by měl veškeré odběry pro elektrárnu Temelín v povodí 1-06-03 uvažovat jako ztráty a naopak vypouštění v povodí 1-07-05 jako zisk vody s rozdílnými hodnotami charakterizačního faktoru.

ZÁVĚR

Charakterizační model postavený na obnovitelnosti vodních zdrojů se ukázal jako snadno použitelný nástroj umožňující použít jak data získaná měřeními (či z nich odvozená), tak výsledky matematických modelů. Pro usnadnění aplikace metody v praxi byla připravena tabulka charakterizačních faktorů srážek a celkového odtoku pro jednotlivá povodí III. řádu. Testování ukázalo, že v případě vstupních dat z matematických modelů je důležitá validace a verifikace použitých dat, protože pro některá povodí jsou výsledky zatíženy chybou přesahující ±10–15 %. Konkrétní aplikace na 32 vybraných elektrárnách a teplárnách ukázala, že vodní stopa ve smyslu posuzování životního cyklu je nižší v provezech s průtočným chlazením oproti provozům s cirkulačním chlazením.

Testovaná metoda neřeší míru současného užívání vodních zdrojů a předpokládá, že veškerý odtok je dostupný uživatelům. Testovaná metoda také nijak neřeší problematiku degradace vod, vliv na ekosystémy a člověka. Pro tato posuzování životního cyklu je třeba použít jiné charakterizační metody. Výsledky zjištěné pomocí testované metody je možno označit pouze za vodní stopu nedostatku vody (Water scarcity footprint).

DISCUSSION

The tested method proved easy to use. For local LCA studies, it is possible to use average precipitation in the Czech Republic as a reference quantity instead of “global” precipitation. Using the average precipitation in the Czech Republic is recommended, especially for applications with a shorter time step, in monthly steps for example, when it is possible to consider real monthly precipitation as a reference, while in the case of “global” precipitation, 1/12 of the annual global precipitation can be used.

The authors of the method also assume that all water is available for use, which of course is only a theoretical assumption. In real conditions, it is not possible to use either all precipitation or the entire runoff from a catchment. From the perspective of application use, it is not a major problem, for example for surface runoff to subtract “minimal residual flow” or otherwise defined “ecological flow”. In the case of groundwater and precipitation, however, this construction is not so clear. Moreover, by such extension a certain elegance of the proposed concept and the independence of the concept on subjective decision-making is lost, since the decision about “what will be subtracted” is a subjective decision by the study investigator.

The principle of the method shows that the method is not entirely suitable for some applications, for example deciding on the impact on the availability of local water sources in different locations, since the results of the characterisation model are only linked indirectly to the actual water availability at the assessed location.

The data presented also do not include water loss by evaporation from reservoirs which are a part of water management of the individual power plants. In the case of Temelín nuclear power plant, the loss by evaporation from Hněvkovice reservoir is approximately 7% of the difference between withdrawal and discharge for the power plant. In the case of Dukovany nuclear power plant, evaporation from Dalešice - Mohelno reservoir is even around 14%. The different localisation of withdrawals and discharges was neglected for this testing purpose. It can play important role in real application of tested method. For example, nuclear power plant Temelín draws water from catchment 1-06-03 but discharges waste water to the catchment 1-07-05. These two catchments have the different hydrological condition and (of course) different value of characterization factor. In real study have to be withdrawals from catchment 1-06-03 calculated as losses and discharges to catchment 1-07-05 as gains with different values of characterization factor.

CONCLUSION

A characterization model based on the renewability of water sources has proved to be a readily usable tool, enabling the use both of data obtained by measuring (or derived from it) and the results of mathematical models. To facilitate the application of the method in practice, a table of characterisation factors of precipitation and total runoff for individual third-order catchments was prepared. The testing showed that in the case of the input data from mathematical models, validation and verification of this data is important since for some catchments the results have an error exceeding ±10–15 %. Specific applications in selected 32 power and heat plants showed that the water footprint in terms of life cycle assessment is lower in plants with once-through cooling as compared to plants with recirculation cooling.

The tested method does not address current use of water sources and assumes that the entire runoff is available to users. The tested method also does not address the issue of water degradation, the effect on ecosystems and on humans. For such life cycle impact assessment, it is necessary to use other characterisation methods. The results obtained using the tested method can be described only as water scarcity footprint.

Poděkování

Článek vznikl v rámci projektu QJ1520322 *Postupy sestavení a ověření vodní stopy v souladu s mezinárodními standardy řešeného s finanční podporou Ministerstva zemědělství v rámci Programu zemědělského aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje Komplexní udržitelné systémy v zemědělství 2012–2018 „KUS“*. Charakteristiky povodí III. řádu spočítané modelem BILAN vznikly v rámci projektu *Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozními jevy přírodě blízkými opatřeními v České republice, který je spolufinancován Evropskou unií – Evropským fondem pro regionální rozvoj, Státním fondem životního prostředí ČR a Ministerstvem životního prostředí ČR v rámci Operačního programu Životní prostředí*. Údaje o operativní spotřebě vody v tepelných elektrárnách a teplárnách byla připravena v rámci projektu TD020113 *Dopady socio-ekonomických změn ve společnosti na spotřebu vody řešeného s finanční podporou Technologické agentury České republiky*.

Autor

Ing. Libor Ansoerge

✉ libor_ansorge@vuv.cz

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

Příspěvek prošel lektorským řízením.

Literatura

[1] HOEKSTRA, A.Y., CHAPAGAIN, A.K., ALDAYA, M.M., et. al. *The water footprint assessment manual: setting the global standard*. London; Washington, DC: Earthscan, 2011. ISBN 978-1-84971-279-8.

[2] ISO. *ISO 14046:2014 Water Footprint*. ICS:13.020.60;13.020. 10. Geneva: International Organization for Standardization. 2014.

[3] ISO. *ČSN EN ISO 14044:2006 Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Požadavky a směrnice*. ICS:13.020.10;13.020. 60. Praha: Český normalizační institut. 2006.

[4] PFISTER, S., KOEHLER, A., and HELLWEG, S. Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA. *Environmental Science & Technology* [online]. 2009, vol. 43, no. 11, p. 4098–4104 [vid. 6. květen 2015]. ISSN 0013-936X, 1520-5851. Dostupné z: [doi:10.1021/es802423e](https://doi.org/10.1021/es802423e)

[5] KOUNINA, A., MARGNI, M., BAYART, J.B., et. al. Review of methods addressing freshwater use in life cycle inventory and impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment* [online]. 2012, vol. 18, no. 3, p. 707–721 [vid. 6. květen 2015]. ISSN 0948-3349, 1614-7502. [doi:10.1007/s11367-012-0519-3](https://doi.org/10.1007/s11367-012-0519-3)

[6] HOEKSTRA, A.Y. A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA. *Ecological Indicators* [online]. 2016, vol. 66, p. 564–573 [vid. 24. červenec 2016]. ISSN 1470-160X. Dostupné z: [doi:10.1016/j.ecolind.2016.02.026](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.026)

[7] YANO, S., HANASAKI, N., ITSUBO, N., et. al. Water Scarcity Footprints by Considering the Differences in Water Sources. *Sustainability* [online]. 2015, vol. 7, no. 8, p. 9753–9772 [vid. 28. červenec 2016]. Dostupné z: [doi:10.3390/su7089753](https://doi.org/10.3390/su7089753)

[8] BERAN, A. a HANEL, M. Definování zranitelných oblastí z hlediska nedostatku vody na území České republiky. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* [online]. 2015, roč. 57, č. 4–5, s. 23–26. ISSN 0322-8916. Dostupné z: <http://www.vtei.cz/2015/08/definovani-zranitelnych-oblasti-z-hlediska-nedostatku-vody-na-uzemi-ceske-republiky/>

[9] ČHMÚ. *M-denní průtoky za období 1981-2010* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav. 2016. Dostupné z: <http://voda.chmi.cz/opv/doc/qm.pdf>

[10] ANSORGE, L. a ZEMAN, M. Model of Water Needs for Energy Production. *Statistika*. 2016, vol. 96, no. 3, p. 5–16. ISSN 1804-8765 (Online) 0322-788x (Print).

Acknowledgements

The article was written within the project QJ1520322 *“Procedures for compilation and verification of a water footprint in accordance with international standards”* addressed with financial support from the Ministry of Agriculture (Program zemědělského aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje Komplexní udržitelné systémy v zemědělství 2012–2018 “KUS” / Programme of agricultural applied research and experimental development Complex sustainable systems in agriculture 2012–2018). Characteristics of the third-order catchments calculated by the BILAN model generated under the project *Strategy for protection against negative impacts of floods and erosion phenomena of nature-friendly measures in the Czech Republic, which is co-financed by the European Union – the European Regional Development Fund, the State Environmental Fund and the Czech Ministry of Environment under the Operational Programme Environment*. The data on the operational water consumption in thermal power plants and heat plants were prepared within the project TD020113 *“Impacts of socio-economic changes in society on water consumption”* addressed with financial support from the Technology Agency of the Czech Republic within the programme.



Využití geomorfologických charakteristik pro odhad celkové retence povodí

PETR MÁČA, PETR BAŠTA, ROMAN KOŽÍN, MARTIN HANEL

Klíčová slova: BILAN – regionalizace – Gaussův proces – lineární model – regrese – geomorfologické charakteristiky

SOUHRN

V předložené studii byly testovány vybrané lineární a nelineární regresní modely, které popisují vzájemný vztah mezi parametry modelu Bilan, které jsou stanoveny na základě meteorologických a hydrologických řad a mezi retenčními charakteristikami stanovenými na základě vybraných geomorfologických charakteristik povodí.

Odvozené lineární regresní modely umožňují odhad parametrů modelu Bilan na základě retenčních charakteristik, které odhadují retenci v ploše povodí S_3 , a charakteristik, které odhadují retenci v nivě povodí S_{max} , S_t a D_d . Uvedený příspěvek prezentuje první výsledky regionální analýzy zaměřené na kvantifikaci retenčních charakteristik analýzou geomorfologických charakteristik povodí.

ÚVOD

Retence vody v povodí je jedním z klíčových faktorů, které utvářejí výslednou hydrologickou bilanci povodí. Celkovou retenci vody pro dané povodí tvoří časově a prostorově proměnlivé zásoby vody zadržené ve sněhové pokrývce, na povrchu vegetačního pokryvu, na povrchu povodí, v nenasycené a nasycené zóně.

Jeden ze základních přístupů kvantifikace dynamiky celkové retence vody v povodí je založen na aplikaci matematického modelu hydrologické bilance, který umožňuje kontinuální simulaci hydrologické bilance pro vybraný řešený časový úsek. Celková retence je následně stanovena na základě podrobné analýzy simulovaných toků a zásob výsledné hydrologické bilance povodí. V podmínkách České republiky je pro potřeby řešení celé řady souvisejících inženýrských úloh využíván celistvý model hydrologické bilance Bilan [1, 2]. Model Bilan umožňuje popsat dynamiku jednotlivých zásob vody v povodí, která je vyjádřena jejich časovými řadami. K tomu účelu jsou používány vybrané časové řady meteorologických a hydrologických veličin.

Vedle simulací celkové retence kontinuálním modelem hydrologické bilance existuje celá řada empirických přístupů, které poskytují odhad retence vody v povodí. Jedním z nejrozšířenějších je empirický postup, který využívá čísla odtokových křivek (CN křivky) pro stanovení odhadu maximální retence povodí [3].

Dále celá řada studií poukazuje na vzájemný vztah mezi hydrologickým systémem povodí a geomorfologickými charakteristikami povodí [4–6]. Tyto vztahy je možné použít pro regionalizaci hodnot vybraných parametrů hydrologického modelu, která je založena na využití fyzikálních geomorfologických charakteristik povodí [4, 5]. V případě existence vzájemného vztahu mezi geomorfologickými charakteristikami povodí a parametry hydrologického modelu je možné kvantifikovat vliv nově navrhovaných retenčních opatření [7].

Podmínkou kvantifikace je existence vztahu mezi retenčními opatřeními a geomorfologickými charakteristikami [4].

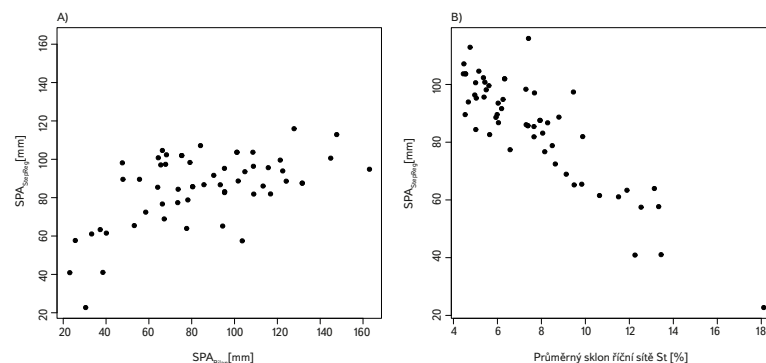
Cílem předloženého příspěvku je popis vzájemného vztahu vybraných geomorfologických charakteristik povodí a vybraných parametrů hydrologického modelu Bilan, které nejvíce ovlivňují celkovou retenci vody v povodí. Na základě odvozených vztahů bude následně možné kvantifikovat vliv vybraných retenčních opatření v povodí na celkovou retenci vody v povodí.

MATERIÁL A METODY

Data povodí LAPV

V předložené studii byly použity dva druhy dat. První byl tvořen měsíčními meteorologickými a hydrologickými řadami pro povodí řešených v rámci Generelu lokalit pro akumulaci povrchových vod (LAPV). Druhý soubor dat je tvořen prostorovými daty, která umožňují stanovit vybrané charakteristiky povodí.

Pro každé povodí byla provedena kalibrace hydrologického modelu Bilan, jejímž výsledkem bylo stanovení hodnot parametrů modelu Bilan pro dané povodí LAPV. V předložené studii byly testovány parametry S_{pa} a Gr_d .



Obr. 1. Výsledky lineárního modelu krokové regrese pro parametr S_{pa} ; A) shoda mezi S_{pa} stanoveným na základě kalibrace modelu Bilan a S_{pa} stanoveným geomorfologickou analýzou; B) závislost S_{pa} stanoveným geomorfologickou analýzou na průměrném sklonu říční sítě St

Fig. 1. Results of stepwise linear regression model for S_{pa} parameter; A) scatter plot of S_{pa} estimated using the Bilan model and S_{pa} estimated using geomorphological analysis; B) relationship between S_{pa} estimated using geomorphological analysis and average slope of river network

Parametr Spa vyjadřuje velikost nelineárního zásobníku zásoby půdní vody a intercepce v povodí v mm, který určuje část retence vody v povodí. Zvýšením hodnot Spa je zvýšena uvedená část celkové retence vody v povodí. Parametr Grd je součinitel zásobnosti akumulčních prostorů, které kontrolují základní odtok. Snížením hodnot Grd dochází ke zpomalení základního odtoku v povodí.

Analýza vzájemného vztahu geomorfologických charakteristik a parametrů modelu Bilan byla provedena na souboru vybraných 53 povodí LAPV. Na základě GIS analýz byly stanoveny pro každé povodí následující geomorfologické charakteristiky povodí: A – plocha povodí [km²]; CN1, CN2, CN3 – čísla odtokových křivek pro tři předchozí vláhové poměry; S1, S2, S3 – maximální retence povodí stanovená metodou CN pro tři typy předchozích vláhových poměrů [mm]; Dd – hustota říční sítě [km/km²]; L – celková délka říční sítě [km]; S – průměrný sklon říční sítě [%]; Sp – sklon povodí [%], Smax – maximální lokální sklon povodí [%].

Regresní modely

Pro stanovení vzájemného vztahu mezi vybranými parametry modelu Bilan (Spa a Grd) a geomorfologickými charakteristikami povodí (deskriptory) byly použity následující regresní modely: model vícerozměrné lineární regrese, model krokové regrese a nelineární regresní model založený na Gaussově procesu [8].

Vícerozměrný model lineární regrese určuje každý parametr modelu Bilan pomocí lineární kombinace hodnot vybraných geomorfologických charakteristik a neznámých parametrů, které byly stanoveny standardní metodou nejmenších čtverců [9].

Model krokové regrese pomocí iteračního výpočtu identifikuje vhodný soubor geomorfologických charakteristik, které vysvětlují testované parametry modelu Bilan. Pro potřeby řešení byl použit jednoduchý pruning algoritmus [10], který iterační výpočet začíná s modelem s největším počtem deskriptorů. V každé iteraci je následně postupně odebrán/přidáván deskriptor s nejmenším podílem na vysvětlení celkového rozptylu na základě výsledků F-testu [9]. Iterační výpočet končí nalezením vhodného souboru statisticky významných deskriptorů. Pro výpočet modelem krokové regrese byly použity, v rámci každé iterace, modely vícerozměrné lineární regrese. Výsledný model krokové regrese je tedy vícerozměrný model lineární regrese, který předpovídá parametry modelu Bilan souborem statisticky významných deskriptorů geomorfologických charakteristik povodí.

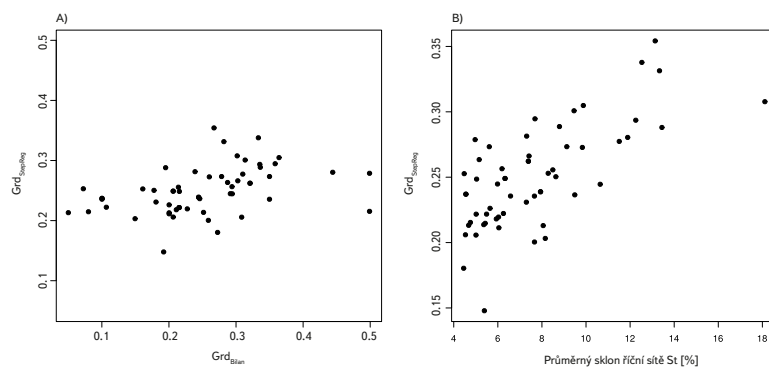
Model nelineární regrese založený na Gaussově procesu je popsán funkcí střední hodnoty a kovarianční funkcí analyzovaného souboru dat. Pro vyjádření kovarianční funkce byly použity RBF funkce. Identifikace parametrů byla provedena metodou viz [11]. Pro stanovení hodnot parametrů Spa a Grd byly testovány soubory různých kombinací dvou a tří geomorfologických deskriptorů.

Celý výpočet byl proveden ve statistickém prostředí R, regresní modely Gaussova procesu byly počítány pomocí balíku kernlab [12].

VÝSLEDKY

Kalibrace modelu Bilan pro povodí LAPV

Pro kalibraci modelu Bilan byla využita data 53 povodí zpracovaných v rámci Generelu lokalit pro akumulaci povrchových vod (Generel LAPV). Pro stanovení hodnot parametrů Spa a Grd byl použit manuální a automatický kalibrační postup. Kvalita kalibrace byla ohodnocena na základě porovnání pozorovaných a vypočtených hodnot měsíčních výšek odtoku koeficientem determinace (NS) a hodnotami průměrné absolutní odchylky (MAE).



Obr. 2. Výsledky lineárního modelu krokové regrese pro parametr Grd; A) shoda mezi Grd stanoveným na základě kalibrace modelu Bilan a Grd stanoveným geomorfologickou analýzou; B) závislost Grd stanoveným geomorfologickou analýzou na průměrném sklonu říční sítě St

Fig. 2. Results of stepwise linear regression model for Grd parameter; A) scatter plot of Grd estimated using the Bilan model and Grd estimated using geomorphological analysis; B) relationship between Grd estimated using geomorphological analysis and average slope of river network

Hodnoty koeficientu determinace se nacházely v intervalu (0,03; 0,75). Průměrná hodnota NS byla rovna 0,48, medián 0,51, 50 % povodí bylo nakalibrováno s hodnotami NS mezi 0,38 a 0,59, u 25 % povodí byly výsledky kalibrace ohodnoceny hodnotou NS mezi 0,59 a 0,75.

Hodnoty průměrné absolutní odchylky se nacházely v intervalu (1,91; 13,68). Průměrná hodnota MAE byla rovna 7,64 mm, medián 6,73 mm, 50 % povodí bylo nakalibrováno s hodnotami MAE mezi 5,50 mm a 9,83 mm, u 25 % povodí byly výsledky kalibrace ohodnoceny hodnotou MAE mezi 1,91 mm a 5,50 mm.

Identifikované hodnoty parametru Spa se pohybovaly v rozpětí 23 mm a 163 mm, průměrná hodnota Spa byla rovna 84,13 mm, medián 80,43 mm, 50 % povodí mělo hodnotu Spa mezi 64,39 mm a 108,60 mm, u 25 % povodí byla celková retence půdního a intercepčního zásobníku mezi 108,60 mm a 163 mm, pro 25 % povodí s nejnižší hodnotou Spa byla hodnota parametru nalezena mezi 23 mm až 64 mm.

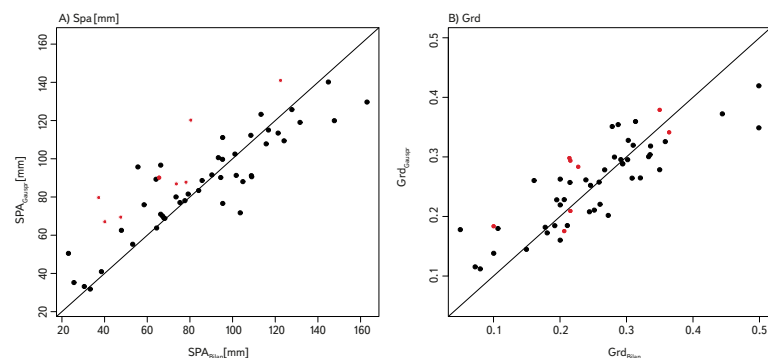
Identifikované hodnoty parametru Grd se nacházely v rozpětí 0,05 a 0,50 mm, průměrná hodnota Grd byla rovna 0,52, medián 0,25, 50 % povodí mělo hodnotu Grd mezi 0,20 a 0,31, u 25 % povodí byla hodnota součinitele zásobnosti pro zásobník podzemní vody mezi 0,31 a 0,50, pro 25 % povodí s nejnižší hodnotou Grd byla hodnota parametru nalezena mezi 0,05 až 0,20.

Kroková regrese

Pro stanovení parametru Spa byl identifikován následující lineární model na základě krokové regrese:

$$\text{Spa} = 0,71 \text{ S3} + 88,91 \text{ Dd} - 8,89 \text{ St} + 65,76 \quad (1)$$

kde hlavní soubor deskriptorů je tvořen S3 maximální retencí pro II. typ předchozích vláhových podmínek [mm]; Dd je hustota říční sítě povodí [km/km²] a St průměrný sklon říční sítě v [%]. Celý soubor představuje statisticky významné vstupní veličiny, což bylo potvrzeno výsledky F testu a t-testů, koeficient determinace lineárního modelu je roven 0,33. Výslednou závislost ukazuje obr. 1a. Nejtěsnější lineární shodu mezi hodnotami Spa a použitými deskriptory vykazují vztah mezi sklonem toku a Spa (viz obr. 1b).



Obr. 3. Kalibrace a validace nelineárního regresního modelu, černě jsou znázorněny výsledky kalibrace, červeně jsou zobrazeny výsledky validace
Fig. 3. Calibration and validation results of nonlinear regression model, black dots show the calibration dataset and the red dots show the validation dataset

Pro parametr Grd byl krokovou regresí stanoven následující lineární model:

$$\text{Grd} = 0,02 \text{ St} - 0,003 \text{ Smax} + 0,23 \quad (2)$$

kde soubor deskriptorů je tvořen St průměrným sklonem říční sítě v [%], Smax maximálním lokálním sklonem v povodí v [%]. Opět výsledný model obsahuje statisticky významné vysvětlující geomorfologické veličiny podle F testu a t-testů, koeficient determinace je roven 0,17 (viz obr. 2 a). Nejtěsnější shodu deskriptorů a hodnot Grd opět vykazoval vztah mezi Grd a sklonem říčního systému St (viz obr. 2 b).

Jak je patrné ze závislosti na obr. 1 b a 2 b při implementaci revitalizačních opatření, které vedou ke snížení podélného sklonu toků v povodí, bude zvýšena celková retenční kapacita v povodí. Rovnice 1 a 2 umožňují kvantifikovat retenci pomocí odhadu hodnot parametrů Spa a Grd a následném využití při simulaci hydrologické bilance modelem Bilan.

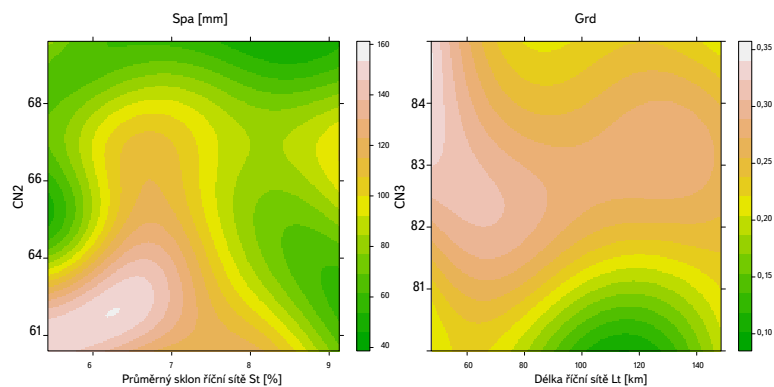
Nelineární regrese – Gaussovský proces

Na základě testování různých nelineárních regresních modelů byly pro oba parametry vybrány následující modely. Parametr Spa byl odhadován pomocí St průměrného sklonu říční sítě v [%] a hodnot odtokových křivek CN2 pro druhý typ předchozích vláhových poměrů. Parametr Grd byl odhadován na základě celkové délky říční sítě v povodí Lt [km] a hodnot odtokových křivek CN3 pro třetí typ předchozích vláhových poměrů.

Validační postup nelineárních regresních modelů, založených na Gaussovském procesu, se skládal z kalibrace regresních modelů na kalibračních souborech dat, validace byla provedena pro osm náhodně vybraných povodí, která nebyla zahrnuta do kalibračního souboru. Validační výsledky modelů obou parametrů ukazují grafy na obr. 3.

Kvalita kalibrace regresního modelu pro Spa byla kvantifikována lineárním modelem mezi hodnotami parametru Spa_{BILAN} stanovenými na základě meteorologických a hydrologických časových řad a hodnotami Spa_{GAUSSPR} stanovenými na základě geomorfologických charakteristik. Koeficient determinace pro kalibrační soubor byl roven 0,81, pro validační soubor 0,82. MAE byla rovna 11 mm pro kalibrační soubor a 25 mm pro validační soubor.

Kvalita regresního modelu pro parametr Grd byla opět ohodnocena lineárním regresním modelem mezi Grd_{BILAN} stanoveným na základě meteorologických a hydrologických časových řad a hodnotami Grd_{GAUSSPR} stanovenými na základě geomorfologických charakteristik. Koeficient determinace pro kalibrační soubor byl roven 0,74, pro validační soubor 0,72. MAE byla rovna 0,04 pro kalibrační soubor a 0,05 pro validační soubor.



Obr. 4. Vztah mezi Spa, průměrným sklonem říční sítě a CN2 číslem odtokových křivek (levá část obrázku); vztah mezi Grd délkou říční sítě a číslem odtokových křivek CN3 (pravá část obrázku)

Fig. 4. The relationship between Spa and average slope of river network St and curve number CN2 (left part of the figure); the relationship between Grd and length of river network and curve number CN3 (right part of the figure)

Výsledný vztah mezi parametry odvozenými na základě použitých geomorfologických charakteristik ukazuje obr. 4.

DISKUSE

Podle výsledků kalibrace byl úspěšnější nelineární regresní model než lineární regresní model. Při hledání vhodného nelineárního regresního modelu byly zkoušeny různé soubory deskriptorů. Uvedené modely byly úspěšnější než zmíněné lineární modely. Podobné výsledky byly dosaženy v práci [5].

Skladba deskriptorů a odvozené vztahy jsou logické, např. zvýšení zásob podzemní vody může být dosaženo revitalizačním opatřením, jehož záměrem je zvětšení celkové délky toků, v rámci nichž je předpokládáno zvýšení infiltrace v nivním systému. Odvozený regresní model pro parametr Grd umožňuje rámcově kvantifikovat vliv tohoto opatření na hydrologický systém povodí. Podobně při snížení hodnoty CN změnou land use a zpomalením odtoku souborem revitalizačních opatření, které snižují průměrný sklon říční sítě, dojde ke zvýšení retenční kapacity v povodí, která je charakterizována hodnotou parametru Spa. Odvozené regresní vztahy je možné alternativně stanovit souhrnnou regionální kalibrací modelu Bilan podle postupu [7].

ZÁVĚR

V předložené studii je navržen metodický postup, který dále umožňuje rámcově kvantifikovat vliv přírodních retenčních opatření na hydrologický systém povodí. Navržený postup umožňuje stanovit hodnoty parametrů modelu Bilan pro povodí, jehož hydrologický systém je ovlivněn plošnými a liniovými přírodními retenčními opatřeními. Na výsledky studie bude navazovat posouzení vlivu souboru retenčních opatření kontinuální simulací hydrologické bilance modelem Bilan v povodích LAPV.

Literatura

- [1] KAŠPÁREK, L., HANEL, L., HORÁČEK, S., MÁČA, P., and VIZINA, A. *Bilan: Bilan water balance model*. R package version 2013.12, Praha: VÚV TGM., v. v. i., 2014. Dostupné z: <http://CRAN.R-project.org/package=bilan>
- [2] VIZINA, A., HORÁČEK, S. a HANEL, M. Nové možnosti modelu BILAN. *VTEI*, 2015, č. 4–5, s. 7–11.
- [3] U.S. Soil Conservation Service (Natural Resources Conservation Service). Department of Agriculture. Technical Release 55: Urban Hydrology for Small Watersheds. June 1986.
- [4] FERNANDEZ, W., VOGEL, R.M., and SANKARASUBRAMANIAN, A. Regionalization of watershed model. *Hydrological Sciences Journal*, 2000, 45(5), p. 689–707.
- [5] WAGENER, T. and WHEATHER, H.S. Parameter estimation and regionalization for continuous rainfa – runoff models including uncertainty. *Journal of Hydrology*, 2006, 320, p. 132–154.
- [6] KIM, U. and KALUARACHI, J.J. Application of parameter estimation and regionalization methodologies to ungauged basins of the Upper Blue Nile River Basin, Ethiopia. *Journal of Hydrology*, 2008, 362, p. 39–56.
- [7] HUNDECHA, Y. and BARDOSSY, A. Modeling of the effect of land use changes in the runoff generation of river basin through parameter regionalization of a watershed model. *Journal of Hydrology*, 2004, 292, p. 281–295.
- [8] RASMUSSEN, C.E. and WILLIAMS, CH.K.I. Gaussian Processes for Machine Learning (Adaptive Computation and Machine Learning). *The MIT Press*, 2005.
- [9] ANDĚL, J. *Základy matematické statistiky*. Vyd. 3. Praha: Matfyzpress, 2011, 358 s.
- [10] BISHOP, CH.M. *Neural Networks for Pattern Recognition*. New York: Oxford University Press, 1995.
- [11] WILLIAMS, CH.K.I. and BARBER, D. Bayesian classification with Gaussian processes. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998, 20(12), p. 1342–1351.
- [12] KARATZOGLU, A., SMOLA, A., HORNIK, K., and ZEILEIS, A. Kernlab – An S4 Package for kernel methods in R. *Journal of Statistical Software*, 2004, 11 (9), p. 1–20.

Poděkování

Tento článek vznikl v rámci řešení projektu Možnosti kompenzace negativních dopadů klimatické změny na zásobování vodou a ekosystémy využitím lokalit vhodných pro akumulaci povrchových vod (TA04020501), který je spolufinancován Technologickou agenturou České republiky.

Autoři

doc. Ing. Petr Máča, Ph.D.¹

✉ maca@fzp.czu.cz

Ing. Petr Bašta¹

✉ bastap@fzp.czu.cz

Ing. Roman Kožín^{1,2}

✉ roman_kozin@vuv.cz

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.^{1,2}

✉ martin_hanel@vuv.cz

¹Česká zemědělská univerzita v Praze

²Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.

Příspěvek prošel lektorským řízením.

QUANTIFYING THE RETENTION CHARACTERISTICS BY THE MEANS OF GEOMORPHOLOGICAL PATTERNS OF THE BASIN

MACA, P.¹; BASTA, P.¹; KOZIN, R.^{1,2}; HANEL, M.^{1,2}

¹Czech University of Life Sciences Prague

²TGM Water Research Institute, p. r. i.

Keywords: BILAN – regionalization – Gaussian process – linear model – regression – geomorphological characteristics

In the presented study we tested the selected sets of linear and nonlinear regression models, that describe the relationships between the selected parameters of hydrological model Bilan, which were estimated using the meteorological, hydrological series, and between the retention characteristics estimated using the selected geomorphological patterns of the river basin.

Derived regression models allow the estimation of the model parameters Bilan using retention characteristics that describe the maximum retention of basin S3, and characteristics that estimated retention in the floodplains like maximum local slope of river network Smax, average slope of river network St, and drainage density Dd. This contribution presents the first results of the regional analysis focused on quantifying the retention characteristics by the means of geomorphological patterns of the basin.



Autoři VTEI

Ing. Libor Ansorge

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ libor_ansorge@vuv.cz
www.vuv.cz



Ing. Libor Ansorge je zaměstnancem VÚV TGM od roku 2011. V roce 1997 ukončil inženýrské studium na Fakultě stavební Českého vysokého učení technického v Praze, obor Vodní hospodářství a vodní stavby. V současné době je na stejné fakultě studentem doktorského studijního programu obor Životní prostředí se zaměřením na budoucí potřeby vody. Jako hlavní řešitel nebo člen řešitelského týmu se podílí či podílel na řešení několika výzkumných projektů.

Ing. Robert Kořínek, Ph.D.

VÚV TGM, v. v. i., pobočka Ostrava

✉ robert_korinek@vuv.cz
www.vuv.cz



Ing. Robert Kořínek, Ph.D., je od roku 2002 zaměstnancem ostravské pobočky VÚV TGM, oddělení hospodaření s vodou a odpady. V rámci svých vědeckých aktivit založil v roce 2006 Společnost vodárenských věží a od té doby provozuje veřejně přístupnou databázi věžových vodojemů na území České republiky (www.vodarenskeveze.cz). Zabývá se historickým, stavebním a architektonickým vývojem těchto objektů a je spoluautorem knižních publikací *Komínové vodojemy, Funkce, konstrukce, architektura a Komínové vodojemy, Situace, hodnoty, možnosti*.

Mgr. Pavel Kožený

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ pavel_kozeny@vuv.cz
www.vuv.cz



Mgr. Pavel Kožený je zaměstnaný jako vedoucí oddělení ochrany vodních ekosystémů VÚV TGM, kde pracuje od roku 2003. V roce 2000 ukončil studium oboru Hydrobiologie na Katedře parazitologie a hydrobiologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze. V poslední době se zabývá dynamikou a významem tzv. říčního dřeva v korytech vodních toků a jeho aplikací při revitalizacích a přírodě blízkých úpravách vodních toků.

doc. Ing. Petr Máca, Ph.D.

ČZU v Praze

✉ maca@fzp.czu.cz
www.fzp.czu.cz



Doc. Ing. Petr Máca, Ph.D., je absolventem inženýrského oboru Krajinářské inženýrství (1997) a doktorského oboru Zemědělská a lesnická hydrologie (2005) na Fakultě lesnické a environmentální České zemědělské univerzity v Praze a od roku 2015 je docentem na katedře vodního hospodářství a environmentálního modelování na Fakultě životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze. Zabývá se zejména výukou předmětů Hydrologie a Hydrologické modelování,

specializuje se na návrh postupů využitelných v rámci hydrologického modelování. Je autorem, spoluautorem a oponentem řady publikací v mezinárodních i tuzemských odborných časopisech, několika monografií, certifikovaných metodik, specializovaných map a softwarů. Je řešitelem a spoluřešitelem řady výzkumných i komerčních projektů.

Ing. Pavel Menšík, Ph.D.

VUT v Brně

✉ mensik.p@fce.vutbr.cz
www.vutbr.cz



Ing. Pavel Menšík, Ph.D., je zaměstnancem Ústavu vodního hospodářství krajiny, který je součástí Fakulty stavební na Vysokém učení technickém v Brně, kde od roku 2011 pracuje jako odborný asistent. V roce 2014 prováděl jako hostující výzkumný pracovník na University of California výzkumnou činnost v oboru vodní hospodářství, zaměřením na optimalizaci provozu přečerpávací vodní elektrárny. V období 2015–2016 byl členem řešitelského týmu Norských fondů. Ing. Pavel Menšík, Ph.D., vystudoval obor Vodní hospodářství a vodní stavby na Fakultě stavební VUT v Brně. Orientuje se v programovacích jazycích, jako např. FORTRAN, C#, C++, R, HTML apod.

Ing. Jana Uhrová, Ph.D.

VÚV TGM, v. v. i., pobočka Brno

✉ jana_uhrova@vuv.cz
www.vuv.cz



Ing. Jana Uhrová, Ph.D., je zaměstnancem oddělení hospodaření s vodou ve VÚV TGM 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 projektu Nové postupy optimalizace systémů integrované ochrany území v kontextu jejich ekologické udržitelnosti.

Ing. Věra Očenášková

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ vera_ocenaskova@vuv.cz
www.vuv.cz



Ing. Věra Očenášková je dlouholetým zaměstnancem VÚV TGM. Absolvovala Vysokou školu chemicko-technologickou v Praze, Fakultu potravinářských a biochemických technologií. Pracuje v hydrochemické laboratoři odboru Referenční laboratoř složek životního prostředí a odpadů, jehož vedoucí byla v letech 2008–2013. Dlouhodobě spolupracovala s mezinárodní asociací NORMAN a zastupovala Českou republiku v pracovní skupině CMPE v rámci EU. Věnuje se především sledování kontaminantů životního prostředí, zejména složek hydrosféry. Je řešitelkou několika projektů a autorkou řady publikací. V posledních letech se zabývá problematikou epidemiologického přístupu k odpadním vodám.



Rozhovor s ředitelem SOVAK ČR Ing. Oldřichem Vlasákem

Jak byste zhodnotil svůj první rok ve funkci ředitele SOVAK ČR?

Přestože rok je v oblasti vodního hospodářství velice krátká doba, podařilo se nám za toto krátké období mnoho věcí, které v souladu s novou koncepcí a záměry představenstva posunuly činnost našeho sdružení na kvalitativně vyšší úroveň, která již odpovídá asociaci republikového významu podle evropských standardů.

Na úvod je třeba si uvědomit, že SOVAK ČR, resp. jeho členové zásobují kvalitní pitnou vodou přes 9 mil. obyvatel, odvádějí odpadní vody pro téměř 8 mil. obyvatel a přes 98 % těchto odpadních vod čistí. V celém tomto procesu je zapojeno cca 250 tisíc pracovníků. Důležité pro naši činnost také je, že cca 85 % veškeré vodárenské infrastruktury patří obcím a městům či jejich svazkům. Naší snahou tedy je především hájit zájmy svých členů, což jsou jak vlastníci, tak provozovatelé, předávat jim potřebné informace a zasazovat se o rozvoj oboru.

Nyní k činnosti za poslední rok. V průběhu roku jsme se přemístili do nových prostor na Křížovnickém náměstí v sousedství našich bývalých kanceláří na Novotného lávce, které již plně splňují požadavky na kvalitní pracovní prostředí včetně patřičného zázemí. Najeli jsme na nový komunikační systém s plným zabezpečením a možností sdílení dat a informací. Došlo k personálnímu posílení jak redakce, tak odborného týmu.

V souladu s novými předpisy došlo na jarní valné hromadě SOVAK ČR k přeměně našeho sdružení na spolek, úpravě Stanov a volbě nových orgánů spolku.

Z důvodu prosazování našich zájmů byly pro SOVAK ČR nesmírně důležité podpisy jednak Memoranda o spolupráci se Svazem měst a obcí ČR o spolupráci, a dále pak podpis Smlouvy o součinnosti s Odborovým sdružením dřevozpracujících, lesního a vodního hospodářství. Naším zájmem je dlouhodobě uplatňovat naše odborná stanoviska před a v průběhu tvorby legislativy. Vždyť v našich patnácti odborných komisích pracuje přes 250 odborníků a expertů z oboru, kteří mají i dlouholetou zkušenost z provozu. Důležitost těchto smluv vystupuje do popředí díky velmi malému zájmu ministerstev zapojit nás jako odborného konzultanta již při přípravě legislativy spojené s naším oborem.

Jaké změny chystáte na další období?

Velkým cílem do budoucna je tedy to, aby se SOVAK ČR stal povinně připomínkovým místem při přípravě nových zákonů, nařízení vlády, vyhlášek a různých jiných materiálů na vládní či ministerské úrovni, které se dotýkají oblasti vodního hospodářství. Také chceme zintenzivnit spolupráci s partnerskými organizacemi, ať už je to Svaz měst a obcí ČR, Sdružení místních samospráv,

Hospodářská komora ČR, Odborový svaz pracovníků dřevozpracujících odvětví, lesního a vodního hospodářství v ČR a řady dalších. Naší snahou je rovněž zintenzivnit debatu o dalším směřování oboru vodovodů a kanalizací, a to v rámci našeho sdružení přes naše odborné komise, či diskusí s širokou odbornou veřejností. V září tohoto roku jsme například zahájili debatu o možnostech termochemického zpracování kalů, první ohlasy byly veskrze pozitivní. Do budoucna se chceme intenzivněji věnovat i dalším tématům, například výskytu látek souhrnně označovaných jako přípravky pro ochranu rostlin ve vodním prostředí. Velkým tématem do budoucna je i cena vody v prostředí neustále se snižující spotřeby vody v ČR, která se dotýká nejen provozovatelů vodovodů a kanalizací, ale ve značné míře například i státních podniků Povodí.

Jak se SOVAK ČR dívá na loňské sucho a jak na problematiku nahližejí členové SOVAK ČR, popř. jak se s ní vypořádávají?

S negativními projevy sucha, které postihlo Českou republiku v roce 2015, se potýkali také jednotliví členové SOVAK ČR. Z tohoto důvodu SOVAK ČR zpracoval studii, která shrnuje zkušenosti největších provozovatelů a vlastníků vodohospodářské infrastruktury v nejpostiženějších oblastech ČR, a to jak z pohledu zásobování obyvatelstva pitnou vodou, tak i z pohledu odvádění a čištění odpadních vod. Na základě získaných zkušeností jednotlivých členů SOVAK ČR mohou jednoznačně konstatovat, že s následky sucha je schopna se mnohem lépe vyrovnat velká společnost vlastníci či provozující vodohospodářskou infrastrukturu, která má k dispozici nejen více zdrojů vod pro výrobu vody pitné, úpraven vod, odpovídající technické zázemí a vybavení, ale také i zkušené a kvalifikované pracovníky (technici, technologové, vodohospodáři atd.), kteří dokáží lépe zvládnout nepříznivé podmínky pro řádný provoz vodovodů a kanalizací. Jako naprosto zásadní pro překonání nepříznivých následků sucha se pak ukazuje systém propojených vodohospodářských celků, který lépe dokáže čelit případným výpadkům lokálních zdrojů vod. S propojováním vodohospodářských soustav však souvisí řada technických, ale i majetkoprávních problémů. V současné době se na území České republiky nachází deset vodárenských soustav, které zásobují vodou přes 3 miliony obyvatel ČR a dále desítky oblastních nebo regionálních skupinových vodovodů. Tato páteřní vodohospodářská infrastruktura byla vybudována v šedesátých až sedmdesátých letech minulého století, její životnost v současné době končí nebo skončí v nejbližších letech. Vzhledem k objemu nutných finančních prostředků nelze počítat s tím, že by rekonstrukce mohla být zajištěna jen z prostředků vybraných za vodné, obzvláště v situaci, kdy často malá společnost vlastněná městem či obcí má ve svém vlastnictví i značnou část této páteřní infrastruktury. Z tohoto důvodu jsem přesvědčen, že mezi hlavní opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha by tak jednoznačně měly patřit i rekonstrukce, budování a propojování páteřních vodohospodářských soustav a užší ekonomicko-technická spolupráce jednotlivých společností vlastníků a provozovatelů vodohospodářské infrastruktury.

Jak SOVAK ČR hodnotí nový Operační program Životní prostředí (OPŽP) 2014–2020 z hlediska využitelnosti pro členy v praxi?

SOVAK ČR velice intenzivně vnímá potřebu rekonstrukce a výstavby vodohospodářské infrastruktury pro zajištění dodávek kvalitní pitné vody a řádné čištění odpadních vod v souladu s evropskou i národní legislativou. Víme jakékoliv finanční prostředky investované do vodohospodářské infrastruktury, jejíž hodnota v České republice dosahuje částky 1 bilionu Kč. Na druhé straně je potřeba konstatovat, že základní podmínky OPŽP programovacího období 2014–2020 vycházejí z již dříve dojednaných podmínek programovacího období 2007–2013. Právě tyto podmínky rozdělily na základě typu provozního modelu a délce trvání provozní smlouvy jednotlivé navrhované projekty do tří kategorií: projekty spolufinancovatelné z OPŽP bez dalších doplňujících podmínek, projekty výrazně omezené a projekty takzvaně nežadatelné. Vznikl

tak trojkolejný systém selektivní podpory, který umožňuje některým členům SOVAK ČR financovat rekonstrukce a výstavbu vodohospodářské infrastruktury plně z programů OPŽP, některým našim členům za výrazně omezujících podmínek a některým pak neumožňuje spolufinancovat tolik potřebné investice vůbec. Jako druhý problém se v praxi jeví i speciální finanční modely, které se uplatňují právě pro projekty spolufinancované z OPŽP. Harmonizace postupů cenotvorby z hlediska formálních a administrativních postupů není provedena, ačkoliv musím s potěšením konstatovat, že navrhovaný zjednodušený finanční model připravený zástupci SFŽP, potažmo MŽP pro programovací období 2014–2020 je krok správným směrem, který vítáme.

Jaký je názor SOVAK ČR na novelu vodního zákona týkající se poplatků za odběr podzemních vod a jaký to bude mít vliv na cenu vodného, tím myslíme i na vodárenský systém využívající povrchové vody k úpravě na vodu pitnou?

Ministerstvo životního prostředí připravilo a předložilo novelu vodního zákona, která původně mimo jiné navrhovala postupně do roku 2022 zvýšit poplatek za odběr podzemních vod až na úroveň 8 Kč za m³. Je pravda, že poplatek za odběr podzemních vod je dnes nižší než poplatek za odběr vod povrchových, například na území, které spravuje Povodí Moravy, s. p., tento poplatek již dnes činí 6,65 Kč bez DPH. Nemohu ale souhlasit, že by kvůli rozdílné výši poplatků za odběr povrchových a podzemních vod docházelo k výraznému nadužívání, či dokonce drancování podzemních vod pro výrobu vody pitné, jak občas z některých kruhů zaznívá. Na území České republiky je rozdělení zdrojů podzemní a povrchové vody pro výrobu vody pitné v poměru cca 1 : 1 již řadu let konstantní, navíc jen malá část provozovatelů vodárenské infrastruktury má díky vybudované infrastruktuře reálnou možnost ovlivnit zdroj vody pro výrobu vody pitné. Také jsme měli oproti ministerstvu výrazně odlišný názor na dopad zvyšování poplatků za odběr podzemních vod, kde jsme nemohli přijmout názor ministerstva o dopadu max. 36 Kč na osobu a rok. Podle našich propočtů dopad na konečného spotřebitele by totiž nebylo pouhé prosté navýšení poplatku, ale konečné promítnutí v ceně za vodné, které by bylo díky technologické spotřebě vody při úpravě, ztrátám v distribuci, zisku a DPH o více jak 70 % vyšší, tedy nárůst poplatku o 4 Kč/m³ by byl fakticky nárůstem ceny o 7 Kč/m³. Navíc předmětná novela navrhovala snížení limitu zpoplatnění menších odběrů, které znamenalo pro malá sídla nárůst rovnou o 6 Kč/m³ (fakticky 10 Kč/m³). Výsledný dopad novely vodního zákona jen z titulu navýšení poplatků za odběr podzemních vod v oblastech zásobovaných podzemní vodou činil zhruba 250 Kč na osobu a rok.

Nicméně velice silně vnímáme rozdílnou výši poplatků za odběr povrchových a podzemních vod, i pro členy našeho sdružení to představuje rozdílné náklady na výrobu pitné vody nejen podle typu zdroje vod, ale i na jakém území podniků Povodí se nacházejí. V případě výše poplatků za odběr povrchových



vod je nutné vzít v potaz stávající model financování státních podniků Povodí, pro které představuje poplatek za odběr povrchových vod více jak 70 % celkového příjmu. Při postupném snižování odběrů povrchových vod nejen pro vodárenské účely, ale i jednotlivými průmyslovými a energetickými podniky dochází k situaci, kdy snížení odběru povrchových vod má za následek zvýšení poplatku za její odběr. Pokud existuje obecný záměr na vyrovnání výše poplatku za odběr povrchových a podzemních vod, pak cesta k němu podle našeho názoru nevede přes jednorázové navýšení poplatku za odběr podzemních vod, ale na základě hlubší debaty nad smyslem poplatků za odběr povrchových a podzemních vod, nastavení objemu prostředků, které je nutné z těchto poplatků vygenerovat, jasné určení použití takto vybraných finančních prostředků a v neposlední řadě obnovení regulační funkce poplatků.

Jaké zkušenosti má Vaše sdružení ohledně dělení kompetencí mezi Ministerstvem zemědělství a Ministerstvem životního prostředí v problematice vody? Jaký vliv to má na Vaše sdružení?

Sektor vodního hospodářství je skutečně jedním z oborů lidské činnosti, který se potýká s výrazným dělením kompetencí nejen mezi Ministerstvo zemědělství a Ministerstvo životního prostředí. Obor vodovodů a kanalizací je primárně v kompetenci Ministerstva zemědělství, které nastavuje základní sektorová pravidla a regulace. Také Ministerstvo životního prostředí, které má v gesci problematiku ochrany vod, je v mnoha ohledech významným regulátorem, který značně ovlivňuje především provozovatele stokových sítí a čistíren odpadních vod. Nicméně rád bych připomenul i úlohu dalších ministerstev, která značně ovlivňují celý sektor vodního hospodářství, ať už je to problematika kvality pitných vod, které řeší Ministerstvo zdravotnictví, rozhodnutí dotýkající se stavebního zákona, územního plánování a lepšího hospodaření s dešťovou vodou, která spadají pod Ministerstvo pro místní rozvoj, a v neposlední řadě důležitou cenovou regulaci oboru vodovodů a kanalizací, kterou zajišťuje Ministerstvo financí. Z tohoto důvodu bych proto jen velmi nerad problematiku jisté rozříštěnosti kompetencí zužoval pouze na Ministerstvo zemědělství a Ministerstvo životního prostředí. O skutečnosti, že nastavené rozdělení kompetencí není vždy zcela ideální, svědčí situace, kdy si pracovníci jednotlivých ministerstev navzájem vyjasňují své kompetence a tvrdě hájí stanoviska a politiku svého ministerstva bez ohledu na celkový cíl politiky v oblasti vodního hospodářství. Typickou ukázkou jsou různé mezirezortní komise, které by měly formulovat tyto obecné cíle politik či mezirezortní připomínková řízení k jednotlivým návrhům zákonů či nařízení vlády. Jako příklad lze uvést poplatkovou novelu vodního zákona předloženou Ministerstvem životního prostředí, ke které zaslalo Ministerstvo zemědělství připomínky o celkovém rozsahu 27 stran. Pro SOVAK ČR a jednotlivé jeho členy tento stav znamená jednání a spolupráci s řadou nejrůznějších pracovníků státní správy na jednotlivých úrovních. Situace je pro nás o to komplikovanější, že SOVAK ČR není takzvaným povinně připomínkovým místem, a tak k mnoha věcem, které se dotýkají oboru vodovodů a kanalizací, máme možnost se vyjádřit jen na základě ochoty jednotlivých ministerstev přizvat nás k jednání, či na základě intenzivní spolupráce s povinně připomínkovými místy, ať už je to Svaz měst a obcí, Svaz místních samospráv, Hospodářská komora České republiky a jiní. SOVAK ČR je otevřen jednání s kterýmkoliv dotčeným orgánem státní správy při řešení problematiky dotýkající se oboru vodovodů a kanalizací, rozhodně ale nemá ambici navrhovat a prosazovat případná přerozdělení kompetencí v rámci jednotlivých ministerstev. Na druhé straně voda je natolik důležitým fenoménem, že by si zasloužila v celém komplexu spadat pouze pod jedno ministerstvo.

Jak se SOVAK ČR dívá na největší investici OPŽP 2014–2020, modernizaci Úpravny vody Želivka?

Rekonstrukce Úpravny vody Želivka, která zásobuje pitnou vodou přes 900 tisíc obyvatel, je svým významem skutečně jednou z nejdůležitějších vodo hospodářských akcí za posledních několik let. Investice přesahující částku 1,2 miliardy Kč byla vyvolána především potřebou řešit problematiku výskytu pesticidů a jejich metabolitů v surové vodě z VN Švihov. K navrženým jednotlivým variantám rekonstrukce se vyjadřovala i odborná komise SOVAK ČR, která jednomyslně doporučila k realizaci sice nejdražší, ale co do splnění technických požadavků a i s ohledem na plánovanou životnost stavby prakticky jedinou vhodnou variantu. Domnívám se, že tato rekonstrukce přinese zabezpečení dodávek kvalitní pitné vody pro obyvatele Prahy na řadu let dopředu. Je potřeba ale zmínit i finanční otázku rekonstrukce ÚV Želivka. Přestože tato rekonstrukce je spolufinancována z programu OPŽP, tak vzhledem k výši spolufinancování a následné potřebě řádně plnit plán finanční obnovy bude mít tato rekonstrukce bohužel i dopad na odběratele a v konečném důsledku i koncového spotřebitele. Podle dostupných informací bude muset provozovatel ÚV Želivka, Želivská provozní, a. s., přistoupit ke zvýšení ceny vody předané dalším provozovatelům zásobujícím koncové spotřebitele o cca 25 %, což je v podmínkách České republiky skutečně skokové zdražení. Velkou výzvou do budoucna bude i rekonstrukce hlavního přivaděče z ÚV Želivka do hlavního města Prahy, která se s největší pravděpodobností neobejde bez delší odstávky a nutnosti zajistit zásobování obyvatel Prahy pitnou vodou z alternativních zdrojů, především dlouhodobým zprovozněním ÚV v Praze-Podolí, která od roku 2002 slouží jen jako pohotovostní rezerva.

Jaký je Váš názor na modernizaci ÚČOV Praha ve vztahu k modelům financování vodo hospodářské infrastruktury?

Výstavba nové vodní linky ÚČOV Praha s předpokládanými rozpočtovými náklady přibližně 9 miliard Kč je jednoznačně nejvýznamnější a nejdůležitější akce v oblasti čištění odpadních vod v historii samostatné České republiky. Její realizaci předcházela řada let příprav, diskusí, ale bohužel i sporů, ať už technického či ekonomicko-právního rázu. Na rozdíl od výše zmíněné rekonstrukce ÚV Želivka není tento projekt zatím alespoň z části hrazen z evropských fondů prostřednictvím OPŽP. Velkou překážkou realizace se ukázaly nastavené podmínky v rámci programovacího období 2007–2013, délka smlouvy o provozování mezi hlavním městem Prahou a současným provozovatelem a především opakovaně negativní stanovisko expertů Evropské unie JASPERS k technické koncepci a nákladům stavby. Experti z JASPERS ve svých posudcích především nesouhlasili s technickým řešením plněním národní emisní limity pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových, které jsou v ČR nastaveny výrazně přísněji, než vyplývá z požadavků EU vyjádřených směrnicí 271/91/EHS. Přestože výhrady JASPERS byly opakovaně experty vyvráceny a provozovatel vyslovil ochotu v případě potřeby vyjmout ÚČOV z platné smlouvy o provozování, k dohodě o spolufinancování z programů OPŽP či jiných národních zdrojů se zatím nepodařilo dospět.

SOVAK ČR sdružuje jak vlastníky, tak i provozovatele vodo hospodářské infrastruktury všech typů modelů provozování, což jsou především modely vlastnické, smíšené či oddílné. SOVAK ČR nepovažuje za vhodné a ani v tomto směru nebude do budoucna vyvíjet jakoukoliv aktivitu, kdy by jednotlivým členům či ostatním vodo hospodářským společnostem doporučoval konkrétní typ modelu provozování. Jsem přesvědčen, že nastavení smluvních vztahů mezi vlastníkem a provozovatelem je výlučná záležitost dotčených společností, protože jen zástupci těchto společností jsou schopni řádně posoudit, jaký typ modelu provozování je v dané lokalitě nejvhodnější.

Redakce

Odborný seminář Dopad hydrologického sucha 2015 na kvalitu povrchových vod

Téměř celý rok 2015 byl srážkově podnormální a naopak teplotně výrazně nadnormální. Srážkový deficit se začal projevovat již na počátku roku 2015 a vyvrcholil v polovině srpna s dalším prohloubením v podzimních měsících. Ve srovnání s dlouhodobým průměrem (období 1981–2010) přesáhl srážkový deficit v srpnu 170 mm a ve velmi vysokých hodnotách se pohyboval v intervalu hodnot 135–185 mm po celý podzim. Průměrná teplota za rok 2015 činila 9,4 °C a byla ve srovnání s normálem z let 1981–2010 o 1,5 °C vyšší. Vzestup průměrné teploty se projevil zvláště v letních měsících, kdy v červenci bylo o 2,4 °C a v srpnu dokonce o 4 °C tepleji než normálně. Maximální denní teploty na některých stanicích překračovaly 38 °C. Důsledkem toho se prakticky na celém území vyvinulo výrazné hydrologické sucho, kdy byl na většině toků po mnoho dní zaznamenáván průtok pod Q_{355} (jedná se o průtok, který je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen po 355 dní v roce). Ve více než polovině případů (160) bylo hydrologické sucho velmi významné, průtok klesal až na hodnoty Q_{364} . Některé toky nižšího řádu v letních měsících úplně vyschly [1].

Jak se tento nepříznivý stav odrazil na kvalitě povrchové vody a jaký dopad to může mít na vodní organismy, bylo prezentováno na semináři Dopad hydrologického sucha 2015 na kvalitu povrchových vod, který proběhl 12. října tohoto roku na Novotného lávce v Praze. Základní otázkou, na kterou je třeba si odpovědět, je, zda nízké průtoky v recipientech v antropogenně ovlivněném území vedou ke zhoršení kvality vody, či nikoliv. Při malých průtocích v recipientu dochází zákonitě k nižšímu stupni ředění odpadních vod. V období významného hydrologického sucha může být objem vypouštěných odpadních vod dokonce srovnatelný nebo vyšší než aktuální průtok.

Seminář zahájil předseda mezirezortní odborné skupiny VODA-SUCHO, ředitel Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v. v. i., Mgr. Mark Rieder, který seznámil přítomné s cíli a činností této skupiny. Ve svém příspěvku zmínil i některá adaptační opatření pro zmírnění dopadů sucha a nedostatku vody. K přípravě realizace opatření pro zmírnění těchto negativních jevů přijala vláda ČR usnesení č. 620 ze dne 29. července 2015, kterým ministrům MŽP a MZe mj. ukládá předložit vládě do poloviny příštího roku koncepci ochrany před následky sucha.

Navazující program semináře byl rozdělen do tří tematických bloků: vznik a vývoj sucha 2015 z klimatologického a hydrologického hlediska, jak se tento nepříznivý stav projevil na kvalitě povrchových vod tekoucích a stojatých a nakonec, jak se se suchem vyrovnávají vodní organismy.

Ing. Radek Vlnas (ČHMÚ, VÚV TGM, v. v. i.) vyzdvihl klimatologické aspekty, které v roce 2015 vedly k teplotním a srážkovým anomáliím ve střední Evropě. Zajímavé bylo srovnání s jinými epizodami sucha v tomto a minulém století. Na jeho přednášku navázal Ing. Petr Vicenda (Povodí Vltavy, státní podnik), který dokumentoval hydrologické sucho v Čechách a zvláště v povodí Berounky. Zmínil mj., že brzký rozvoj sucha v minulém roce byl způsoben také nízkou zásobou vody ze sněhu tří předcházejících zimních období. Nejdelší extrémní hydrologické sucho s průtokem pod Q_{364} bylo zaznamenáno na řece Úhlavě v profilu Štěnovice (nad Plzní), trvalo 78 dní. Ke zmírnění dopadů sucha na dolních a středních tocích výrazně přispěly vodní nádrže; nadlepení v závěrném profilu Vltavy je odhadováno na skoro 30 m³.s⁻¹. Přitom odběry surové vody pro úpravu na vodu pitnou byly zachovány po celou dobu trvání nepříznivého stavu.

Ing. Kateřina Soukupová (Povodí Vltavy, státní podnik) seznámila přítomné s výsledky mimořádného monitoringu kvality povrchových vod v povodí Vltavy. Probíhal v období srpen až listopad 2015 na 36 říčních profilech. Četnost odběrů byla zahuštěna na 1x týdně až 1x za 14 dní. Výsledky analýz byly porovnány s obdobím 2013–2014. K překračování maximálních koncentrací ve srovnání

s referenčním obdobím docházelo zvláště v případě konduktivity, organického znečištění, rozpuštěného kyslíku a celkového fosforu především na tocích nižšího řádu (podle Strahlera). Na tocích vyššího řádu dopad hydrologického sucha na kvalitu vody nebyl až na ojedinělé případy významný (také vlivem nadlepení průtoků). Ze speciálních ukazatelů znečištění byl v některých profilech významný nárůst koncentrací kyseliny ethylendiamintetraoctové (EDTA), která je součástí pracích a čisticích prostředků. Byl také potvrzen známý jev „skokového“ zhoršení kvality vody pod intravilány měst a obcí po srážkové epizodě, které předcházelo déletrvajícím suchým obdobím.

A jak na sucho zareagovaly vodní nádrže? S tím posluchače seznámil přední expert na tuto problematiku RNDr. Jindřich Duras, Ph.D. (Povodí Vltavy, státní podnik). Předně, hydrologické sucho v povodí nad nádrží nemusí nutně vést ke zhoršení kvality vody v ní. Příroda si v mnohém dokáže poradit. Některé samočisticí procesy v povodí nad nádrží v období sucha probíhají s vyšší účinností než za normálního stavu. Prodlužuje se dotoková doba, s klesající hloubkou vody roste význam biologicky aktivních povrchů, vzrůstá úloha infiltrace v hyporeálu. Toto jsou jen některé aspekty, které Dr. Duras zmínil. Záleží také na tom, v jaké vzdálenosti jsou od přítoku do nádrže bodové zdroje znečištění lokalizovány. Tam, kde je vzdálenost malá, nemají samočisticí procesy takovou možnost se uplatnit. Zhoršená kvalita vody v horní části nádrže nemusí ohrozit kvalitu vody u hráze, kde dochází k odběru vody a odtoku do recipientu. To se potvrdilo např. na VN Švihov. Samozřejmě faktorů, které kvalitu vody ovlivňují, je celá řada, každou VN je potřeba hodnotit individuálně.

V posledním neméně zajímavém bloku byla přednáška RNDr. Petra Pařila (Masarykova univerzita Brno) na téma, jak se vliv vysychání toku projevuje na změně druhové diversity zoobentosu. Na příkladu vodních bezobratlých bylo ukázáno, které skupiny organismů bude vysychání postihovat nejvíce, a byly zmíněny i ty druhy, které mohou ze změněné situace na základě svých vlastností těžit. Např. ve státech jižní Evropy, kde je vysychání toků častým jevem, je druhová diversity bezobratlých vyšší než v České republice, kde k tomuto fenoménu dochází zatím zřídka.

Z vyšších organismů byly RNDr. Jitkou Svobodovou (VÚV TGM, v. v. i.) prezentovány populace raků žijících na našem území. Některé druhy jsou schopny zavrtat se hlouběji do hyporeálu, kde je dostatečná vlhkost, a přečkat tam hydrologicky nepříznivé podmínky i po několik týdnů. Pokud je potřeba račí populaci přesadit na jiné místo, měli by tak vždy učinit odborníci, aby nedošlo ke zničení původních druhů raků na našem území invazivními druhy (zvl. rakem pruhovaným *Orconectes limosus*).

Autor

Ing. Tomáš Mičaník

✉ tomas_micanik@vuv.cz

předseda odborné skupiny Odpadní vody – čistota vod při ČTVVHS

Literatura

[1] DAŇHELKA, J. aj. *Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2015*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, srpen 2016, 186 s.

Zbytečná hysterie kolem používání glyfosátu

V minulém čísle časopisu VTEI se čtenář mohl seznámit s názorem SOVAKu ČR na podporu „co nejrychlejšího úplného zákazu používání glyfosátu“ s ohledem na možnou kontaminaci povrchových vod touto látkou (hlavní látka totálních herbicidů typu roundup) a jejími rezidui. Jelikož v příspěvku nebyly uvedeny všechny relevantní informace, aby si mohl čtenář utvořit na uvedenou problematiku vlastní názor, dovolil jsem si veskrze negativní vyznění původního příspěvku uvést na pravou míru. Cílem tohoto příspěvku není obhajovat použití glyfosátu, který je často využíván ve zbytečných, nadměrných množstvích (např. k desikaci sklizně), nýbrž poskytnout základní fakta o jeho mechanismu působení a představit zobecněné závěry vědeckých studií, které potenciální škodlivost glyfosátu vůči člověku, živočichům a vodnímu prostředí v posledních 30 letech zkoumaly (glyfosát byl objeven v roce 1970). I tak nebude snadné alespoň vyvážit převážně negativní dlouhodobou kampaň, která je v podobě poplašné zprávy ohledně používání glyfosátu bez ohledu na fakta v posledních letech sdělovacími prostředky šířena.

Glyfosát je bezbarvá organická, širokospektrálně působící herbicidní látka na bázi fosforu, která efektivně účinkuje vůči rostlinným zeleným pletivům (byliny i dřeviny), včetně mechorostů a zelených řas. Jeho účinek spočívá v utlumení funkce rostlinného enzymu (je součástí genomu i některých mikroorganismů, nikoliv savců), který umožňuje syntézu aminokyselin, potřebných k růstu a fungování rostliny [1]. Obecné závěry, které reprezentují statisticky významný soubor několika desítek studií ze všech vědních oborů, zabývajících se působením a účinky glyfosátu na organismy, dosud neprokázaly akutní nebo chronickou toxicitu glyfosátu (v maximálních množstvích používaných při zemědělské produkci) na teplotně odolné organismy, tedy včetně člověka. K těmto závěrům došli např. Evropská komise (29. června rozhodla o dočasném prodloužení používání chemických přípravků na bázi glyfosátu po dobu 18 měsíců), německý Federální institut pro hodnocení rizik, Evropský úřad pro bezpečnost potravin, americký Úřad pro ochranu životního prostředí a jiné.

V roce 2015 byl glyfosát rozhodnutím Mezinárodní agentury pro výzkum rakoviny (IACR) na základě výsledků omezeného výběru studií zařazen do kategorie seznamu látek 2A jako potenciální karcinogen. Na stejném seznamu je pro ilustraci čtenáře i červené maso a pití horkých nápojů o teplotě více než 65 °C (tedy i kávy a čaje). I selským rozumem lze dovodit, že extrémní příjem jakékoliv látky, včetně těch základních jako soli nebo cukru, je pro člověka ohrožující, a je proto často důvodem, aby tyto látky byly na podobné seznamy zařazeny. O jejich benefitech se však v souvislostech s nimi nemluví. Např. největším benefitem glyfosátu je dlouhodobá udržitelnost zemědělské produkce v případě využití geneticky upravených odrůd obilovin a kukuřice (GMO) odolných vůči glyfosátu při širokospektrální likvidaci plevelů (samotná problematika GMO není cílem příspěvku).

V příspěvku SOVAKu zmíněná kontaminace povrchových vod je ve skutečnosti významně omezena výraznou adsorpcí glyfosátu na půdní částice, navíc SOVAKem prezentované hodnoty v povrchových vodách z Belgie, Irska a Švédska na úrovni 139–370 µg·l⁻¹ jsou v řádech, které zcela jistě nelze nazývat jako závažné. Velikost takového množství lze srovnat např. s nejvyšší mezní hodnotou pro koncentraci celkových kyanidů v pitné vodě v ČR, která činí 50 µg·l⁻¹ [2] a u kterých je narozdíl od glyfosátu akutní toxicita prokázána a všeobecně známa. Navíc příspěvek neuvádí, zda jde o průměrnou, či maximální změřenou koncentraci. Nejcitlivějšími nezelenými organismy na glyfosát jsou ryby a obojživelníci, z nichž u některých druhů byla zjištěna tzv. střední smrtná koncentrace 38–39 mg·l⁻¹ (tj. 100x více než uvedené koncentrace ve vodách) při expozici 24 a 96 hodin [3, 4].

Jinou věcí je samotné použití surfaktantů (smáčedel) v herbicidech na bázi glyfosátu, usnadňujících jeho průnik do zelených pletiv. Tyto látky jsou skutečně dráždivé a mohou vyvolávat nejen u lidí, ale i u vodních organismů

různé alergické reakce. Velmi často je však tento jejich potenciální negativní efekt zaměňován právě s glyfosátem samotným (např. u zmíněných citlivých obojživelníků je střední smrtná koncentrace surfaktantů 1,1 mg·l⁻¹ při expozici 24 a 96 hodin, což je 35x menší hodnota než u glyfosátu). Přitom vhodnou úpravou legislativy lze použití surfaktantů v herbicidech účinně omezit. Dílčím problémem mohou být různá rezidua, a to jak ze surfaktantů, tak z glyfosátu. Glyfosát v řádu jednotek dnů až měsíců (podle charakteru prostředí) biodegraduje přes meziprodukty až na konečné produkty v podobě CO₂ a iontů NH₄⁺ [4], což při zvýšené biochemické oxidaci (nitrifikaci) může vést až ke kyslíkovému deficitu ve vodním prostředí. To platí především pro stojaté vody, kde je nutné při použití glyfosátu v jejich okolí s tímto efektem počítat, ve vodních tocích je obvykle areace vody dostatečná. Samotné meziprodukty čítají různé látky organické povahy od zcela netoxických (aminokyseliny) až po ty toxické (formaldehyd), nicméně vycházíme-li z běžných koncentrací glyfosátu v povrchových vodách, jsou jejich koncentrace environmentálně nevýznamné.

Výsledky dosavadního celosvětového sledování vlivu glyfosátu na zdraví člověka z hlediska konzumace glyfosátem ošetřených potravin nebo pitné vody se stopami glyfosátu zatím neprokázaly jeho akutní ani chronickou toxicitu vůči teplotně odolným organismům v koncentracích, se kterými se v prostředí můžeme běžně setkat. Neznamená to, že potenciální toxické účinky glyfosátu nemohou být dalším výzkumem v budoucnu objeveny, nicméně je více než sporné vyvolávat negativní kampaň proti používání glyfosátu na základě několika ojedinělých výsledků, tím spíše nepodložených faktů a domněnek. Pokud SOVAK hovoří o problémech s pesticidy na úpravách vod, je z tohoto důvodu poněkud nešťastné a zavádějící uvádět jako příklad škodlivého pesticidu právě glyfosát, který z hlediska toxicity, pokud vůbec existuje, patří ve srovnání třeba s brodifakem nebo oficiálně zakázaným karbofuranem k těm vůbec nejmírnějším.

Autor

RNDr. Tomáš Hrdinka, Ph.D.

✉ tomas_hrdinka@vuv.cz

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

Literatura

[1] NPIC. *Glyphosate Technical Fact Sheet* [online]. National Pesticide Information Center [cit. 10. 10. 2016], 2016. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.469.4289&rep=rep1&type=pdf>

[2] MZe. *Mikrobiologické, biologické, fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele pitné vody a jejich hygienické limity* [online]. Ministerstvo zemědělství České republiky [cit. 10. 10. 2016], 2004. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/100064957.html>

[3] HOWE, C.M., BERRILL, M., PAULI, B.D., HELBING, C.C., et. al. Toxicity of glyphosate-based pesticides to four North American frog species. *Environ. Toxicol. Chem.*, 2004, 23(8), p. 1928–1938.

[4] SCHUETTE, J. *Environmental Fate of Glyphosate* [online]. Environmental Monitoring & Pest Management, Department of Pesticide Regulation [cit. 10. 10. 2016], 1998. Dostupné z: <http://www.cdpr.ca.gov/docs/emon/pubs/fatememo/glyphos.pdf>

VTEI/2016/6

Od roku 1959

**VODOHOSPODÁŘSKÉ
TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE
WATER MANAGEMENT
TECHNICAL AND ECONOMICAL INFORMATION**

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

Ročník 58



VTEI.cz

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

Redakční rada:

Mgr. Mark Rieder (šéfredaktor), RNDr. Dana Baudišová, Ph.D., Ing. Petr Bouška, Ph.D.,
RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D., doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur, Mgr. Róbert Chriateľ,
Mgr. Vít Kodeš, Ph.D., Ing. Jiří Kučera, Ing. Milan Moravec, Ph.D., Ing. Josef Nistler,
Ing. Jana Poárová, Ph.D., RNDr. Přemysl Soldán, Ph.D., Dr. Ing. Antonín Tůma

Vědecká rada:

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

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:

Archiv VÚV

Grafická úprava, sazba, tisk:

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

Náklad 1500 ks

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

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



PLAVECKÝ HOSTINEC NA LEZNICI

Plavecký hostinec zde byl založen již kolem roku 1752. Tady se scházeli hokynáři z širokého okolí (Trnová, Měchenice a další osady) a na šífech a vorech cestovali dále do Prahy. Na Leznici se sváželo i dřevo z okolních lesů a vázali se zde vory. Ne náhodou byl později právě zde zřízen jeden z přístavů paroplavby. Někdy od počátku 20. století provozoval hostinec pan Josef Boudník se svou ženou. Na počátku 20. let musela však budova starého hostince ustoupit tělesu nové povltavské silnice a o kousek dále a výše ve svahu byla tedy hned postavena hospoda nová. Hostinec zde fungoval až do 70. let 20. století, do smrti obou majitelů. Budova stojí dodnes, ale hostinec zde již není... Fotografie byla pořízena kolem roku 1918. *Text a fotografie z archivu Vojtěcha Pavelčíka, www.stara-vltava.cz.*

**VÝZKUMNÝ ÚSTAV
VODOHOSPODÁŘSKÝ
T.G. MASARYKA**

veřejná výzkumná instituce

VTEI.cz