

VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

VTEI/2019/6



10/ Vlastnosti uměle generovaných srážek využívaných pro studium eroze půdy

32/ Systém pro kontinuální monitorování radioaktivní kontaminace povrchových vod

58/ Rozhovor s RNDr. Evou Kočkovou, dlouholetou pracovnící VÚV TGM

Schwarzenberský plavební kanál

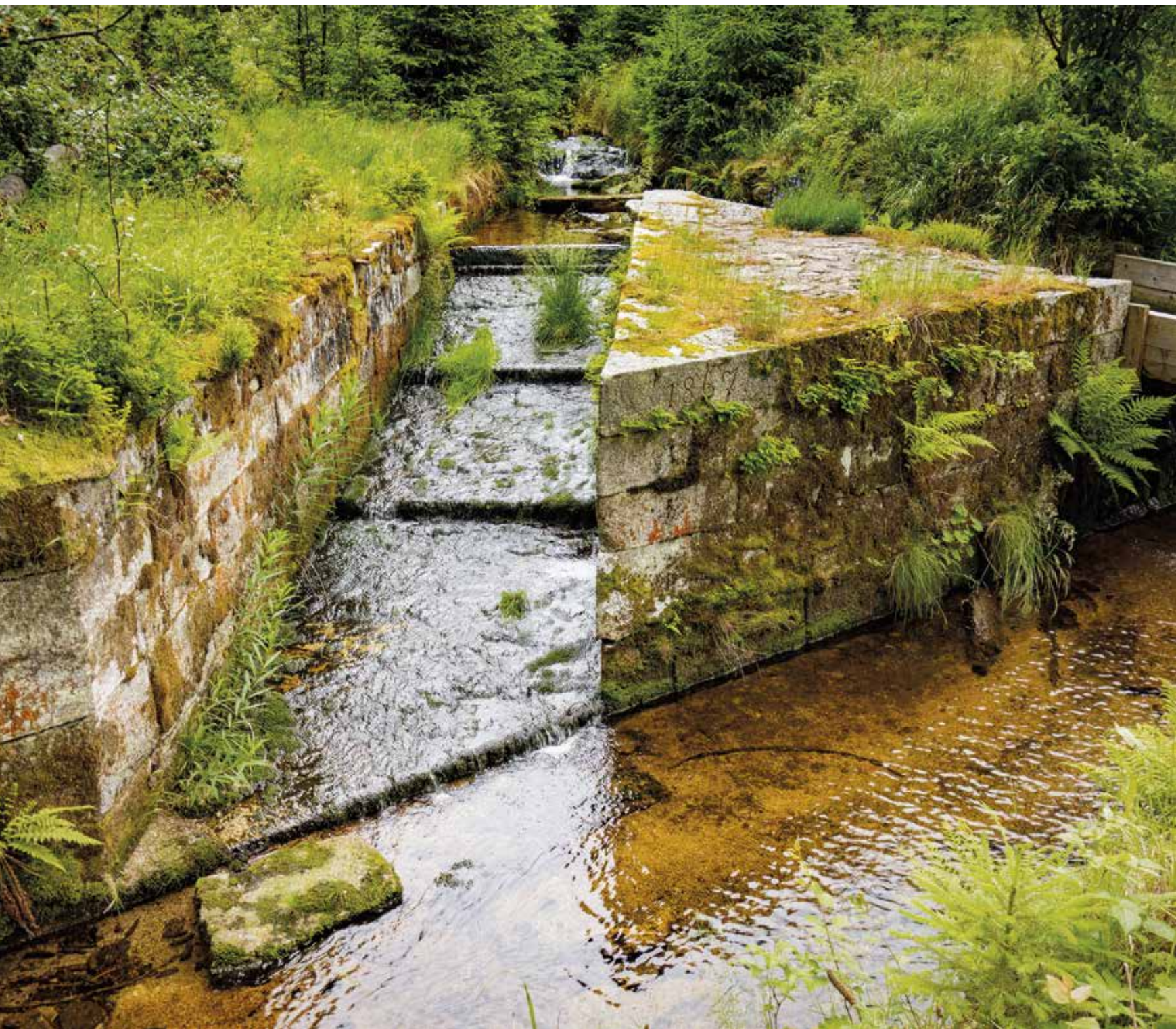
Schwarzenberský plavební kanál dal vybudovat kníže Jan Nepomuk I. ze Schwarzenbergu v roce 1789 jako spojení mezi Vltavou a Dunajem. První úsek (tzv. starý kanál) o délce 39,9 km byl dokončen v roce 1791 a druhý úsek byl pak vybudován v letech 1821–1822 o délce 11,7 km. Voda do kanálu přitékala celkem z 27 potoků, Plešného jezera a tří umělých nádrží (Rosenauerova, Jelení a Říjiště).

Kanálem se plavilo polenové dříví z nepřístupných šumavských lesů k řece Große Mühl, odkud následně putovalo po Dunaji až do Vídně – hlavního města tehdejšího císařství, a to za pouhých osm dní. Během necelých

100 let bylo do Vídně splaveno téměř 8 milionů krychlových dřeva. Autor a projektant kanálu byl český inženýr Josef Rosenauer, který byl později jmenován čestným občanem města Vídně za své zásluhy při jejím zásobování dřevem.

V druhé polovině dvacátého století utrpěl kanál značné škody. Část kanálu je dnes opravena a prohlášena za technickou památku.

Redakce



Obsah



3 Úvod

4 Nerealizované věžové vodojemy

Robert Kořínek, Alena Kristová

10 Vlastnosti uměle generovaných srážek využívaných pro studium eroze půdy

Martin Neumann, David Zumr, Petr Kavka, Tomáš Laburda, Lisbeth Lolk Johannsen, Nives Zambon, Tomáš Dostál, Peter Strauss, Andreas Klik



18 Expertní informační systém NAVAROSO

Přemysl Soldán, Jaroslav Roček

24 Čistá voda – zdravé město: Využitelnost stávajícího systému sběru informací pro naplnění cílů projektu

Stanislav Juráň, Milena Forejtníková, Lucie Vysloužilová, Kateřina Sovová

32 Systém pro kontinuální monitorování radioaktivní kontaminace povrchových vod

Michal Fejgl, Miroslav Hýža, Jiří Hůlka



40 Monitoring odpadové obslužnosti pro tříděné složky komunálního odpadu na území Hlavního města Prahy

Dagmar Vološinová, Robert Kořínek, Marcela Makvová

48 Měření malých průtoků pomocí měrných přelivů

Jan Hlom, Pavel Balvín



56 Autoři

58 Rozhovor s RNDr. Evou Kočkovou, dlouholetou pracovnící VÚV TGM v oboru hydrochemie a hodnocení jakosti vod

Hana Mlejnková

60 Srovnání výzkumu vodní stopy v ČR a ve světě – bibliometrická analýza

Libor Ansorge, Lada Stejskalová, Dagmar Vološinová

63 Vodohospodářská padesátka 2019

Pavel Richter, Lucie Jašíková, Hana Mlejnková, Hana Nováková, Marcela Makvová, Josef Nistler



Vážení čtenáři,

„vítejte do dalšího století!“, tedy pokud budeme začátek letopočtu měřit od založení našeho ústavu, což jak chápu, není pro mnoho čtenářů to úplně ideální časové měřítko. Tento rok jsme měli ve znamení aktivit spojených, pro nás, s velmi významným datem 9. 12. 2019, ale určitě budeme chtít vodu, vodohospodářský výzkum a vlastně i sucho s odpadovým hospodářstvím zviditelňovat i v dalších letech. Snažíme se proto hledat směry, kterými by se potřeby české, potažmo evropské společnosti mohly ubírat, abychom na ně byli, alespoň zhruba, připraveni. Je to však úkol nadlidský, protože priority se mění nejen podle potřeb, ale i podle profese toho, koho se zrovna ptáme, mění se dokonce i podle ročního období nebo aktuálního mediálního zájmu. Možná by hledání souvislostí bylo zajímavým výzkumem, který by však, bohužel, nespadal do naší kompetence. Obrazem této rozmanitosti je pak i toto číslo VTEI, kde najdete směs témat, která jsou právě řešena. Zároveň je však toto číslo i tím posledním, které tento rok dostáváte a završuje tak i 61. ročník vydávání našeho časopisu.

Dovolím si na konec poděkovat za Vaši věrnost časopisu VTEI a popřát bohaté Vánoce a hodně úspěchů v pracovním i soukromém životě v roce 2020.



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

Nerealizované věžové vodojemy

ROBERT KOŘÍNEK, ALENA KRISTOVÁ

Klíčová slova: věžový vodojem — nerealizovaný návrh — projekt

SOUHRN

Předložený příspěvek uvádí několik případů nerealizovaných projektů věžových vodojemů na území České republiky. Zabývá se technickým řešením neuskutečněných objektů a zároveň uvádí, jaké důvody vedly projektanty, úřední orgány nebo investory k hledání jiného řešení. V závěru se snaží stručně zamyslet nad hodnotami, které byly realizací nových projektů místo původně navržených získány, či naopak ztraceny.

ÚVOD

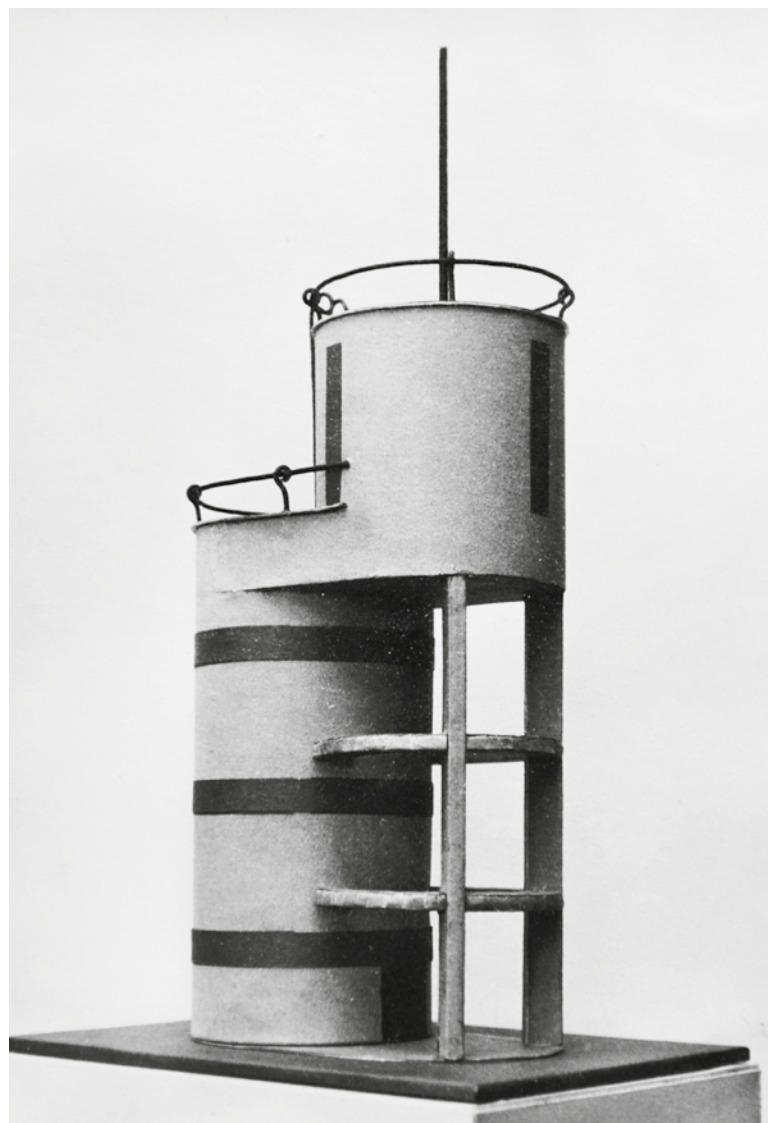
Součástí většiny vodovodních systémů bývá vodojem – buď zemní, nebo věžový. Při projektových přípravách a řešení otázky technického i vizuálního návrhu samotného objektu vodojemu vznikly v některých případech varianty, které z určitých důvodů nebyly nakonec realizovány. Některé z těchto případů jsou dále podrobněji popsány včetně uvedení důvodů, proč se původní projektový návrh neuskutečnil.

Ke změnám v projektových dokumentacích samozřejmě často docházelo během úředního schvalovacího procesu nebo i v průběhu výstavby vodovodu/vodojemu. Jednalo se však zpravidla o drobnější úpravy, které mohly z různých důvodů v průběhu výstavby vyplynout a jejich realizaci nedošlo k významné změně ve vzhledu nebo funkčnosti objektu. Tyto případy nejsou v příspěvku uvažovány jako nerealizované. Přesto uvádíme jeden zajímavý případ, kdy zdánlivě malá změna v průběhu stavby měla zásadní dopad na autorství architektonického návrhu.

INFORMAČNÍ ZDROJE

Hlavním zdrojem potřebných informací k nalezení nerealizovaných projektů věžových vodojemů a vysvětlení příčin jejich neuskutečnění jsou v první řadě dostupné fondy státních a soukromých archivů. U níže představených projektů jsou to zejména fondy měst a obcí, fondy okresních úřadů a fondy uložené v Archivu Národního technického muzea v Praze.

Dalšími zdroji informací jsou dobové literární zdroje a osobní průzkumy objektů, které byly místo původně navržených realizovány. Jako doplňkový zdroj informací pak slouží paměti a vzpomínky osob.



Obr. 1. Původní návrh věžového vodojemu architekta Vojtěcha Vanického pro seřaďovací nádraží [3]

Fig. 1. The original design of the elevated water tank by the architect Vojtěch Vanický for the marshalling yard [3]

PŘÍKLADY NEREALIZOVANÝCH PROJEKTŮ

Rybník – seřadovací nádraží Česká Třebová

Návrh projektu na výstavbu nového seřadovacího a topírenského nádraží v České Třebové (část seřadovacího nádraží leží na katastrálním území obce Rybník) pochází z července 1929. Protože bylo nutno zajistit nové zdroje vody pro provoz nádraží, vypracovala firma Ing. Bohumil Belada, úředně autorizovaný civilní inženýr stavební z Prahy na základě zadávacího listu Ředitelství státních drah Praha-Jih ze dne 29. srpna 1929 detailní návrh nového vodovodu ze dvou vodních zdrojů – pitná voda se přiváděla z pramene Vrbovky, voda užitková z řeky Třebovky. Součástí nového vodovodu byl věžový vodojem pro dvě nádrže, který architektonicky navrhl profesor první státní průmyslové školy v Plzni architekt Vojtěch Vanický. Jeho první návrh se datuje k červenci roku 1930.

Železobetonová nádrž s vypouklým dnem (15 metrů nad okolním terénem) na užitkovou vodu měla být nesena čtveřicí železobetonových pilířů. Konstrukce pod nádrží měla být vyzděna a měla tvořit uzavřený válec (systém stěnový). Druhá, výše položená nádrž s rovným dnem na vodu pitnou, měla mít dva nosné pilíře společné se spodní nádrží, dva další pilíře pak měly být realizovány jako otevřená konstrukce (systém skeletový). Střechy nad oběma nádržemi měly mít terasy se zábradlím (ve výšce 22 a 28 metrů) vzájemně spojené žebříkem (obr. 1).

Ředitelství státních drah Praha-Jih však požadovalo přepracování projektu: „Veškeré pozemní stavby budtež vyřešeny způsobem nejjednodušším a nejúčelnějším. Architektonické řešení musí vyplývat z konstrukce. Excentrické umístění nádrže pitné vody nad nádrží vody užitkové nezvyšuje nikterak účelnost řešení a bylo by značně drahé.“ Upustit se rovněž mělo od torkretování (řešení izolace stěn objektu), provedení oken po celém obvodu vodojemu a železobetonová schodiště byla změněna na ocelová. Přepracování projektu provedla opět firma inženýra Belady v průběhu roku 1931 [1].

Realizovaný návrh věžového vodojemu je řešen jako válcová stavba s šesticí nosných železobetonových pilířů nesoucích nádrže nad sebou (obr. 2). Konstrukce je vyzděna neomítanými dutými cihlami, výška celého objektu odpovídá výšce původního návrhu, vnější průměr válce činí 9,5 metru. Nádrž na užitkovou vodu má objem 150 m³, nádrž na vodu pitnou 100 m³. Stavební části zdejších vodárenských objektů provedly pražské firmy B. Brát a Ing. Kdoul & Dr. Pittl, strojní vybavení dodaly firmy Královopolská továrna na stroje, Brown-Boveri, a. s., Brno, Lanna, a. s., Praha a Sulz a Pech Praha [2].

Nový Hradec Králové

Ve třicátých letech 20. století řešil městys Nový Hradec Králové výstavbu vodovodu. Projekt vypracovaný firmou Ing. Dr. František Uher z Pečků počítal s objektem věžového vodojemu železobetonové nosné konstrukce (kombinace systému stěnového a skeletového) umístěném na Kopci Sv. Jana (katastrální území Třebeš). Konstrukci měly tvořit čtyři pilíře ukotvené do základové desky nesoucí ve výšce 24 metrů nad terénem nádrže objemu 320 m³. Středem celého objektu měl vést dřík se schodištěm a potrubím, který byl ukončen až na střeše vodojemu. Ze schodiště se ve třech výškových úrovních (5, 11 a 17 metrů nad terénem) přistupovalo na venkovní ochozy. Vodojem byl umístěn na místě bývalého kostela a zároveň na místě, odkud se měl stát významnou pohledovou dominantou širokého okolí – a tyto skutečnosti byly pro jeho konečný vzhled zásadní.

Proto při vodoprávní komisi v roce 1935 bylo dohodnuto, že architektonický návrh věžového vodojemu bude předložen také městské radě Hradce Králové. Ta o vyjádření požádala osvětovou a uměleckou komisi, jejíž stanovisko znělo: „Budiž předložen nový návrh odpovídající následujícím požadavkům...režné zdivo budiž červené, reservoir a nátery oken a mřížoví v barvě šedozelené. Tvar vlastního



Obr. 2. Realizovaný věžový vodojem pro seřadovací nádraží (2012)

Fig. 2. Implemented elevated water tank for marshalling yard (2012)

reservoiru připomínějí svoji silhouetou formu kalichovitou, ochozový balkon pod reservoirem budiž vyřešen úměrně vzhledem k žádanému tvaru vlastního reservoiru.“

Objekt tak zásadně změnil svůj původní vzhled, změny doznala i konstrukce (obr. 3). Úpravu provedla firma, která vodojem také vystavěla – Václav a František Capoušek, stavitelství Hradec Králové (na stavbě vodovodu se dále podílely firmy Josef Drahoš, stavební inženýrství a stavitelství ve Vysokém Mýtě a Ing. K. Krix, úředně autorizovaný civilní inženýr v Litomyšli). A změnu ocenil také tisk, konkrétně Lidové noviny: „Vodárenská věž pomníkem a rozhlednou. Nový Hradec Králové staví právě vodovod, jehož voda se bude čerpat výtlačným potrubím na vodárenskou věž na kopci sv. Jana. Věž bude však dána zevní podoba kalicha na paměť toho, že původní kostel na tomto vrchu byl zasvěcen památce kostnických mučedníků Mistra Jana Husa a Jeronýma Pražského.“ [4].

Nosnou část válcového díku realizovaného vodojemu tvoří cihelné neomítané zdivo, pod prostorem akumulace se nachází vyhlídková plošina. Prostor akumulace připomínající zmíněný kalich je hladce omítnut a nese tři horizontální pásy. Objem nádrže nově navrženého vodojemu zůstal zachován, celková výška po vrchol lucerny je 38,5 metru [5].

Bělá pod Bezdězem

Projekt skupinového vodovodu pro město Bělou pod Bezdězem s osadami Podolí, Vazačka a Přední a Zadní Hlínoviště vypracovala významná česká vodárenská firma Ing. Jaroslav Matička z Prahy-Karlína. V projektu, který byl



Obr. 3. Věžový vodojem pro Nový Hradec Králové (2015)

Fig. 3. Elevated water tank for Nový Hradec Králové (2015)

zástupcům města předán v polovině roku 1924, bylo počítáno s jedním věžovým vodojemem v místě nového sídliště rodinných domků v západní části Bělé. Vodojem svým vzhledem odpovídal tehdejšími Matičkovým návrhům v historizujícím stylu (obr. 4). Stavitel vodovodu Juránek jej označil za archaický a přesvědčoval městské zastupitele, aby se podoba vodojemu změnila a ten „odpovídal době výstavby, místu a na pozadí Bezdězu byl dominantou města“. Jeho slova byla vyslyšena a novou funkcionalistickou podobu objektu vtiskl významný český architekt František Janda, žák dalšího významného českého architekta Jana Kotěry [6]. A jak uvádí dobová zpráva, změna to byla pozitivní: „Silhueta její přispívá svým tvarem celkovému pohledu na město Bělou, kde v pozadí jsou oba kužele Velkého a Malého Bezděze, svým vhodným profilem – to u věží nově stavěných stává se velmi zřídka.“

Nosná konstrukce věžového vodojemu je železobetonová s výplňovým režným zdívkem (obr. 5). Objekt je pohledově po výšce rozdělen na čtyři části – přízemní část se zastřešeným ochozem (součástí projektu bylo také vybudování parku v okolí vodojemu a zastřešení mělo sloužit návštěvníkům parku v případě deštivého počasí), válcový dík se šesticí nosných polopilířů, prostor akumulace s nádrží objemu 160 m³ a jehlanovou střechu se čtveřicí vikýřů.

Součástí celého systému se stal také věžový vodojem v Hlínovišti, původně navržený jako „nadzemní“. Přezkoušením celého projektu technickou komisí zemědělské rady však bylo konstatováno, že vhodnější bude postavit vodojem věžový. I ten byl navržen architektem Jandou.

Vodojem v Bělé již neslouží od roku 1967 k akumulaci vody, v přízemní části je však stále v provozu přečerpávací stanice. Vodojem v Hlínovišti je v provozu stále [7–9].



Obr. 4. Matičkův nerealizovaný návrh věžového vodojemu v Bělé pod Bezdězem [9]

Fig. 4. Matička's unrealized design of the elevated water tank in Bělá pod Bezdězem [9]

Poděbrady

Architekt František Janda není podepsán pouze pod věžovými vodojemy v Bělé pod Bezdězem. Podle jeho návrhů byla na našem území postavena celá řada těchto objektů, jeden z nich se nachází v Poděbradech [10].

Na počátku dvacátých let 20. století začalo město Poděbrady řešit nedobrou situaci se zásobováním pitnou vodou. Z dopisu Lázní Poděbrady adresovaného dne 31. srpna 1921 městské radě vyplývá, že Poděbrady v té době neměly v rámci vodovodu žádný vodojem (v nočních hodinách, když se voda do trubic sítě nečerpala, tak byly Poděbrady prakticky bez vody). Proto město v roce 1924 po úspěšných sondovacích a čerpacích pokusech oslovilo vodárenské firmy s nabídkou vypracovat detailní projekt vodovodu. Nakonec byl vybrán projekt další významné vodárenské osobnosti u nás, profesora ČVUT v Praze Jana Vladimíra Hráského. A jelikož městská rada požadovala věnovat zvýšenou pozornost vzhledu věžového vodojemu, oslovila architekta Františka Jandu, který již dříve s městem úzce spolupracoval.



Obr. 5. Věžový vodojem podle návrhu architekta Františka Jandy (2019)
Fig. 5. Elevated water tank designed by architect František Janda (2019)

Původní Hráského návrh samotné železobetonové nádrže vodojemu byl revoluční – ta měla být kulová, resp. mělo se jednat o dvě soustředné kulové nádrže [11]. Technická kancelář rady zemědělské pro Čechy dne 25. listopadu 1926 tento návrh sice uznala jako vhodný, když napsala že: „koule jest bezesporu nejúspornější nádoba a také její statický výpočet nemůže působiti potíže“. Zároveň však následně dodává: „Jinak však jest s prováděním, uvážíme-li, že nutno vybedniti, železnou armaturou přesně opatřiti a betonem vydusati ve výši 30 až 40 metrů nad zemí dvě soustředné železobetonové koule nádrže o průměrech 10 a 13 metrů. Není pochyb, že by se při známé dovednosti našich tesařských mistrů vybednění podařilo, leč ostatní práce – uložení armatur a vybetonování nepropustných tenkých stěn – jsou velmi těžko proveditelné, ač-li by se na tuto práci vůbec našla firma, která by chtěla vzít záruku.“ [12].

Muselo tak dojít k přepracování projektu věžového vodojemu do dnešní podoby s válcovou nádrží. Architektonických návrhů vypracoval Janda několik (obr. 6).

Práce na téměř 44 metrů vysokém vodojemu započaly v dubnu 1929, téhož roku byl objekt dokončen. Přízemní část je pro Jandu typicky řešena se zastřešenou kolonádou (vodojem je podobně jako Bělský opět umístěn v parku), obvodová zídka kolonády nese žlaby pro okrasné květiny (a jak dokládají dobové snímky, skutečně v nich byly umístěny). Nosná konstrukce objektu je zděná z cihel, železobetonová nádrž má objem 400 m³ (obr. 7).

Profesor Hráský však myšlenku kulové nádrže neopustil. Pokusil se tuto nádrž prosadit také při projektování vodovodu pro město Kolín. Ani zde však neuspěl a tak se na doporučení Zemského úřadu z roku 1929 provedla opět železobetonová nádrž válcového tvaru [13].



Obr. 6. Dochované vybrané nerealizované návrhy Františka Jandy věžového vodojemu v Poděbradech [14]

Fig. 6. Preserved selected unrealized designs of František Janda elevated water tank in Poděbrady [14]



Obr. 7. Poděbrady na pozadí věžového vodojemu (Ondřej Cívín, 2018)

Fig. 7. Poděbrady on the background of the elevated water tank (Ondřej Cívín, 2018)

Zamachy a Bílá Hlína

Z roku 1908 pochází projekt firmy Pekař a Vačkař, první česká továrna na pumpy a vodovody z Prahy-Karlína na stavbu vodovodu pro obec Zamachy a osadu Syslov. Stavební rozpočet akce byl stanoven na téměř 55 tis. Kč, čímž přesahoval možnosti této malé obce (Zamachy společně s Osadou Syslov měly v té době 230 obyvatel). Zemskou a státní subvenci se získat nepodařilo, takže projekt se nakonec nerealizoval.

Jeho součástí měl být malebný věžový vodojem (obr. 8). Nosná zděná část kruhového půdorysu nesla ocelovou nádrž ze „štýrského plechu“ o obsahu 30 m³ uloženou na železobetonovém stropě 10 metrů nad okolním terénem. Stěny kolem prostoru akumulace byly navrženy z 15 centimetrů tlustého hrázďeného zdiva, půdorys byl osmiboký. Vstup k nádrži byl řešen točitým schodištěm uvnitř díku, neseným třemi železobetonovými podestami vetknutými do konstrukce díku.



Obr. 8. Nerealizovaný věžový vodojem firmy Pekař a Vačkař pro vodovod obce Zamachy [15]
Fig. 8. Unrealized elevated water tank of company Pekař and Vačkař for the water supply of the village Zamachy [15]

Vodovod se v obci nakonec realizoval, a to v roce 1913, kdy jej vystavěla firma Artesia. Věžový vodojem nahradil vodojem na nosné konstrukci výšky 2,2 metru. Jak se následně ukázalo, pro potřebné tlakové poměry v síti to byla výška nedostačující [15].

Ze stejné doby pochází projekt na vybudování vodovodu v Bílé Hlíně. Na zasedání osadního výboru 9. října 1907 řekl v zahajovacím projevu starosta Josef Švarc k donášení a dovážení vody, že „zlu tomuto dlužno konečně odpomoci“.



Obr. 9. Věžový vodojem v Týništi nad Orlicí s věžními hodinami (2012)
Fig. 9. Elevated water tank in Týniště nad Orlicí with tower clock (2012)

Projekt vypracovala firma Karel Kress z Prahy a 12 metrů vysoký věžový vodojem, který byl jeho součástí, navrhl celý z režného cihelného zdiva (vzhledově podobný věžový vodojem postavený v téže době firmou Kress se nachází v nedalekém Kovanci). Ocelová nádrž uložená na ocelových nosnících měla navržený objem 30 m³. Projekt se na konec nerealizoval, resp. k vybudování vodovodu došlo až ve třicátých letech 20. století se zcela jiným věžovým vodojem navrženým firmou Matička [16].

Týniště nad Orlicí

V úvodu příspěvku bylo uvedeno, že se v pojednání nebudeme zabývat drobnými změnami při realizaci objektů věžových vodojemů v průběhu úředního a stavebního procesu. Tyto změny zpravidla neměly významné dopady na samotnou stavbu. Přesto uvedeme jeden zajímavý příklad, kdy změna v průběhu výstavby oproti původnímu návrhu měla zásadní vliv na autorství stavby.

V letech 1925–1928 došlo v Týništi nad Orlicí k výstavbě nového vodovodu, jehož součástí byl věžový vodojem o objemu 200 m³ a výšce 35 metrů. Projekt vodovodu i věžového vodojemu zpracovala již dříve uvedená firma inženýra Matičky. Jeho návrh však nebyl realizován a opět dostal přednost architekt František Janda. V tomto případě však nepůjde o nerealizovaný návrh Matičky, ale právě o návrh Jandy.

Jak dokládají archiválie uložené v Archivu architektury a stavitelství Národního technického muzea v Praze, byl původní návrh týništského vodojemu bez věžních hodin [17]. Pořízení hodin do vrcholu věže napadlo představenstvo města

až v době výstavby vodojemu. Stavbyvedoucí byl natolik přesvědčen výborností tohoto nápadu, že bez projednání změny s projektantem nechal sám zalomit původně rovnou římsu kolem budoucích ciferníků (obr. 9). Když projektant věže viděl dílo stavbyvedoucího, zřekl se autorství návrhu objektu věžového vodojemu. Zdálnivá drobná změna v realizaci projektu tak měla poměrně zásadní dopad na pohled architekta vodojemu [18–21].

ZÁVĚR

Důvodů, proč bylo občas odstoupeno od původních návrhů projektů věžových vodojemů, bylo vícero. Pokud byl projekt dotčenými orgány nebo investorem shledán jako zbytečně stavebně náročný (což se v přímé souvislosti také projevovalo na nežádoucích vyšších finančních nákladech), byla hledána varianta konstrukčně jednodušší a levnější (drážní věžový vodojem Rybník). U některých konstrukčních řešení bylo shledáno, že riziko samotné realizace je velmi vysoké (Poděbrady a Kolín – kulová nádrž). Jelikož věžový vodojem, jakožto vertikální stavba, je často zdaleka viditelný, došlo v některých případech k přepracování projektu s cílem dosáhnout důstojnějšího vzhledu objektu ve vztahu k místu a době výstavby (Nový Hradec Králové, Bělá pod Bezdězem). Architekti také většinou zpracovali více návrhů, realizovat však bylo možno pouze jeden, takže celá řada studií zůstala pouze na výkresech (dochované návrhy architekta Františka Jandy pro Poděbrady). A podobně pak skončily také projekty, kdy k plánované výstavbě vodovodu nakonec z různých důvodů nedošlo (Zamachy, Bílá Hlína).

Posuzování hodnot, které mohly být změnou projektu věžového vodojemu ztraceny nebo naopak získány, je subjektivní. V případě drážního věžového vodojemu v Rybníku by původně navržená konstrukce dvou excentricky umístěných nádrží a kombinací stěnové a skeletové konstrukce byla rozhodně zajímavější, než nakonec realizovaný jednoduchý válec. Navíc by se z pohledu stavebního jednalo o ojedinělé řešení na našem území. V návrhu projektu vodovodu obce Zamachy, který se realizoval později a s jiným vodojemem, bylo rovněž původní řešení z estetického hlediska zajímavější. Naproti tomu odstoupení od původních návrhů v případě Nového Hradce Králové a Bělé pod Bezdězem lze považovat za správné a novým realizacím nelze nic vytknout. U Hráského kulové nádrže v Kolíně a v Poděbradech by sice mohla ve věžovém vodojemu na našem území vzniknout konstrukčně zcela ojedinělá nádrž, výhrady úředních orgánů však vycházely z tehdejších stavebních znalostí a zkušeností práce se železobetonem a uvedené obavy je nutno respektovat.

Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu Věžové vodojem – identifikace, dokumentace, prezentace, nové využití (Program na podporu aplikovaného výzkumu a vývoje NAKI II, Ministerstvo kultury ČR, kód DG18P02OVV010).

Literatura

- [1] Archiv Národního technického muzea, *Belada Bohumil, ing. 1890–1941*, karton 43, 93.
- [2] SOUČEK, F. Strojní zařízení nové výtopny v České Třebové. *Zprávy železničních inženýrů, odborný a stavovský list železničních inženýrů československých XII*, 1935, s. 78–79.
- [3] NTM, MAS, AA, f. 443 Belada, Česká Třebová – Projekt zásobení stanice ČSD, identifikátor 184/kt.093 (nerealizovaný návrh vodojemu).
- [4] Státní okresní archiv Hradec Králové, *Archiv města Hradec Králové 1225–1945*, karton 558, i. č. 2372. Ing. Bohuslav Drahoš, úředně autorizovaný civilní inženýr stavební a stavitel, *Vysoké Mýto 1861–1948*, karton 8, i. č. 47. *Okresní úřad Hradec Králové I 1850–1945*, karton 931, i. č. 1991.
- [5] Vodovody a kanalizace Hradec Králové, a. s. *Dokumentace skutečného stavu – věžový vodojem Nový Hradec Králové*. Vodojem se nachází na katastrálním území Třebeš, obec Hradec Králové, 2005.
- [6] VLČEK, P. *Encyklopedie architektů, stavitelů, zedníků a kameníků v Čechách*. Praha, 2004, s. 275.

- [7] PAVLÍK, O. *Stručná historie Mladoboleslavského vodárenství III*. Mladá Boleslav, 2006, s. 101–117.
- [8] PAVLÍK, O. *Věžové vodojem na Mladoboleslavsku*, Mladá Boleslav, 2012, s. 71–74.
- [9] ERNI, Č. Z historie vodáren: Vodovod v Bělé p. Bezdězem. *Plyn a voda IX*, číslo 1, 1929, s. 6–9.
- [10] Mezi další objekty postavené podle návrhů architekta Františka Jandy (a neuvedené v dalším textu příspěvku) patří například věžové vodojem v Jaroměři, Kouřimi, Pečkách nebo Bezdědicích.
- [11] Doposud se nepodařilo dohledat původní Hráského návrh kulové nádrže. Vycházíme tak pouze z dostupných textových archivních podkladů.
- [12] Státní okresní archiv Nymburk, *Archiv města Poděbrady*, i. č. 961.
- [13] Čech. *Dva důležité sociální podniky v Kolíně, 1. Městský vodovod*. In: Robert Marek, *Věstník odboru klubu čsl. turistů v Kolíně – Vlastivědný sborník středního Polabí*, Kolín, 1929, s. 134–137.
- [14] NTM, MAS, AA, f. 93 Janda, Vodojem v Poděbradech (1927), identifikátor 20080728/04, LHB-A 22.04.21 (návrh nerealizovaného vodojemu, varianta A); identifikátor 20080728/04, LHB-A 22.04.21 (návrh nerealizovaného vodojemu, varianta B).
- [15] PAVLÍK, O. *Stručná historie Mladoboleslavského vodárenství IV*. Mladá Boleslav, 2007, s. 100–107.
- [16] PAVLÍK, O. *Věžové vodojem na Mladoboleslavsku*, Mladá Boleslav, 2012, s. 78–80.
- [17] Archiv Národního technického muzea, *Janda František 1910–1935*, karton 93.
- [18] TOMAŠÍK, Š. *Vodárenská věž*. In: *Týniště známé i neznámé, sborníček Spolku přátel města Týniště nad Orlicí*. Týniště nad Orlicí, 2011.
- [19] KOLDINSKÝ, L. (ed.). *Týniště nad Orlicí – město v lesích, historie slovem a obrazem*. Týniště nad Orlicí, 2002.
- [20] KOLDINSKÝ, L. *Voda je život. Zpravodaj Spolku přátel města Týniště nad Orlicí*, č. 5, 2010 [online]. [vid. 5. září 2019]. Dostupné z: www.muzeum-tynistest.cz.
- [21] VALCHÁŘOVÁ, V. (ed.). *Industriální topografie/Královéhradecký kraj*, Praha 2012, s. 54.

Autoři

Ing. Robert Kořínek, Ph.D.

✉ robert.korinek@vuv.cz

Ing. Alena Kristová

✉ alena.kristova@vuv.cz

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

Příspěvek prošel lektorským řízením.

UNREALIZED TOWER WATER TANKS

KORINEK, R.; KRISTOVA, A.

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

Keywords: elevated water tank — unrealized design — project

This paper presents several cases of unrealized elevated water tank projects in the Czech Republic. It deals with the technical solution of unrealized objects and at the same time presents the reasons why the designers, official bodies or investors led to the search for another solution. In the end, it tries to reflect briefly on the values that were gained or lost by the implementation of new projects instead of the originally designed ones.

Vlastnosti uměle generovaných srážek využívaných pro studium eroze půdy

MARTIN NEUMANN, DAVID ZUMR, PETR KAVKA, TOMÁŠ LABURDA, LISBETH LOLK JOHANNSEN, NIVES ZAMBON, TOMÁŠ DOSTÁL, PETER STRAUSS, ANDREAS KLIK

Klíčová slova: disdrometr — kinetická energie deště — intenzita deště — dešťový simulátor — eroze půdy

SOUHRN

Vodní eroze půdy se běžně studuje v laboratořích, experimenty bývají založeny na uměle generovaných srážkách s využitím dešťových simulátorů. Typicky je vyhodnocován vliv různých faktorů, jako jsou intenzita nebo úhrn srážky, půdní charakteristiky, zpracování půdy, posklizňové zbytky nebo sklon a délka erozní plochy na erozi. Výsledky experimentů slouží pro lepší pochopení erozních procesů, odhad transportovaného sedimentu v krajině nebo kalibraci matematických simulačních modelů. Vzhledem k tomu, že eroze je iniciována dešťovou srážkou, je pro přenositelnost výsledků z laboratoře do krajiny zásadní, aby se simulovaná srážka co nejvíce blížila charakteristikám přírodních srážek. Intenzita deště se kontroluje poměrně snadno, ale klíčový dopad na erozní procesy má kinetická energie deště. Cílem tohoto příspěvku je komplexní vyhodnocení charakteristik simulovaného deště a porovnání jeho kinetické energie s energií přírodních srážek. Součástí výsledků je i porovnání několika běžně využívaných disdrometrů a diskuse využitelnosti disdrometrů pro charakterizaci simulovaných srážek.

Experiment byl proveden na laboratorním dešťovém simulátoru Fakulty stavební ČVUT v Praze. Kinetická energie deště o různých intenzitách byla monitorována pomocí disdrometrů LPM (Thies Clima), Parsivel (OTT) a PWS100 (Campbell Sci.), za referenční údaj intenzity srážky byla považována data z překlopného srážkoměru MR3 (Meteoservis). Intenzitu deště měří všechny testované disdrometry uspokojivě. Přístroje naměřily 106 % (LPM), 79 % (Parsivel) a 116 % (PWS100) hodnoty naměřené pomocí překlopného srážkoměru. V případě měření kinetické energie nebyla nastavena žádná referenční hodnota, ale přístroje byly porovnávány mezi sebou. LPM oproti ostatním dvěma přístrojům měří výrazně nižší kinetickou energii, jím naměřené hodnoty odpovídají v průměru 83 % hodnot naměřených Parsivalem, resp. 59 % hodnot naměřených PWS100. Nejvyšší hodnoty kinetické energie měřil PWS100. Klíčovým závěrem je, že přivalová srážka simulovaná laboratorním dešťovým simulátorem má značně nižší kinetickou energii než přírodní srážky o shodných intenzitách.

ÚVOD

Úhrn, doba trvání, intenzita, případně časový průběh jsou běžně monitorované parametry dešťových srážek. Nicméně pro mnoho vědecky i prakticky orientovaných studií jsou podstatné i další charakteristiky srážek. Například pro studium eroze půdy je klíčová kinetická energie dopadajících kapek, která rozhoduje o míře degradace půdních agregátů a prvotní mobilizaci půdních částic. Dalšími obory, pro které je účelné sledovat srážky podrobněji, jsou dálkový průzkum země, telekomunikace (útlum mikrovlnných spojů), radarová

meteorologie, městská odvodnění (větší kapky s vyšší kinetickou energií snadněji uvolňují z chodníků a střech polutanty, které mohou být dále transportovány do vodních recipientů nebo ČOV) a další [1].

Pro experimentální výzkum erozních procesů se často využívají uměle generované srážky s využitím laboratorních nebo terénních dešťových simulátorů. Cílem zadešťovacích experimentů je simulovat takový déšť, který má srovnatelné charakteristiky s přirozenou dešťovou srážkou. Obvykle je kontrolována intenzita deště, trvání deště (celkový srážkový úhrn), případně prostorová a časová rovnoměrnost postřiku. Je známý fakt, že trysky vytváří odlišné spektrum velikostí kapek, než má přírodní déšť [2], kapky z dešťových simulátorů jsou obvykle menší. Vzhledem ke konstrukci většiny terénních i laboratorních simulátorů zpravidla kapky nedosahují terminální pádové rychlosti odpovídající přírodnímu dešti. Uměle generovaný déšť má proto typicky nižší kinetickou energii než přírodní srážka se stejnou intenzitou a dobou trvání, a nutně tak vyvolává jiný erozní účinek [3, 4]. Kinetická energie uměle generovaného deště, která má fundamentální vliv na iniciační fázi eroze půdy, běžně během experimentů měřena není.

Typicky požadovanými parametry srážek jsou rozlišení hydrometeorů (déšť, sníh, kroupy, mlha atd.), distribuce velikostí a rychlostí kapek, kinetická energie deště nebo viditelnost. Většinu zmíněných parametrů lze pozorovat, měřit, případně vypočítat i bez složitého technického vybavení. Například distribuce velikostí kapek se historicky určovala pomocí testů s moukou [5], kdy byla po dopadu kapek do mouky manuálně měřena plocha jejich otisku. Obdobně bývaly dešťové kapky zachytávány do misky s olejem o specifické viskozitě a opět manuálně analyzovány. Díky své jednoduchosti je pro určité aplikace tato metoda občas využívána, byť v mírně modifikované formě, i v současnosti [6]. Pro analýzu delších časových řad a monitorování srážek v reálném čase však nejsou tyto metody vhodné.

Relativně moderní, byť už poměrně rozšířenou, technologií pro automatizované a komplexní monitorování srážek jsou disdrometry. Většinou se jedná o soběstačná bezúdržbová zařízení s kontinuálním záznamem počtu, efektivního průměru a pádové rychlosti jednotlivých frakcí dešťových kapek. Nejčastěji využívané disdrometry lze dělit podle principu měření na tři základní typy [7]: (i) elektromechanické disdrometry, které přímo měří kinetickou energii dopadajících kapek na podložku (měřeny jsou mechanické vibrace nebo akustická odezva); (ii) video disdrometry (1D nebo 2D), které pomocí vysokorychlostního CCD snímače zaznamenávají tvar a počet kapek, z čehož lze vypočítat efektivní průměr, pádovou rychlost, kinetickou energii i úhel dopadu dešťové kapky [8]; (iii) optické (typicky laserové) disdrometry, které měří útlum intenzity svazku rovnoběžných laserových paprsků vlivem propadávajících kapek. Na základě útlumu lze vypočítat počet, velikost a pádovou rychlost kapek.



Obr. 1. Disdrometry zleva: Thies LPM, PWS100, Parsivel

Fig. 1. Tested disdrometers (from left): Thies LPM, PWS100, Parsivel

Laserové disdrometry jsou schopny pracovat po dlouhou dobu téměř bez obsluhy, výstupní data lze zpracovávat téměř v reálném čase. Oproti překlopným srážkoměrům nevyžadují časté čištění ani kalibraci, což je předurčuje i pro monitorování intenzity deště. To, spolu s relativní finanční dostupností a spolehlivostí, laserové disdrometry předurčuje k masovému využívání nejen v meteorologii.

V literatuře lze dohledat výsledky experimentů a terénních monitorování, které mají za cíl porovnat disdrometry a standardizované metody na bázi překlopných srážkoměrů. Například porovnání elektromechanického disdrometru, radaru a optického disdrometru prováděli Sarkar a kol. [9]. Spolehlivost disdrometrů s ohledem na stanovení intenzity deště testovali Nakaya a kol. [10], Lanzinger a kol. [11], Martinez a kol. [12], typy srážek stanovovali Hannelore a kol. [13]. Pro výzkum a modelování eroze půdy je zásadní informace o kinetické energii kapek a její funkční závislosti na intenzitě deště. Přehled publikovaných vztahů mezi intenzitou přirozeného deště a kinetickou energií, odvozených s využitím disdrometrů, shrnuje Angulo-Martínez a kol. [14]. Vzhledem k dostupnosti disdrometrů přibývá literatury s podrobnými charakteristikami různých typů srážek, začínají být testovány i charakteristiky uměle generovaných srážek. Avšak komparativní studie výstupů disdrometrů od různých výrobců při monitorování přirozených srážek ukazuje systematicky odlišné výsledky [12]. To je dáno jak různými principem měření, tak rozdíly v konstrukčních a technologických detailech jednotlivých disdrometrů, jako jsou např. rozdílné detektory intenzity záření, různé vlnové délky laserových paprsků, různé úhly mezi detektory rozptýleného záření nebo jiný systém klasifikace velikosti kapek. Variabilita měřených charakteristik deště byla zjištěna dokonce i při použití stejného typu přístroje, jak ukazuje na srovnání pěti disdrometrů Thies LPM Frasson a kol. [15] nebo dvou disdrometrů PWS100 [16].

Ukazuje se, že během simulovaných srážek jsou často generovány kapky mimo detekční limity některých disdrometrů (malé kapky s vysokou rychlostí), různé přístroje tak měří různou kinetickou energii. Srovnávací studie, která by vyhodnocovala variabilitu měřených charakteristik simulovaných dešťů s využitím různých typů disdrometrů, dosud chybí. Cílem tohoto příspěvku je porovnání tří typů nejčastěji používaných optických laserových disdrometrů v podmínkách uměle generovaného deště. Druhým cílem příspěvku je porovnání měřené kinetické energie simulovaných srážek s vypočítanou kinetickou energií přirozených srážek.

METODIKA

V laboratorních podmínkách jsme uskutečnili sérii pokusů s uměle generovaným deštěm o různých intenzitách a opakovaně jsme měřili jeho charakteristiky pomocí tří, v praxi běžně používaných, disdrometrů. Výsledky měření

pomocí disdrometrů a referenčního překlopného srážkoměru jsme porovnali. Charakteristika simulovaného deště byla následně porovnána s teoretickými parametry přírodní srážky o shodné intenzitě. Kinetická energie přirozeného deště byla vypočítána podle v literatuře publikovaných vztahů.

MONITOROVÁNÍ CHARAKTERISTIK SIMULOVANÉHO DEŠTĚ

Pro monitorování charakteristik deště byly využity tři disdrometry, jako referenční měření byla intenzita deště měřena člunkovým překlopným srážkoměrem (měrná plocha 500 cm², rozlišení 0,1 mm). Všechny disdrometry jsou optické, laserového typu, měří a zaznamenávají efektivní průměr a pádovou rychlost dešťových kapek. Kapky jsou automaticky klasifikovány do několika velikostních a rychlostních tříd. Jednotlivé disdrometry (LPM Thies Clima, PWS100 Campbell Sci., Parsivel OTT) se od sebe liší vlnovou délkou laseru, měrnou plochou, rozsahem měřitelných velikostí a rychlostí kapek, počtem velikostních a rychlostních tříd (tj. rozlišením histogramů). Na obr. 1 jsou použité disdrometry znázorněny.

LPM – (LASER PRECIPITATION MONITOR)

Disdrometr Thies LPM je vyráběn v Německu firmou Thies Clima, konkrétní přístroj je distribuován pod označením 5.4110.10.000. Tento disdrometr je velmi často využíván zejména při monitorování laboratorních experimentů a ve výzkumu erozních procesů [17]. Důvody jeho častého využívání jsou relativně malá velikost, jednoduchost použití a interpretace výsledků a výrazně nižší pořizovací cena oproti ostatním disdrometrům.

Thies LPM využívá infračervený paralelní světelný paprsek o vlnové délce 786 nm, měřená plocha užitého přístroje je 44,1 cm². Přesná velikost měrné plochy se pro konkrétní přístroje liší a musí být upravena pomocí korekčního koeficientu od výrobce pro daný výrobek. Opomenutí korekce vede k chybné charakterizaci deště [15]. Rozsah měřitelných průměrů kapek je 0,16–8 mm a pádových rychlostí 0,2–20 m.s⁻¹. Podle velikosti jsou kapky tříděny do 34 kategorií, podle pádové rychlosti do 34 kategorií (1 156 kombinací průměru a rychlosti kapky). Rozsah měřitelné intenzity srážky udávaný výrobcem je 0,001–250 mm.h⁻¹. Vnitřní algoritmus disdrometru rozeznává typ srážky (vodní kapky, sníh, kroupy, mlha) [13]. Součástí disdrometru je software Thies LNM View, v jehož prostředí lze sledovat měřené veličiny, vizualizovat distribuční funkce velikostí a rychlostí kapek a vypočítat další parametry srážky (intenzita, průměrná velikost kapek, průměrná rychlost kapek, kinetická energie deště).

PWS100 – (PRESENT WEATHER SENSOR)

PWS100 je distribuován firmou Campbell Scientific (Velká Británie), standardně jako součást velkých meteorologických stanic. Optický disdrometr využívá paprsek v IR spektru o vlnové délce 830 nm, měřená oblast je 40 cm². Rozsah měřitelných průměrů kapek je 0,1–30 mm a pádových rychlostí 0,16–30 m.s⁻¹. Podle velikosti jsou kapky tříděny do 22 kategorií, podle pádové rychlosti do 20 kategorií (440 kombinací průměru a rychlosti kapky). Rozsah měřitelné intenzity srážky udávaná výrobcem je 0–999,9 mm.h⁻¹ s rozlišením 0,0001 mm. Data z disdrometru jsou zaznamenávána datalogerem a ukládána na SD kartu.

PARSIVEL

Parsivel je vyráběn společností OTT (Německo). V současnosti je v distribuci už druhá generace disdrometru pod označením Parsivel², která má mírně odlišné charakteristiky a v rámci této studie nebyla testována. Parsivel první generace využívá paprsek o vlnové délce 650 nm, monitorovaná plocha je 54 cm² (180 × 30 mm). Rozsah měřitelných průměrů kapek je 0,2–5 mm (pevné částice do 25 mm) a pádových rychlostí 0,2–20 m.s⁻¹. Podle velikosti jsou kapky tříděny do 32 kategorií, podle pádové rychlosti do 30 kategorií (1 024 kombinací průměru a rychlosti kapky). Rozsah měřitelné intenzity srážky udávaná výrobcem je 0,001–1 200 mm.h⁻¹. Obdobně jako Thies LPM byl Parsivel připojen k PC se spuštěným programem pro záznam a vyhodnocení charakteristik deště.

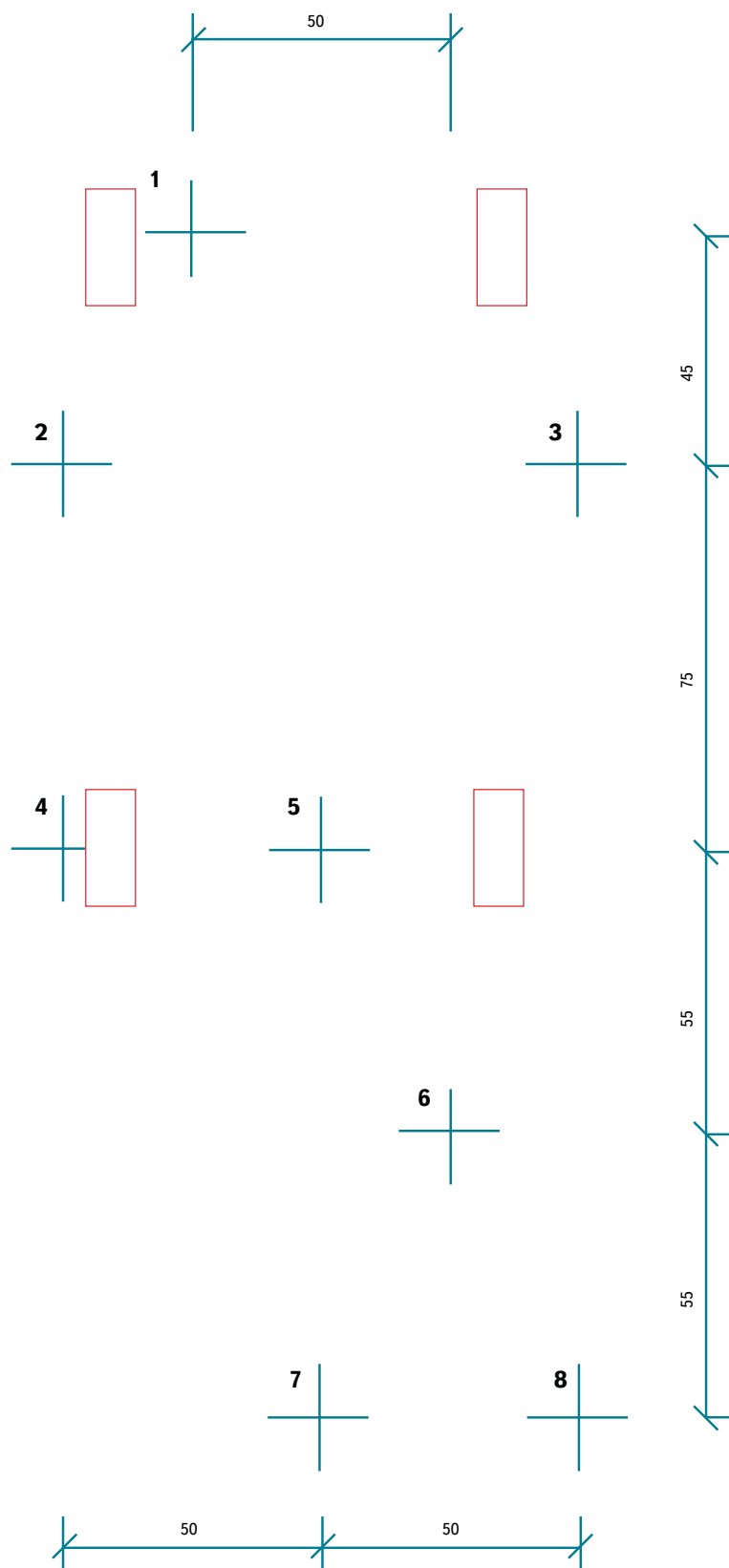
SIMULACE DEŠTĚ

Pro simulaci srážky byl použit laboratorní tryskový dešťový simulátor typu Norton Ladder, umístěný ve vodohospodářské laboratoři Fakulty stavební ČVUT v Praze [18]. Simulátor je osazen osmi kyvnými tryskami Veejet 80100 ve dvou řadách, které pracují při vodním tlaku 41 kPa [19]. Trysky jsou neustále otevřené, intenzita deště na ploše pod tryskami je regulována nastavením frekvence kyvů trysek a délkou prodlevy mezi jednotlivými kyvy. Pádová výška kapek je 2,6 m, simulátor je vhodný pro použití při intenzitě 20–80 mm.h⁻¹. Běžně užívaná experimentální plocha pro zadešťování má rozměr 1 × 4 m, teoreticky lze využít prostor o rozměrech přibližně 1,5 × 6 m.

Pro testování disdrometrů jsme využili skutečnosti, že rozložení intenzity srážky není v ploše pod tryskami simulátoru zcela rovnoměrné, na okrajích experimentální plochy má dešť nižší intenzitu, přímo pod tryskami vysokou intenzitu. Pod dešťovým simulátorem bylo vytipováno osm pozic s rozdílnou intenzitou simulovaného deště v rozmezí cca 20–80 mm.h⁻¹ (obr. 2). Na tyto pozice byly v průběhu simulované srážky opakovaně umísťovány testované disdrometry a srážkoměr tak, že vždy geometrický střed měrné oblasti konkrétního disdrometru byl nad stejným bodem. Disdrometry byly orientovány rovnoběžně s hlavním ramenem dešťového simulátoru. Mimo disdrometry a srážkoměru byly pro kontrolu na vytipovaných pozicích rozmístěny odměrné nádoby s definovanou sběrnou plochou (srážkový totalizátor).

Přemísťování jednotlivých disdrometrů a srážkoměru mezi vytipovanými pozicemi bylo prováděno bez přerušování simulace deště, aby nedocházelo k tlakovým rázům v systému simulátoru, a tak kolísání intenzity srážky. Všechny přístroje zaznamenávaly údaje v minutovém kroku, na každé pozici byly umístěny 30 minut. Pro vyhodnocení bylo využito monitorování ze středních 24 minut.

Kinetickou energii deště lze vztahovat na určitý časový úsek KE_R (J.m⁻².h⁻¹), nebo na určitý srážkový úhrn KE (J.m⁻².mm⁻¹). První případ obecně charakterizuje kinetickou energii konkrétní srážkové události, která mohla mít v čase proměnlivou intenzitu. Druhý případ charakterizuje typ srážky. Literatura uvádí (např. [20]), že samotná intenzita deště nemusí mít významný vliv na distribuci



Obr. 2. Rozložení disdrometrů s číselným označením pozice, červeně je naznačena pozice trysek

Fig. 2. The tested positions under the rainfall simulator, red rectangles represent the nozzles

velikostí kapek. Avšak distribuce velikostí kapek je odlišná pro různý typ nebo lokalitu srážky (např. konvektivní vs. stratiformní, nebo kontinentální vs. přímořská oblast). Pro porovnání disdrometrů jsme použili oba způsoby vyjádření kinetické energie.

Intenzita srážky a kinetická energie srážky pro každý minutový úsek byla vypočítána z měřené distribuce kapek a jejich rychlostí podle vztahů:

$$I = \left(\frac{\pi}{6} \right) \left(\frac{3,6}{10^3} \right) \left(\frac{1}{At} \right) \sum_{i=1}^x n_i D_i^3 \quad (1)$$

$$KE_R = \left(\frac{\pi}{12} \right) \left(\frac{1}{10^6} \right) \left(\frac{3600}{t} \right) \left(\frac{1}{A} \right) \sum_{i=1}^x n_i D_i^3 V_{D,i} \quad (2)$$

$$KE = \frac{KE_R}{I} \quad (3)$$

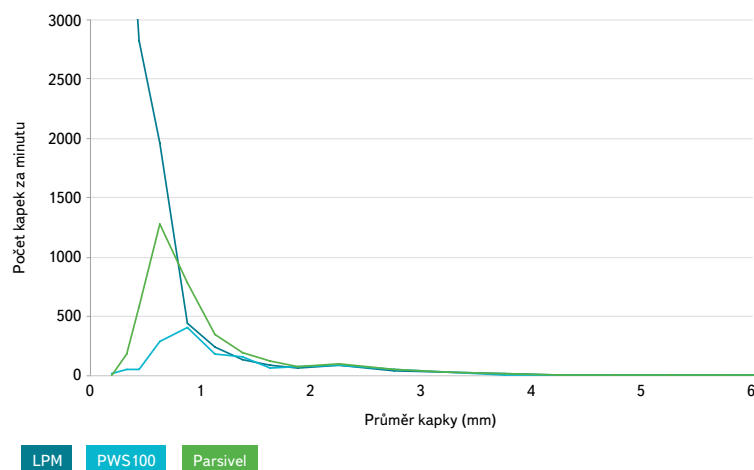
kde I je intenzita srážky (mm.h^{-1}),
 A měrná plocha laserového paprsku disdrometru (m^2),
 t doba sběru dat (s),
 KE kinetická energie ($\text{J.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$),
 KE_R kinetická energie ($\text{J.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$),
 N počet kapek v kategorii (-),
 D průměr kapky (mm),
 V_D rychlost kapky o průměru D (m.s^{-1}).

VÝSLEDKY

Průměrné hodnoty intenzity a kinetické energie na jednotlivých pozicích jsou uvedeny v tabulce 1 a znázorněny na obr. 4. Jde vždy o průměr z trojice osmi minutových intervalů (celkem 24 hodnot) měřených pomocí jednotlivých disdrometrů.

Tabulka 1. Průměrné hodnoty pro jednotlivé disdrometry na testovaných pozicích
 Table 1. Average values of the kinetic energy and rainfall intensity recorded at the tested positions

	LPM			Parsivel			PWS100			Srážkoměr
Pozice	Ekin	Ekin	Intenzita	Ekin	Ekin	Intenzita	Ekin	Ekin	Intenzita	Intenzita
	($\text{J.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$)	($\text{J.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$)	(mm.h^{-1})	($\text{J.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$)	($\text{J.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$)	(mm.h^{-1})	($\text{J.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$)	($\text{J.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$)	(mm.h^{-1})	(mm.h^{-1})
1	715	7,7	92	1 247	19,7	66	1 220	17,3	71	
2	804	11,3	71	1 107	17,8	62	1 298	17,5	74	69
3	451	9,6	47	649	16,6	40	833	16,3	51	
4	747	10,6	70	1 073	21,7	51	1 586	18,0	90	
5	1171	13,9	85	1 047	18,9	55	1 651	20,0	82	78
6	630	13,2	48	742	21,0	35	891	19,3	46	50
7	398	12,7	31	388	16,7	23	871	20,2	43	27
8	293	13,2	22	297	15,8	19	441	18,5	24	

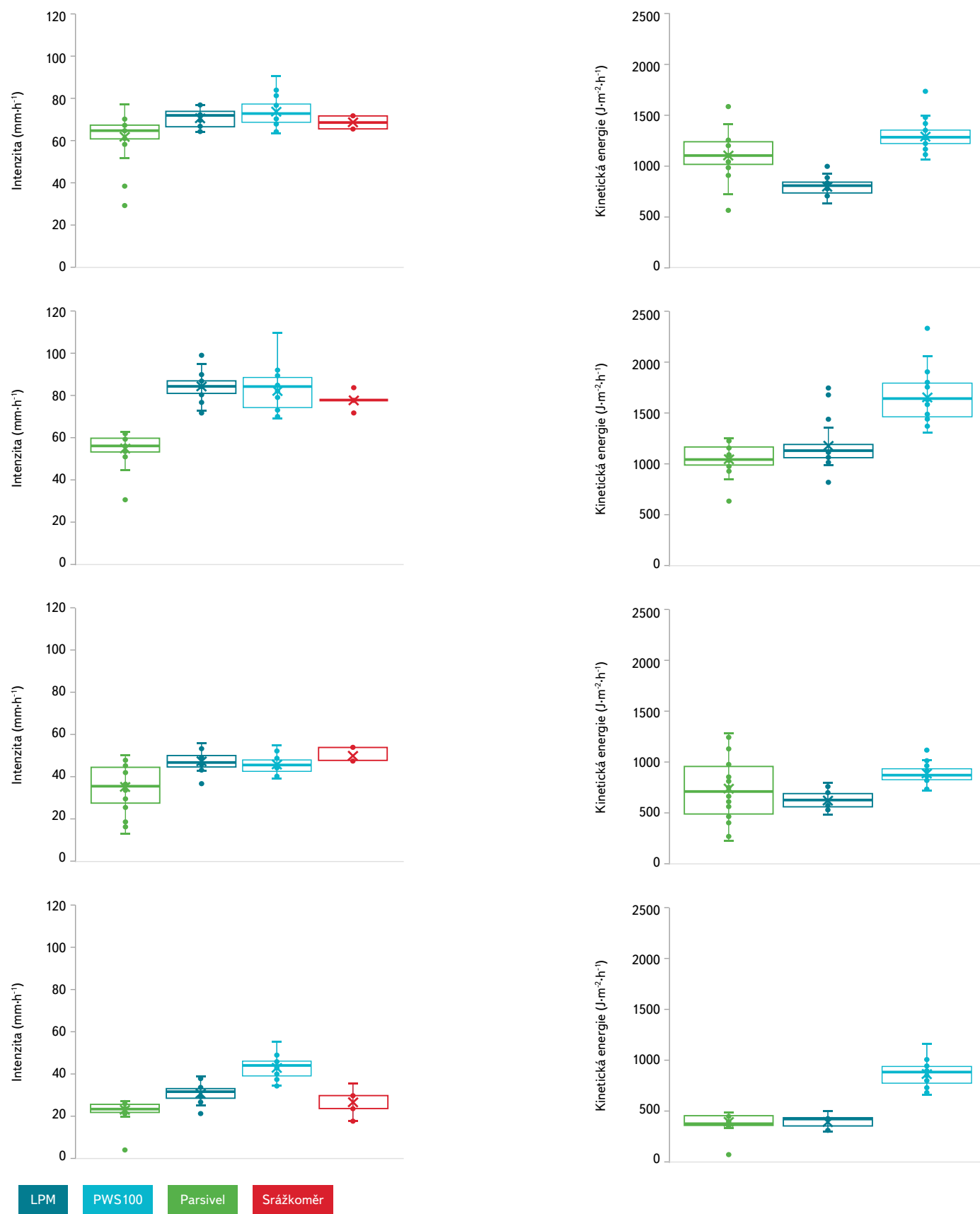


Obr. 3. Distribuce velikosti kapek při intenzitě 62 mm.h^{-1} zaznamenané jednotlivými disdrometry

Fig. 3. Drop size distribution at the rainfall intensity of 62 mm.h^{-1} as recorded by different disdrometers

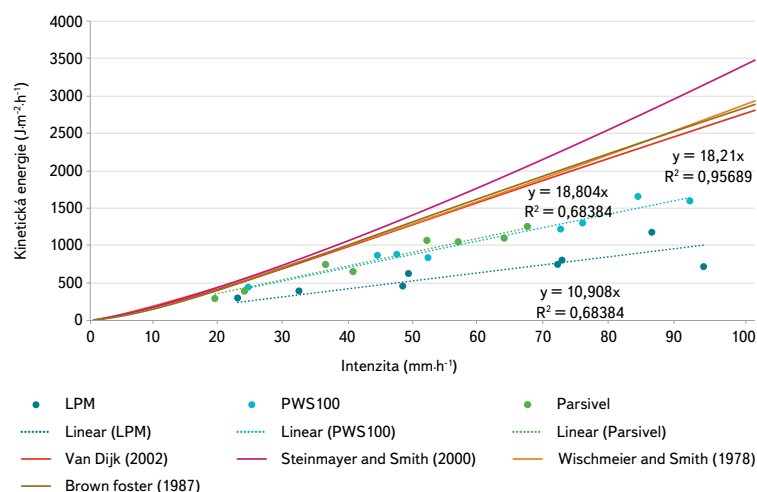
Jak bylo uvedeno, kinetická energie je dopočítávána z informací o množství a velikosti dešťových kapek. Z obr. 3 je patrné, že disdrometry detekují různé počty kapek, a to především těch malých. Thies LPM zaznamenává pro malé kategorie mnohem více kapek, než oba ostatní disdrometry. Pro kapky s efektivním průměrem pod $0,5 \text{ mm}$ dokonce minutová množství přesahují $5\,000$ mikrokapek. Pro hodnoty nad 1 mm jsou již počty kapek pro všechny disdrometry obdobné. Mírné rozdíly lze očekávat, protože každý disdrometr má jinou průletovou plochu a jinak uspořádané velikostní třídy. Avšak v relativním měřítku by distribuční funkce měly vypadat podobně.

Disdrometry se v praxi využívají zejména na monitorování intenzity deště. Z porovnání měření disdrometrů a srážkoměru na pozicích s různou intenzitou deště plyne, že testované přístroje udávají srovnatelné výsledky. Přístroje naměřily 106% (LPM), 78% (Parsivel) a 116% (PWS100), hodnoty naměřené pomocí překlopného srážkoměru. V případě měření kinetické energie nebyla nastavena žádná referenční hodnota, ale přístroje byly porovnávány mezi sebou.



Obr. 4. Měřené hodnoty intenzity (vlevo) a kinetické energie deště (vpravo) na vybraných testovaných pozicích pod dešťovým simulátorem

Fig. 4. Recorded rainfall intensity (left) and rainfall kinetic energy (right) on selected positions



Obr. 5. Závislost měřených hodnot kinetické energie a intenzity srážky; porovnání se čtyřmi publikovanými vztahy mezi intenzitou srážky a kinetickou energií

Fig. 5. Comparison of the observed and empirical relationships between rainfall kinetic energy and intensity

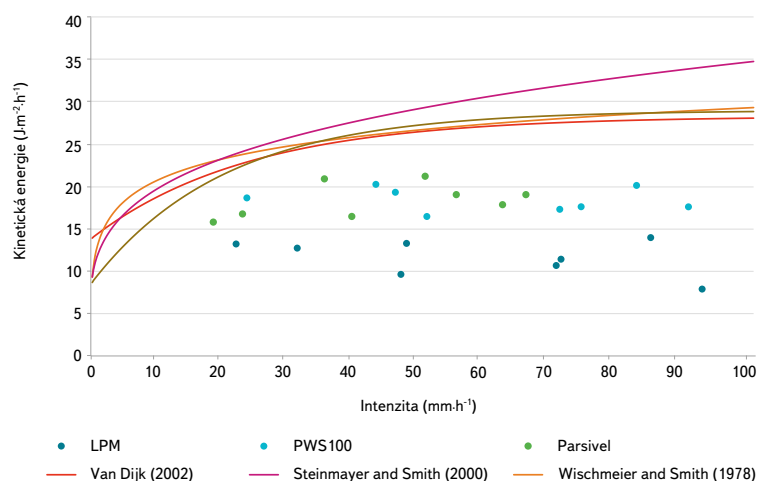
LPM oproti ostatním dvěma přístrojům měří výrazně nižší kinetickou energii, jím naměřené hodnoty odpovídají v průměru 83 % hodnot naměřených Parsivalem, resp. 59 % hodnot naměřených PWS100. Nejvyšší hodnoty měřil PWS100. Parsivel měřil průměrně 74 % hodnot naměřených pomocí PWS100 (obr. 4).

Na obr. 5 je vynesena závislost mezi intenzitou simulované srážky a měřenou kinetickou energií. Body na grafu vyjadřují průměrné měřené hodnoty zachycené třemi disdrometry. Data vykazují lineární závislost. Disdrometry Parsivel a PWS100 mají velice podobný trend se směrnici 18,804 a 18,21 a koeficienty determinace 0,955 a 0,957. LPM vykazuje také lineární závislost s koeficientem determinace 0,683, ale v porovnání s ostatními přístroji nižší směrnici 10,908. Oproti zbývajícím disdrometrům měří LPM výrazně nižší kinetickou energii, a to zejména při vysokých intenzitách.

Na grafu jsou vyneseny i teoretické závislosti mezi intenzitou přirozeného deště a kinetickou energií. Tyto empirické závislosti byly přejaty z literatury [21–24] a jsou běžně využívány pro odhad kinetické energie přirozeného deště i v podmínkách kontinentální Evropy (např. [25, 26]). Z porovnání plyne, že kinetická energie simulovaného deště je nižší než kinetická energie přirozených srážek. Stejná skutečnost je ještě zřetelnější při vynesení kinetické energie na milimetrový úhrn srážky (obr. 6). Zatímco kinetická energie přirozeného deště s intenzitou roste (kapky se zvětšují), v případě simulovaného deště je kinetická energie konstantní. Tedy s proměnlivou intenzitou simulovaného deště se nemění distribuce velikostí kapek ani jejich pádové rychlosti – což je dáno způsobem regulace intenzity deště pro kyvný dešťový simulátor pomocí frekvence kyvů trysek.

DISKUSE

Cílem práce je srovnání rozdílných disdrometrů a jejich schopnost monitorovat uměle generovanou srážku. Není překvapením, že ačkoliv testování probíhalo za pečlivě kontrolovaných podmínek, výsledky měření jednotlivých přístrojů se liší. V literatuře lze dohledat studie, které dokonce ukazují variabilitu měření i při použití stejných typů disdrometrů. Tapiador a kol. [27] monitorovali přírodní srážky pomocí 14 disdrometrů Parsivel umístěných na jedné lokalitě. Variabilita v měřených intenzitách jednotlivých disdrometrů dosahovala až 70 %, což, jak uvádí autoři, mohlo být dáno i prostorovou variabilitou deště, ale také systematickou odchylkou v měření jednotlivými přístroji. Testované



Obr. 6. Závislost kinetické energie přepočtené na milimetr srážky na intenzitě srážky; porovnání se čtyřmi publikovanými vztahy mezi intenzitou srážky a kinetickou energií

disdrometry vykazují velmi dobré výsledky při monitorování intenzity umělého deště. Odchyly oproti referenčnímu srážkoměru jsou srovnatelné s měřeními v terénu, kde jsou běžné rozdíly okolo 20 % [11].

Větší odchylky mezi přístroji, a tím i vyšší míra nejistoty jsou pozorovány při vyhodnocení kinetické energie deště. Zejména Thies LMP měří výrazně nižší kinetickou energii oproti ostatním přístrojům. Důvodem je pravděpodobně podhodnocená měřená pádová rychlost kapek, protože množství středních a velkých kapek je srovnatelné s ostatními disdrometry. Množství velmi malých kapek je dokonce násobně vyšší, nicméně nejmenší kapky mají na celkovou kinetickou energii minimální vliv. Měřené velké množství velmi malých kapek bylo pozorováno i v terénních aplikacích, jedno z nabízených vysvětlení spočívá v samotné konstrukci přístroje. Kapky se mohou od částí přístroje rozbíjet a odrážet před senzorem, který tak nezaznamenává pouze srážku, ale také uměle vznikající mikrokapičky [12].

Parsivel zaznamenává rychlosti kapek velmi blízké jejich terminálním pádovým rychlostem [28], měří nízký počet kapek s menším průměrem než 0,76 mm a naopak velký počet kapek větších než 2,4 mm. Stejně závěry, které mohou vést k nadhodnocení kinetické energie, přináší Angulo-Martínez a Tokay a kol. [29, 30].

Z testování v terénu vyplývá, že PWS100 měří mírně vyšší srážkový úhrn a dobře měří pádové rychlosti kapek [31]. Obdobný trend byl pozorován během našeho experimentu. I během uměle generované srážky PWS100 měřil vyšší intenzitu deště. Měřené pádové rychlosti byly nižší než terminální, ale to je dáno charakteristikou simulovaného deště, při kterém maximálních rychlostí není dosaženo.

Simulovaný dešť má znatelně nižší kinetickou energii než přírodní srážky o shodných intenzitách, k významné odchylce dochází od prahové intenzity přibližně 20 mm·h⁻¹ (obr. 6). Je nutné podotknout, že tento závěr platí jen pro dešťové simulátory s podobnou konstrukcí, jaká byla použita v této studii. Nicméně generování deště pomocí trysek situovaných poměrně blízko k půdnímu povrchu je v erozním výzkumu často používané [32, 33]. Proto je velmi důležité, aby výsledky erozních experimentů prováděných s využitím dešťových simulátorů byly dobře interpretovány. Nelze tvrdit, že simulovaná srážka vyvolá stejný erozní účinek jako přírodní srážka o stejné intenzitě, neboť kinetická energie simulovaného deště je významně nižší. Ke stejným závěrům dospěli také Petrů a Kalibová [34], kteří zdůrazňují nutnost kalibrace vztahu mezi intenzitou a kinetickou energií pro každý simulátor (typ trysky).

ZÁVĚR

Príspevek shrnuje výsledky experimentu s uměle generovaným deštěm o několika intenzitách, při kterém byly testovány a porovnávány tři nejčastěji používané disdrometry. Testované disdrometry byly poměrně spolehlivé při monitorování intenzity deště. Stanovená kinetická energie deště pomocí jednotlivých disdrometrů se však lišila. Zejména v erozních studiích nejčastěji používaný disdrometr Thies LPM měřil výrazně nižší kinetickou energii, jím naměřené hodnoty odpovídají v průměru 78 % hodnot naměřených Parsivelem, resp. 56 % hodnot naměřených PWS100.

Dešť generovaný pomocí tryskového simulátoru má významně nižší kinetickou energii než přirozený dešť o stejné intenzitě. Rozdíl v kinetické energii je významný pro srážky o intenzitě vyšší než 20 mm.h⁻¹, s rostoucí intenzitou rozdíl dále roste. Toto může znamenat, že experimentálně zjištěné parametry erozních procesů nelze, bez korekce, aplikovat v simulačních modelech erozních procesů v krajině.

Tyto závěry plynou z testování konkrétních disdrometrů na jednom tryskovém dešťovém simulátoru, nelze je proto zcela zobecňovat. Nicméně, konstrukce dešťového simulátoru, použité trysky i disdrometry jsou v erozních laboratořích běžně používány, závěry jsou tak relevantní pro významnou část odborné komunity.

Poděkování

Príspevek vznikl za podpory projektu GA17-33751L, FWF I 3049-N29 a SGS 161-1611791A143.

Literatura

- [1] KATHIRAVELU, G., LUCKE, T., and NICHOLS, P. Rain Drop Measurement Techniques: A Review. *Water* [online], 2016, vol. 8, No. 1, p. 29 [vid. 13. září 2018]. ISSN 2073-4441. Dostupné z: doi:10.3390/w8010029
- [2] GILMORE, W.T. *Comparison of rainfall energy and soil erosion parameters from a rainfall simulator and natural rain* [online]. B.m., 2007 [vid. 4. prosinec 2018]. University of Missouri – Columbia. Dostupné z: doi:10.32469/10355/5101
- [3] WANG, L., SHI, Z.H., WANG, J. et al. Rainfall kinetic energy controlling erosion processes and sediment sorting on steep hillslopes: A case study of clay loam soil from the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology* [online], 2014, vol. 512, p. 168–176 [vid. 16. červenec 2019]. ISSN 0022-1694. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhydrol.2014.02.066
- [4] MOUSSOUNI, A., MOUZAI, L., and BOUHADEF, M. *The Effect of Raindrop Kinetic Energy on Soil Erodibility* [online], 2015 [vid. 16. červenec 2019]. Dostupné z: doi:10.5281/ZENODO.1337717
- [5] MAZON, J. and VIÑAS, M. A low-cost experiment for determining raindrop size distribution. *Weather* [online], 2013, vol. 68, No. 2, p. 49–52 [vid. 13. září 2018]. ISSN 00431656. Dostupné z: doi:10.1002/wea.2064
- [6] DE LIMA, J.L.M.P., SILVA, V.P., DE LIMA, M.I.P. et al. Revisiting simple methods to estimate drop size distributions: a novel approach based on infrared thermography. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* [online], 2015, vol. 63, No. 3, p. 220–227 [vid. 13. září 2018]. ISSN 0042-790X. Dostupné z: doi:10.1515/johh-2015-0025
- [7] LIU, X.C., GAO, T.C., and LIUM, L. A comparison of rainfall measurements from multiple instruments. *Atmospheric Measurement Techniques* [online], 2013, vol. 6, No. 7, p. 1585–1595 [vid. 4. prosinec 2018]. ISSN 1867-8548. Dostupné z: doi:10.5194/amt-6-1585-2013
- [8] FIŠER, O., SCHÖNHUBER, M., and PEŠICE, P. First Results of DSD Measurement by Videodisrometer in the Czech Republic in 1998-1999. *Studia Geophysica et Geodaetica* [online], 2002, vol. 46, No. 3, p. 485–505. ISSN 1573-1626. Dostupné z: doi:10.1023/A:1019591002211
- [9] SARKAR, T., DAS, S., and MAITRA, A. Assessment of different raindrop size measuring techniques: Inter-comparison of Doppler radar, impact and optical disdrometer. *Atmospheric Research* [online], 2015, vol. 160, p. 15–27 [vid. 13. září 2018]. ISSN 0169-8095. Dostupné z: doi:10.1016/J.ATMOSRES.2015.03.001
- [10] NAKAYA, K. and TOYODA, Y. Comparison of the compact Doppler radar rain gauge and optical disdrometer. *Journal of Agricultural Meteorology* [online], 2011, p. 673.12 [vid. 13. září 2018]. ISSN 0021-8588. Dostupné z: doi:10.2480/agrmet.673.12
- [11] LANZINGER, E., THEEL, M., and WINDOLPH, H. Rainfall Amount and Intensity Measured by the Thies Laser Precipitation Monitor. In: *TECO-2006, Geneva, Switzerland, 2006*, p. 4–6.
- [12] ANGULO-MARTÍNEZ, M., BEGUERÍA, S., LATORRE, B. et al. Comparison of precipitation measurements by OTT Parsivel2 and Thies LPM optical disdrometers. *Hydrology and Earth System Sciences* [online], 2018, vol. 22, No. 5, p. 2811–2837 [vid. 13. září 2018]. ISSN 1607-7938. Dostupné z: doi:10.5194/hess-22-2811-2018

- [13] BLOEMINK, H.I. and LANZINGER, E. Precipitation type from the Thies disdrometer. In: *Proceedings of the WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation*, 2005, p. 4–7.
- [14] ANGULO-MARTÍNEZ, M., BEGUERÍA, S., and KYSELÝ, J. Use of disdrometer data to evaluate the relationship of rainfall kinetic energy and intensity (KE-I). *Science of the Total Environment* [online], 2016, vol. 568, p. 83–94. ISSN 18791026. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2016.05.223
- [15] FRASSON, R.P. de M., DA CUNHA, L.K., and KRAJEWSKI, W.F. Assessment of the Thies optical disdrometer performance. *Atmospheric Research* [online], 2011, vol. 101, No. 1–2, p. 237–255 [vid. 13. září 2018]. ISSN 0169-8095. Dostupné z: doi:10.1016/J.ATMOSRES.2011.02.014
- [16] JOHANNSEN, L., ZAMBON, N., STRAUSS, P. et al. Comparison of three types of laser optical disdrometers under natural rainfall conditions. *Hydrological Sciences Journal (podáno)*, 2019.
- [17] ISERLOH, T., FISTER, W., SEEGER, M. et al. A small portable rainfall simulator for reproducible experiments on soil erosion. *Soil and Tillage Research* [online], 2012, vol. 124, p. 131–137. ISSN 01671987. Dostupné z: doi:10.1016/j.still.2012.05.016
- [18] KAVKA, P. Developing of the laboratory rainfall simulator for testing the technical soil surface protection measures and droplets impact. In: *Proceedings of the XVII ECSMGE-2019*, 2019.
- [19] LABURDA, T. a kol. Využití laboratorního dešťového simulátoru ČVUT v dlouholetém výzkumu eroze půdy. In: *Sborník příspěvků ze semináře Adolfa Paterý 2014 na téma „Extrémní hydrologické jevy v povodích“* [online], 2014, s. 97–104. Dostupné z: doi:978-80-02-02574-0
- [20] BRINGI, V.N., CHANDRASEKAR, V., HUBBERT, J. et al. Raindrop Size Distribution in Different Climatic Regimes from Disdrometer and Dual-Polarized Radar Analysis. *Journal of the Atmospheric Sciences* [online], 2003, vol. 60, No. 2, p. 354–365. ISSN 0022-4928. Dostupné z: doi:10.1175/1520-0469(2003)060<0354:RSDIDC>2.0.CO;2
- [21] STEINER, M. and SMITH, J.A. Reflectivity, Rain Rate, and Kinetic Energy Flux Relationships Based on Raindrop Spectra. *Journal of Applied Meteorology* [online], 2000, vol. 39, No. 11, p. 1923–1940 [vid. 10. červenec 2019]. ISSN 0894-8763. Dostupné z: doi:10.1175/1520-0450(2000)039<1923:RRRAKE>2.0.CO;2
- [22] VAN DIJK, A.I.J., BRUIJNZEEL, L., and ROSEWELL, C. Rainfall intensity–kinetic energy relationships: a critical literature appraisal. *Journal of Hydrology* [online], 2002, vol. 261, No. 1–4, p. 1–23 [vid. 10. červenec 2019]. ISSN 0022-1694. Dostupné z: doi:10.1016/S0022-1694(02)00020-3
- [23] BROWN, L.C. and FOSTER, G.R. Storm erosivity using idealized intensity distributions. *Transactions of the ASAE, American Society of Agricultural Engineers* [online], 1987, vol. 30, No. 2, p. 379–386 [vid. 10. červenec 2019]. Dostupné z: https://eurekamag.com/research/001/690/001690998.php
- [24] WISCHMEIER, W.H. and SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning [USA]. *United States. Dept. of Agriculture. Agriculture handbook (USA)* [online], 1978 [vid. 14. listopad 2018]. Dostupné z: http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US7904839
- [25] ZUMR, D., JEŘÁBEK, J., KLÍPA, V. et al. Estimates of Tillage and Rainfall Effects on Unsaturated Hydraulic Conductivity in a Small Central European Agricultural Catchment. *Water* [online], 2019, vol. 11, No. 4, p. 740. ISSN 2073-4441. Dostupné z: doi:10.3390/w11040740
- [26] VERSTRAETEN, G., POESEN, J., DEMARÉE, G. et al. Long-term (105 years) variability in rain erosivity as derived from 10-min rainfall depth data for Ukkel (Brussels, Belgium): Implications for assessing soil erosion rates. *Journal of Geophysical Research* [online], 2006, vol. 111, No. D22, p. D22109. ISSN 0148-0227. Dostupné z: doi:10.1029/2006JD007169
- [27] TAPIADOR, F.J., CHECA, R., and DE CASTRO, M. An experiment to measure the spatial variability of rain drop size distribution using sixteen laser disdrometers. *Geophysical Research Letters* [online], 2010, vol. 37, No. 16 [vid. 13. září 2018]. ISSN 00948276. Dostupné z: doi:10.1029/2010GL044120
- [28] FOOTE, G.B., DU TOIT, P.S., FOOTE, G.B. et al. Terminal Velocity of Raindrops Aloft. *Journal of Applied Meteorology* [online], 1969, vol. 8, No. 2, p. 249–253 [vid. 10. červen 2019]. ISSN 0021-8952. Dostupné z: doi:10.1175/1520-0450(1969)008<0249:TVORA>2.0.CO;2
- [29] ANGULO-MARTÍNEZ, M. and BARROS, A. Measurement uncertainty in rainfall kinetic energy and intensity relationships for soil erosion studies: An evaluation using PARSIVEL disdrometers in the Southern Appalachian Mountains. *Geomorphology* [online], 2015, vol. 228, p. 28–40. Dostupné z: doi:10.1016/j.geomorph.2014.07.036
- [30] TOKAY, A., PETERSEN, W.A., GATLIN, P. et al. Comparison of Raindrop Size Distribution Measurements by Collocated Disdrometers. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* [online], 2013, vol. 30, No. 8, p. 1672–1690 [vid. 4. prosinec 2018]. ISSN 0739-0572. Dostupné z: doi:10.1175/JTECH-D-12-00163.1
- [31] MONTERO-MARTÍNEZ, G., TORRES-PÉREZ, E.F., and GARCÍA-GARCÍA, F. A comparison of two optical precipitation sensors with different operating principles: The PWS100 and the OAP-2DP. *Atmospheric Research* [online], 2016, vol. 178–179, p. 550–558 [vid. 12. září 2018]. ISSN 0169-8095. Dostupné z: doi:10.1016/J.ATMOSRES.2016.05.007
- [32] DOSTÁL, T., STRAUSS, P., SCHINDEWOLF, M. et al. Comparison of different types of medium scale field rainfall simulators. In: *EGU General Assembly 2015, held 12-17 April, 2015 in Vienna, Austria*, 2015.
- [33] POLYAKOV, V., STONE, J., HOLIFIELD COLLINS, C. et al. Rainfall simulation experiments in the southwestern USA using the Walnut Gulch Rainfall Simulator. *Earth System Science Data* [online], 2018, vol. 10, No. 1, p. 19–26. Dostupné z: doi:10.5194/essd-10-19-2018
- [34] PETRŮ, J. and KALIBOVÁ, J. Measurement and computation of kinetic energy of simulated rainfall in comparison with natural rainfall. *Soil and Water Research* [online], 2018, vol. 13, No. 4, p. 226–233. Dostupné z: doi:10.17221/218/2016-SWR

Autoři

Ing. Martin Neumann¹

✉ martin.neumann@fsv.cvut.cz

Ing. David Zumr, Ph.D.¹

✉ david.zumr@fsv.cvut.cz

Ing. Petr Kavka, Ph.D.¹

✉ petr.kavka@fsv.cvut.cz

Ing. Tomáš Laburda¹

✉ tomas.laburda@fsv.cvut.cz

MSc. Lisbeth Lolk Johannsen²

✉ lisbeth.johannsen@boku.ac.at

Mag. Nives Zambon²

✉ nives.balenovic@boku.ac.at

doc. Dr. Ing. Tomáš Dostál¹

✉ dostal@fsv.cvut.cz

Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Peter Strauss³

✉ peter.strauss@baw.at

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Andreas Klik²

✉ andreas.klik@boku.ac.at

¹České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební

²University of Natural Resources and Life Sciences,
Institute for Soil Physics and Rural Water Management, Rakousko

³Federal Agency for Water Management,
Institute for Land & Water Management Research, Rakousko

Příspěvek prošel lektorským řízením.

CHARACTERIZATION OF AN ARTIFICIALLY GENERATED RAINFALL USED FOR A SOIL EROSION RESEARCH

**NEUMANN, M.¹; ZUMR, D.¹; KAVKA, P.¹;
LABURDA, T.¹; JOHANNSEN, L.L.²; ZAMBON, N.²;
DOSTAL, T.¹; STRAUSS, P.³; KLIK, A.²**

¹Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering

²University of Natural Resources and Life Sciences,
Institute for Soil Physics and Rural Water Management, Austria

³Federal Agency for Water Management,
Institute for Land & Water Management Research, Austria

Keywords: disdrometer — rainfall kinetic energy —
rainfall intensity — rainfall simulator — soil erosion

A rainfall simulator is a common laboratory tool for soil erosion research. Typical objective of the rainfall experiments is the evaluation of various factors on soil erosion processes, such as the effect of rainfall intensity, rainfall duration, soil characteristics, soil management, crop residues on the soil surface, plot's slope and length. The results of the experiments are then upscaled to estimate the erosion processes in the landscape or they serve as the calibration data for the simulation models. Due to the fact that the soil erosion is initiated by the rainfall, it is crucial to keep the simulated rainfall characteristics as close as possible to the natural rainfall. Rainfall intensity is usually easy to control, but the rainfall kinetic energy is the driving force of the initial stage of the erosion. The aim of this study is to evaluate the simulated rainfall characteristics, incl. its drop size distribution and kinetic energy, and compare the simulated rainfall to the natural rainfall. Within a study we also compared three common disdrometers and we show limitation of the disdrometers to monitor the artificially generated rainfall.

The experiments were done with a use of nozzle type rainfall simulator. The rainfall characteristics were monitored by disdrometers LPM (Thies Clima), Parsivel (OTT) and PWS100 (Campbell Sci.), standard raingauge was used as a reference measurement for the intensity monitoring. The intensity, recorded with the disdrometers, was very similar to the rain gauge. In the average it measured 106% (LPM), 79% (Parsivel) and 116% (PWS100) of rain gauge value. There was a large difference between the disdrometers in the measured kinetic energy values. LPM significantly underestimated the kinetic energy compared to the other disdrometers it measured 83% of Parsivel value and 59% of PWS100 value. The highest values were measured with the PWS100. The key conclusion is, that a simulated rainfall with the intensity above 20 mm.h⁻¹, has significantly lower kinetic energy, compared to a natural rainfall with same intensity.

Expertní informační systém NAVAROSO

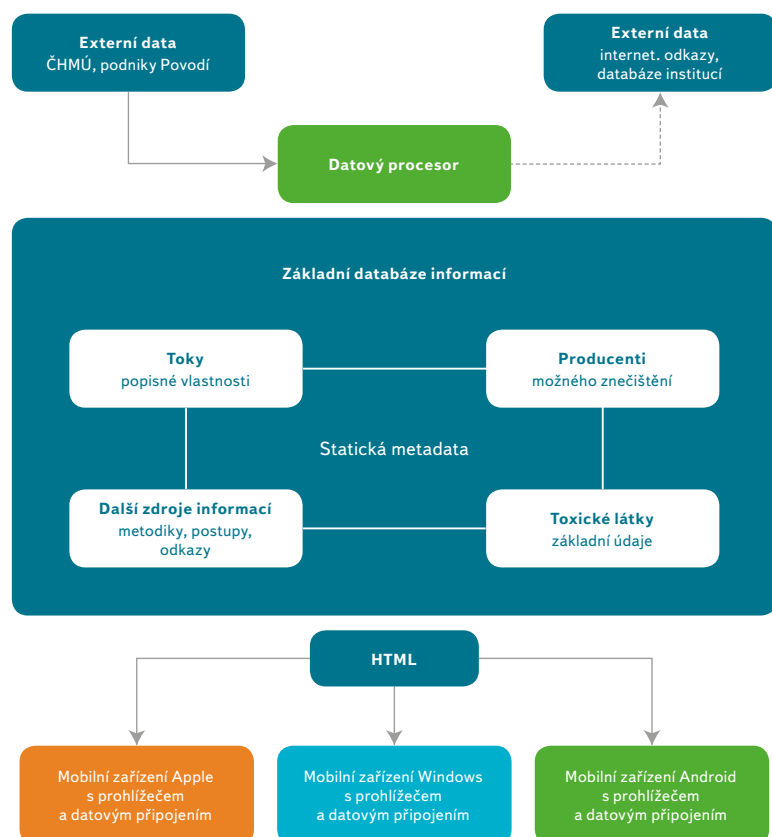
PŘEMYSL SOLDÁN, JAROSLAV ROČEK

Klíčová slova: havarijní znečištění – teroristické útoky na vodní zdroje – kriminální činnost zaměřená na vodní zdroje – expertní havarijní informační systém

SOUHRN

Příspěvek podává informaci o tvorbě expertního informačního systému NAVAROSO, budovaného pro potřeby složek aktivních při vzniku havarijní situace na vodách. Systém poskytuje křížově provázané údaje, potřebné pro rychlé získávání informací o možných příčinách zhoršení jakosti vod, postupech k určení typu znečištění a odhadu jeho šíření ve vodoteči. Tím umožní zefektivnit ochranu vod jak v oblasti mitigace negativních vlivů znečištění rychlejší detekcí jeho příčin, tak v prevenci možného znečišťování přesnější a rychleji dostupnou informací o jeho potenciálních zdrojích v povodí. V textu je stručně popsána jeho stavba, funkce, struktura informací, uložených v jeho databázi a také modul, umožňující výpočet chování znečištění v toku.

Návrh základních datových zdrojů pro expertní systém



Obr. 1. Základní datové zdroje pro expertní systém

Fig. 1. Basic data sources for expert system

ÚVOD

V důsledku provozních havárií dochází relativně často k menším či významnějším únikům toxického znečištění povrchových vod. Tato kontaminace recipientů může mít fatální následky pro jejich oživení. Tak tomu bylo v evropském měřítku například při haváriích v Sandozu v Basileji v roce 1986 [1, 2], v Baia Mare v roce 2000 [3, 4] nebo v Ajce v roce 2010 [5–7].

Současnou bezpečnostní situaci rovněž charakterizuje zvýšené riziko možného zneužití toxických látek pro teroristické či kriminální účely, a to včetně potenciálních útoků na zdroje vod. Danou situaci podrobně charakterizuje dokument Ministerstva životního prostředí ČR „Koncepte environmentální bezpečnosti 2016–2020 s výhledem do roku 2030“ v kapitole 3. Environmentální bezpečnost v ČR z hlediska zdrojů rizik antropogenního původu [8].



Obr. 2. Základní procesy při vyřizování požadavků na systém

Fig. 2. Basic processes in dealing with system requirements

V současné době tato rizika zvyšuje ještě další faktor. Tím jsou stále častěji se opakující období sucha, které má vliv na vodnost toků. Minimalizován je totiž možný zmírňující vliv naředění znečištění.

Příklady významných vodohospodářských havárií od roku 1964 uvádí na svých webových stránkách Česká inspekce životního prostředí [9]. Zde je například od roku 2010 uvedeno 24 havárií tohoto typu. I přes skutečnost, že k havarijnímu znečištění vod dochází relativně často, v České republice zatím neexistuje funkční a dostatečně efektivní systém včasného varování a následné detekce příčin mimořádných situací vyvolaných havarijním znečištěním vod.

SYSTÉM VČASNÉHO VAROVÁNÍ

Systém včasného varování by měl co nejcitlivěji reagovat na změnu jakosti vod, způsobenou havarijním znečištěním, teroristickou nebo kriminální činností.

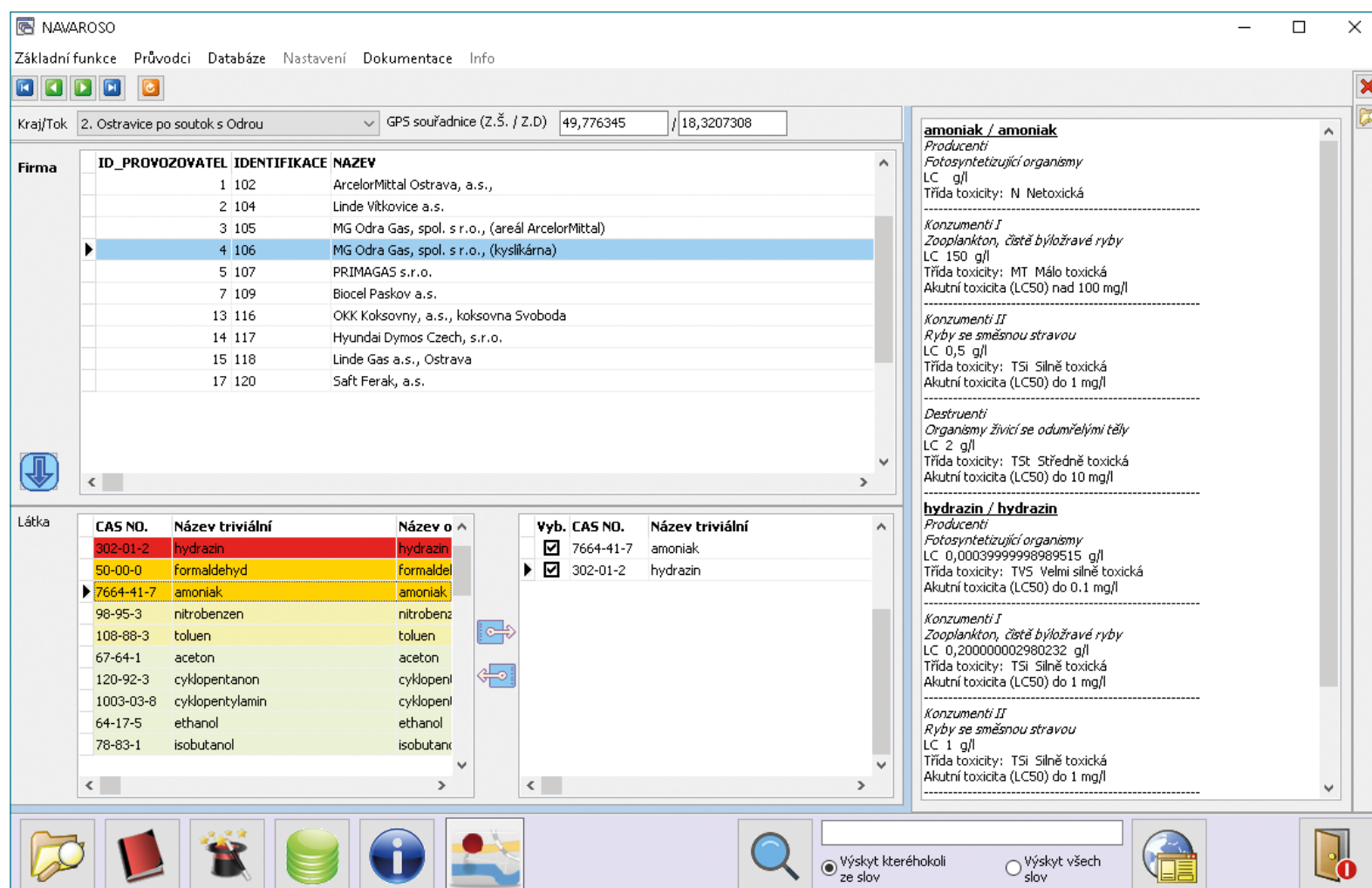
Mezinárodní strategie pro snižování rizika katastrof OSN definuje systém včasného varování jako sadu postupů potřebných pro generování a šíření včasných a užitečných varovných informací, které umožní jednotlivcům, komunitám a institucím, ohroženým nebezpečím, připravit se a náležitě jednat v čase, dostatečném k redukování možných škod a ztrát [10].

Problematické systému včasného varování v oblasti havarijního znečištění řek se věnovala řada autorů, výčet významnějších publikací je uveden v přehledu literatury [11–17].

Obsáhlý rozbor metod sledování a hodnocení kvality vod, včetně metod použitelných pro detekci případů havarijního znečištění podává studie, editovaná Chapmanovou [18].

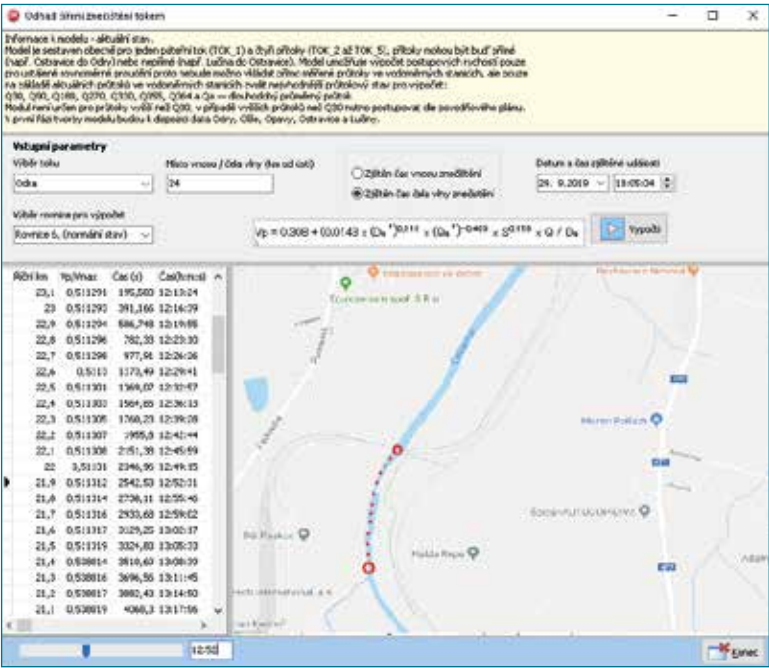
Přehled, zásady výstavby, provozování a hodnocení systémů včasného varování v různých částech životního prostředí (voda, půda, vzduch) a také v oblasti humanitárních katastrof podává ve své práci Quansah a kol. [19]. V obecném závěru této studie je konstatováno, že současná úroveň systémů včasného varování v oblasti náhlých změn kvality (tedy i pro havarijní znečištění) je nedokonalá a je vysoce žádoucí vytvořit plně integrované a vysoce efektivní systémy.

Dané závěry také platí pro Českou republiku. Naposledy byl tento fakt diskutován na mezinárodní úrovni v případě havarijního úniku kyanidů z Draslovky v Kolíně v roce 2006 [20]. Protože se jednalo o havárii s možným dopadem na povodí sousedícího státu, měla být neprodleně informována německá strana. Varovná informace však byla odeslána až s devítidenním zpožděním. Tato situace se dodnes výrazně nezlepšila. Lze konstatovat, že u nás zatím neexistuje funkční a dostatečně efektivní systém včasného varování pro případy mimořádných situací na vodách způsobených jejich znečištěním. Chybí podrobně propracovaná strategie postupu rychlé detekce účinků havárie na vodní ekosystémy i metodiky automatických a následných



Obr. 3. Printscreen příkladu křížového vyhledávání

Fig. 3. Printscreen of example of cross-search



Obr. 4. Šíření havarijního znečištění tokem
Fig. 4. Spreading of accidental pollution by flow

terénních analýz zaměřených na rychlé určení původce havarijního zhoršení stavu vod. Pro nápravu této nežádoucí situace byly navrženy dva výzkumné projekty, financované z grantů Technologické agentury České republiky – projekt Vývoj nástrojů včasného varování a reakce v oblasti ochrany povrchových vod (NAVARO), jehož hlavním výstupem byla Metodika postupu vyhledávání havarijních stavů na tocích [21], certifikovaná Ministerstvem životního prostředí, popisující nástroje rychlé detekce vzniku a příčin havárií, teroristických útoků či kriminální činnosti

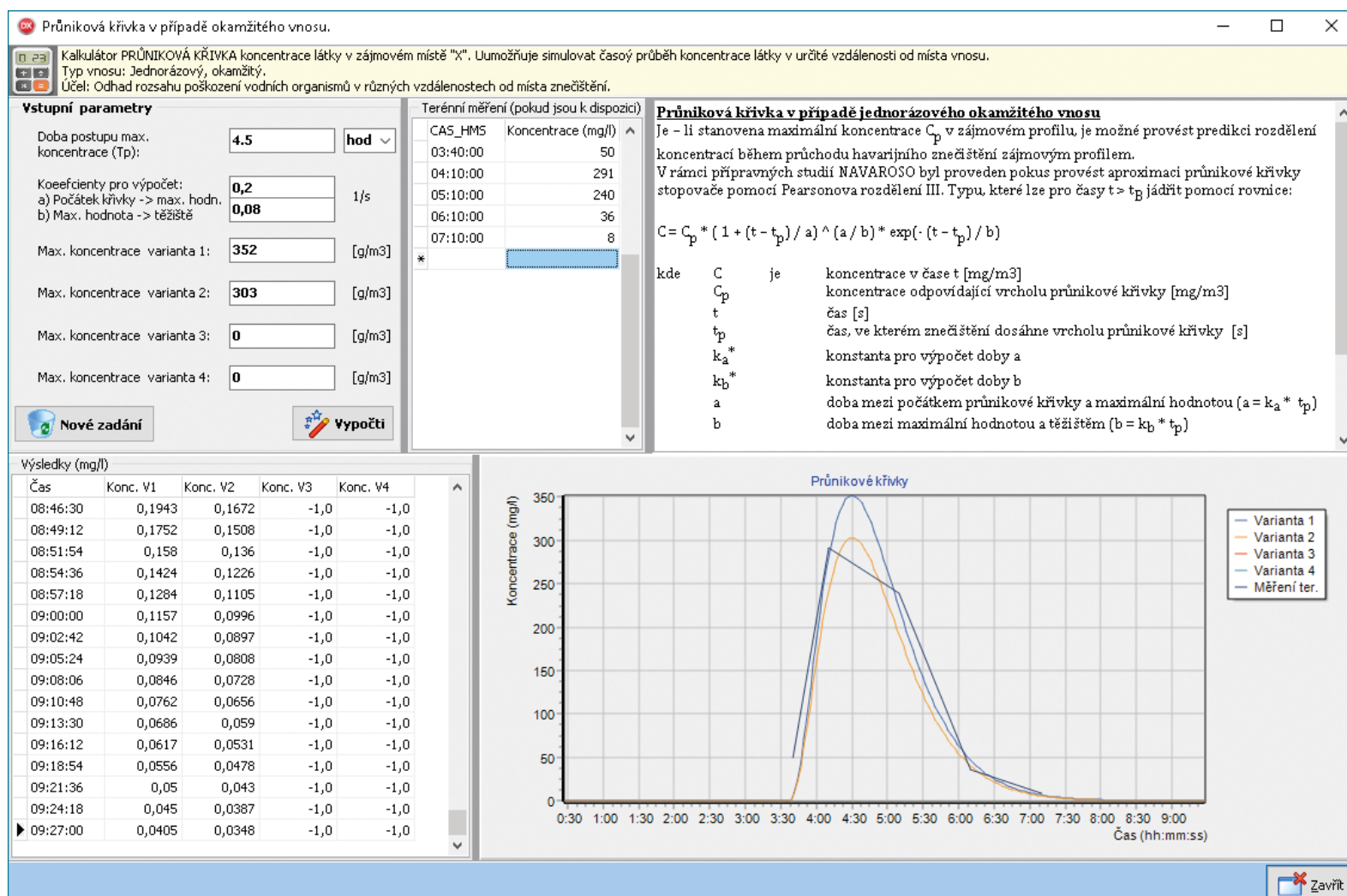
Tabulka 1. Základní požadavky na výstavbu krizových systémů reakce
Table 1. Basic requirements for the construction of crisis response systems

Požadovaná funkce	Zajištění požadované funkce
Efektivní sběr informací, analýza a prognóza (včetně monitorovacího systému)	Shromažďování dat z krizových systémů reakce, jejich analýza a porovnávání
Adresář složek, aktivních při řešení havarijní situace	Databáze dostupného personálního a materiálního vybavení
Účelově zaměřená informační základna	Právní a bezpečnostní předpisy a nařízení, kodifikace, odkazy a mapové podklady
Komunikační podpora	Síťový robustní a mobilní kanál pro bezpečnou komunikaci
Podpora rozhodovacího procesu	Expertní systém jako podpora rozhodovacího procesu
Podpora sledování reakce	Sledování aktuálního rozmístění složek, zdrojů a průběhu
Multimediální podpora (včetně geografických informačních systémů, fotografických systémů a bezdrátových sítí)	Vizualizační nástroje pro prezentaci, rozhodovací proces a komunikaci
Podpora zabezpečení	Řízení zabezpečeného přístupu a informačního toku
Podpora odolnosti proti chybám a ukládání redundantních dat	Zálohování dat, distribuce uložených dat, vyvážení zatížení a sledované (zrcadlené) horké servery (mirrored hot servers)

s dopadem na kvalitu povrchových vod (řešeno v letech 2011 až 2014), a navazující projekt zabývající se výstavbou expertního informačního systému NAVAROSO (řešení zahájeno v roce 2017). Tento příspěvek podává stručnou informaci o poznatcích a výsledcích získaných při řešení problematiky výstavby expertního systému.

EXPERTNÍ INFORMAČNÍ SYSTÉMY

Problematika softwarové podpory (expertních systémů) pro zvýšení efektivity činností při výskytu mimořádných situací se výrazněji obecně diskutuje v odborných pracích od druhé poloviny osmdesátých let minulého století např. [22–24]. I když jsou poznatky, závěry a doporučení těchto statí poplatné úrovni rozvoje komputerizace dané doby, jejich obecná platnost přetrvává. Krizovým systémům reakce pro havárie (Emergency Response System for Pollution Accidents) v chemických průmyslových parcích v Číně se věnují Duan a He [25]. Ti uvádějí základní požadavky na výstavbu těchto systémů (viz tabulku 1). Podpůrným systémům, které usnadní detekci neznámého znečištění, a tím umožní zvýšit efektivitu havarijních opatření pro případy znečištění stojatých vod, se věnují Chen a kol. [26]. Ti popisují praktické zkušenosti s užitím systému, který integruje data získaná z on-line monitoringu biologické jakosti vod s vysoce výkonnými matematickými modely pro výpočet změn jakosti vod. Na základě získaných zkušeností doložené příklady užití na dvou vybraných vodních nádržích konstatují, že tento systém přináší velmi užitečné informace zkvalitňující práci havarijních složek. Rozsáhlý rozbor problematiky včasného varování pro případy havarijního znečištění vod podává úvodní studie Water quality early warning system [27]. Zde je zmiňována nutnost vytvořit „základní kuchařku“ (Basic CookBook) – IT systém, obsahující informace a návody pro řešení havarijních situací. Těmto potřebám má plně vyhovovat databázový expertní systém NAVAROSO. Ten se má stát efektivním informačním nástrojem systému včasného varování v České republice v oblasti ochrany vod před havarijním znečištěním. Aby totiž mohly



Obr. 5. Printsreen zpětné analýzy průběhu znečištění

Fig. 5. Printsreen of reverse analysis of contamination course

složky aktivní při mimořádných situacích spojených s náhlým (havarijním) snížením biologické jakosti vod účinně reagovat, musí být vybaveny vhodnými nástroji pro rychlou indikaci zhoršení jakosti vod a pro následné analýzy, zaměřené na detekci jeho příčin. V současné době takový systém, poskytující širokou škálu informací v dané oblasti, není dostupný jak u nás, tak v zahraničí.

METODA ŘEŠENÍ

Při výstavbě expertního systému NAVAROSO jsou respektovány zásady dané výše uváděnou Metodikou postupu vyhledávání havarijních stavů na tocích [21]. Systém poskytuje křížově provázané údaje potřebné pro rychlé získávání informací o možných příčinách zhoršení biologické jakosti vod, postupech k určení typu znečištění a odhadu jeho šíření ve vodoteči. Databázový systém je doplněn modulem pro odhad chování znečištění v recipientu. Tím nově vyvinutý expertní systém umožňuje:

- zefektivnit postup rychlého a prokazatelného nalezení zdroje kontaminace vod (tato funkce má velký význam pro prevenci možného znečišťování),
- zrychlit a zpřesnit odhad míry kontaminace, a tím umožnit i predikci dalšího vývoje havárie,

- včasné varování po proudy umístěných území a odběratelů vody,
- včasné splnění mezinárodních oznamovacích povinností ČR,
- poskytnout přesnější podklady pro včasné naplánování účinné mitigační akce.

Komplexní expertní systém v oblasti ochrany vodních toků, kombinující statická metadata s modelovacím a predikčním modulem, který by byl dostupný na téměř všech typech zařízení s připojením k internetu, nebyl doposud v zahraničí ani u nás vyzkoušen a realizován. Aby bylo minimalizováno riziko vytvoření nevhodné struktury poskytovaných dat nebo nevhodný způsob jejich prezentace, byly v průběhu řešení projektu svolávány schůzky s potenciálními koncovými uživateli (složky IZS, ČIŽP, vodoprávní úřady a správci povodí), na kterých byl diskutován postup prací a formy výstupů řešení, aby výsledný produkt co nejlépe odpovídal jejich potřebám. Plánován je také zkušební provoz expertního systému s dobrovolnou účastí vybraných koncových uživatelů.

Realizace databáze

Databáze byla fyzicky realizována v prostředí databázového stroje FIREBIRD. Základní datové zdroje pro expertní systém jsou uvedeny na obr. 1.

Nad databází je vytvořen informační systém základního dotazovacího a servisního software, který dokáže poskytnout křížově vyhledávané informace o subjektech, znečišťujících látkách a tocích, vhodných postupech vzorkování a terénních analýz a také postupech orientačního určení příčin poškození ichtyofauny. Procesní diagram je zobrazen na obr. 2.

Systém umožňuje editaci a vkládání nových údajů do databáze. Je schopen pracovat i s odkazy na základní literární zdroje (texty, odkazy na internetové články). Je vytvořen základ pro hypertextové vyhledávání v primárních informačních zdrojích. Další funkcí je projekce uložených metadat do reálného prostředí digitalizovaných map, což usnadňuje orientaci v terénu složkám aktivním při mimořádných situacích na tocích. Uživatelské rozhraní systému je realizováno v programovacím prostředí Embarcadero Delphi XE10 a HTML Builder 5.

V současné době databáze disponuje údaji o potenciálních znečišťovateli (v současnosti údaji o 400 látkách u 200 významných znečišťovatelů v dílčích povodích ČR).

Pro tyto potřeby byl jako výchozí podklad použit Přehled významných znečišťujících látek v povodích podle krajů vypracovaný Výzkumným ústavem vodohospodářským T. G. Masaryka, v. v. i., verze z roku 2018 [28]. Tento přehled uvádí významné znečišťovatele, údaje o relevantních polutantech, včetně informací o jejich ekotoxicitě. Údaje o jednotlivých znečišťovateli jsme doplnili specifikací jejich polohy v povodí pomocí GPS souřadnic. Dalším zdrojem informací je Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností (ISPOP), databáze provozovaná Českou agenturou životního prostředí (CENIA) na základě pověření Ministerstva životního prostředí ČR. Validaci dat zajistily při pořizování zmíněné instituce. I přes tuto skutečnost jsme provedli ověření aktuální existence a aktivity firem v databázi uložených. Další aktualizace je plánována hlavně ze zdrojů ISPOP, vyžádaných u CENIA. Printscreen příkladu křížového vyhledávání je uveden na obr. 3.

Dalšími zdroji informací, dostupných použitím expertního systému, jsou Metodika postupu vyhledávání havarijních stavů na tocích [20], vzory protokolů pro záznam o havárii a pro odběr vzorků, přehled metod analýz, vhodných pro terénní použití, Metodický postup vyšetřování havarijních úhynů ryb [29] a Klíč projevů otrav ryb, obsahující ekotoxikologické informace a případové studie pro vybrané významné příčiny poškození ichtyofauny recipientu.

Dostupnost základních funkcí systému v terénu zajišťuje internetové rozhraní, které lze použít na libovolném mobilním zařízení se zabudovaným internetovým prohlížečem a datovým připojením.

Matematický modul

Původním záměrem v návrhu projektu NAVAROSO bylo doplnění expertního systému modulem pro výpočet polohy možného zdroje znečištění a hrubý odhad šíření tohoto znečištění tokem z údajů kontinuálního monitoringu biologické jakosti vod. Modelově měly být tyto odhady prováděny na základě výstupů kontinuálního monitoringu jakosti povrchových vod z přístrojů, umístěných na dvou vybraných říčních profilech. Podnik Povodí Odry, na jehož stanicích byly přístroje umístěny, však neočekávaně vypověděl spolupráci v této oblasti a dané přístroje musely být na jeho žádost ze stanic odstraněny. Protože však zejména zástupci hasičského záchranného sboru považují informace o šíření znečištění v toku za velmi potřebné pro zvýšení efektivity své činnosti v případě havarijního zásahu, byly původně plánované práce na modulu pro výpočet účelově modifikovány. Zásadní změna spočívá v tom, že model bude možno použít přímo při řešení aktuálního havarijního stavu na libovolném úseku vodního toku oproti původnímu záměru, který byl zaměřený pouze na zpětnou analýzu havárie na základě záznamu v měřicí stanici. Zároveň byl původní model, koncipovaný pouze pro havárie způsobené rozpustnými

látkami, rozšířen o simulaci šíření ropných látek v toku, vzhledem k tomu že převážná část havárií bývá způsobena těmito látkami. Printscreen na obr. 4 ukazuje výpočet postupu znečištění v toku. Printscreen uvedený na obr. 5 ukazuje zpětnou analýzu průběhu znečištění.

ZÁVĚR

NAVAROSO je expertní informační systém, který kombinuje statická metadata s modelovacím a predikčním modulem. Tím poskytuje vysoce komplexní informace, využitelné při řešení mimořádných situací, spojených s havarijním znečištěním vod. Pro složky aktivní při havarijních zásazích (složky IZS, ČIŽP, vodoprávní úřady a správci povodí) bude dostupný téměř na všech typech zařízení s připojením k internetu, tedy jak v řídicích centrech zásahu, tak přímo v terénu (místě zásahu). Tím se stává nástrojem, který významně zvyšuje efektivitu činnosti výše zmíněných složek. Tento názor se opírá o vyjádření zamýšlených koncových uživatelů.

Poděkování

V textu prezentované poznatky a výsledky byly získány v rámci řešení projektu *Expertní systém NAVAROSO (evidenční číslo projektu TH02030142), financovaného Technologickou agenturou ČR.*

Literatura

- [1] GÜTTINGER, H. and STUMM, W. An Analysis of the Rhine Pollution caused by the Sandoz Chemical Accident, 1986. *Interdisciplinary Science Reviews*, 1992, vol. 17, No. 2, p. 127–136.
- [2] GIGER, W. The Rhine red, the fish dead-the 1986 Schweizerhalle disaster, a retrospect and long-term impact assessment. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2009, vol. 16, p. 98–111.
- [3] Anonymous. *Spill of liquid and suspended waste at the Aurul S.A. retreatment plant in Baia Mare*. UNEP/OCHA, Geneva, 2000.
- [4] SOLDÁN, P., PAVONIČ, M., BOUČEK, J., and KOKES, J. Baia Mare Accident – Brief Ecotoxicological Report of Czech Experts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2001, 49, p. 255–261.
- [5] GELENCSE, A., KOVÁTS, N., TURÓCZI, B., ROSTÁSI, A., HOFFER, A. et al. The Red Mud Accident in Ajka (Hungary): Characterization and Potential Health Effects of Fugitive Dust. *Environ. Sci. Technol.*, 2011 [vid. 10. 3. 2018]. Dostupné z: http://mposai.hu/Gelencser_redmud_dust_EST_2011.pdf
- [6] RUYTERS, S., MERTENS, J., VASSILIEVA, E., DEHANDSCHUTTER, B., POFFIJN, A., and SMOLDERS, E. The red mud accident in Ajka (Hungary): Plant toxicity and trace metal bioavailability in red mud contaminated soil. *Environ. Sci. Technol.*, 2011, vol. 45, No. 4, p. 1616–22. Dostupné z: doi: 10.1021/es104000m. Epub 2011 Jan 4.
- [7] MAYES, W.M., BURKE, I.T., GOMES, H.I., ANTON, Á.D., MOLNÁR, M., FEIGL, V., and UJACZKI, É. Advances in Understanding Environmental Risks of Red Mud After the Ajka Spill, Hungary. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 2016, vol. 2, No. 4, p. 332–343.
- [8] Anonymous. *Koncepce environmentální bezpečnosti 2016–2020 s výhledem do roku 2030*. MŽP ČR, 2015 [vid. 20. 1. 2017]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/environmentalni_bezpecnost/\\$FILE/OKR-koncepce_environmentalni_bezpecnosti_2016_2020-20160606.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/environmentalni_bezpecnost/$FILE/OKR-koncepce_environmentalni_bezpecnosti_2016_2020-20160606.pdf).
- [9] Anonymous. *Příklady významných vodohospodářských havárií od r. 1964* [vid. 20. 8. 2019]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/environmentalni_bezpecnost/\\$FILE/OKR-koncepce_environmentalni_bezpecnosti_2016_2020-20160606.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/environmentalni_bezpecnost/$FILE/OKR-koncepce_environmentalni_bezpecnosti_2016_2020-20160606.pdf)
- [10] Anonymous. *UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction*. OSN a UNISDR, Ženeva, 2009 [vid. 10. 2. 2017]. Dostupné z: http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf.
- [11] VAN DER SCHALIE, W. Can Biological Monitoring Early Warning Systems Be Useful Detecting Toxic Materials in Water? In: POSTON, T. and PURDY, R. (eds.) *Aquatic Toxicology and Environmental Fate*: Ninth Volume. ASTM International, 1986, p. 107–121.
- [12] KRAMER, K.J.M. and BOTTERWEG, J. Aquatic biological early warning systems. An overview, In: JEFFREY, D.W. and MADDEN, B. *Bioindicators and environmental management*. Academic Press, London, 1991, p. 95–126.
- [13] BALDWIN, I.G. and KRAMER, K.J.M. Biological early warning systems (BEWS). In: KRAMER, K.J.M. *Biomonitoring of coastal waters and estuaries*. CRC Press, Boca Raton, 1994, p. 1–27.

- [14] GUNATILAKA, A. and DIEHL, P. A brief review of chemical and biological continuous monitoring of rivers in Europe and Asia. In: BUTTERWORTH, F.M. et al. *Biomonitoring and biomarkers as indicators of environmental change 2*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2000, p. 9–28.
- [15] SCHNEIDER, X. *D66: Best practice in guidance for water body monitoring*. Xpro-Consulting, Cyprus, 2001.
- [16] GRAYMAN, W.M., DEININGER, R.A., and MALES, R.M. *Design of early warning and predictive source-water monitoring systems*. AWWA Research Foundation and American Water Works Association, Denver, 2001.
- [17] GUNATILAKA, A. and DREHER, J. Use of real-time data in environmental monitoring: current practices. *Water Science & Technology*, 2003, vol. 47, No. 2, p. 53–61.
- [18] CHAPMAN, D. (ed.) *Water Quality Assessments: A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. 1996, 2nd edition [vid. 8. 2. 2017]. Dostupné z: http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/watqualassess.pdf
- [19] QUANSAH, J.E., ENGEL, B., and ROCHON, G.L. Early Warning Systems: A Review. *Journal of Terrestrial Observation*, 2010, vol. 2, No. 2, article 5 [vid. 2. 3. 2017]. Dostupné z: <http://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1072&context=jto>
- [20] WHITE, J. *Cyanide leak unreported for days*. 2006 [vid. 8. 2. 2007]. Dostupné z: www.thepraguepost.com/articles/2006/01/25/cyanide-leak-unreported-for-days.php
- [21] SOLDÁN, P. a kol. *Metodika postupu vyhlášení havarijních stavů na tocích*. Ostrava: VÚV TGM, 2014.
- [22] FEDRA, K. and OTWAY, H.J. *Advanced Decision-Oriented Software for the Management of Hazardous Substances: Part III – Decision Support and Expert Systems: Uses and Users*. IIASA Collaborative Paper. IIASA, Laxenburg, Austria, 1986, CP-86-014. [vid. 8. 3. 2017]. Dostupné z: <http://pure.iiasa.ac.at/2951/1/WP-87-101.pdf>
- [23] GASS, S.R., BHASKER, S., and CHAPMAN, R.E. *Expert Systems and Emergency Management: An Annotated Bibliography*. National Bureau of Standards Special Publication 728. U.S. Government Printing Office, Washington, 1986, Library of Congress Catalog Card Number: 86-600591.
- [24] LIEBOWITZ, J. *The Handbook of Applied Expert System*. CRC Press, 1997. ISBN 9780849331060 – CAT# 3106.
- [25] DUAN, W. and HE, B. Emergency Response System for Pollution Accidents in Chemical Industrial Parks, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2015, 12, 7868–7885. Dostupné z: [doi:10.3390/ijerph120707868](https://doi.org/10.3390/ijerph120707868).
- [26] CHEN, Q., MA, J., WANG, Z., and HUANG, G. Biological early warning and emergency management support system for water pollution accident. *Trans. Tianjin Univ.*, 2012, 18, p. 201–205. Dostupné z: [doi:10.1007/s12209-012-1662-4](https://doi.org/10.1007/s12209-012-1662-4).
- [27] Anonymous. *Water quality early warning system / On transboundary watercourses of the Tisza river basin – Initial study*. 2014 [vid. 9. 3. 2017]. Dostupné z: https://www.danubewaterquality.eu/uploads/mod_files/WQM-EWS_part-1-4_EN_v2.0_.pdf
- [28] Anonymous. *Přehled významných znečišťujících látek v povodích podle krajů*. Ostrava: VÚV TGM, 2018.
- [29] SVOBODOVÁ, Z., MÁCHOVÁ, J., CHLOUPEK, P. a VEČERK, V. *Metodický postup vyšetřování havarijních úhynů ryb*. Edice metodik 107. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2011. ISBN 978-80-87437-25-4.

Autoři

RNDr. Přemysl Soldán, Ph.D.¹

✉ premisl.soldan@vuv.cz

RNDr. Jaroslav Roček

✉ jardarocek@gmail.com

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

Příspěvek prošel lektorským řízením.

NAVAROSO EXPERT INFORMATION SYSTEM

SOLDAN, P.¹, ROCEK, J.

¹TGM Water Research Institute, p.r.i., Ostrava Branch

Keywords: accidental pollution – terrorist attacks on water resources – criminal activities focused on water resources – expert emergency information systems

The article provides information on the development of the NAVAROSO expert information system built for the needs of components active in the event of an emergency situation on the water. It provides the cross-linked data needed to quickly obtain information on the possible causes of deterioration in water quality, procedures to determine the type of pollution and estimate its spread in the watercourse. This will make water protection more effective both in mitigation of the negative effects of pollution by faster detection of its causes and in the prevention of possible pollution by more accurate and readily available information on its potential sources in the river basin. The text briefly describes its structure, function, structure of information stored in its database as well as a module allowing the calculation of the behaviour of pollution in the flow.

Čistá voda – zdravé město: Využitelnost stávajícího systému sběru informací pro naplnění cílů projektu

STANISLAV JURÁŇ, MILENA FOREJTNIKOVÁ, LUCIE VYSLOUŽILOVÁ, KATEŘINA SOVOVÁ

Klíčová slova: kvalita povrchových vod – říční sedimenty – zdroje znečištění – tematické databáze

SOUHRN

Príspevek predstavuje časť projektu Čistá voda – zdravé město, který se zabývá predikci možného výskytu nebezpečných chemických látok v tocích při haváriách a povodních. Seznamuje s databázemi, které jsou v současné době k danému tématu vedeny, a s jejich praktickou využitelností. Na příkladu Vltavy v Praze, lidské činnosti i způsobů hospodaření v povodí nad tímto městem popisuje možnosti predikce výskytu nebezpečných látek v úseku toku v hlavním městě. Zdůvodňuje nutnost zavedení dočasných sledovacích profilů pro potřeby řešení výzkumného úkolu a navrhuje zásady pro doplnění stávajících monitorovacích sítí a databází zdrojů znečištění tak, aby mohl být lépe posuzován vztah mezi zdroji znečištění a dopadem na stav povrchových vod.

ÚVOD

Tento příspěvek pojednává o projektu „Cizorodé látky ve vodách podzemních, povrchových a odpadních jako důsledek lidské činnosti“ (reg. číslo: CZ.071.02/0.0/0.0/16_040/0000378), v jeho části Predikce možného výskytu nebezpečných chemických látek při haváriích a povodních, riziko úniku látek závadných vodám a preventivní opatření – podklad k havarijnímu plánu. Účelem této části projektu je zlepšení informovanosti o výskytu látek nebezpečných vodám, definovaných jako látky prioritní a prioritní nebezpečné (dále též PPN látky) a vyhodnocení rizika pro hlavní město Prahu. Řešení se zaměřuje na specifickou skupinu chemických látek, které z hlediska šíření a akumulace v povodí představují nejvyšší riziko ohrožení.

Prioritní a prioritní nebezpečné látky představují významná rizika pro vodní prostředí spojená zejména s akutní a chronickou toxicitou pro vodní organismy, akumulací ve vodních ekosystémech, úbytkem přirozených stanovišť, snížením biologické rozmanitosti a v neposlední řadě ohrožením lidského zdraví. Tyto látky byly poprvé jako skupina definovány ve formě seznamu v roce 2001 v příloze č. X Rámcové směrnice o vodní politice [1], v současné době je platný seznam látek doplněný v roce 2013 [2], v současnosti se jedná celkem o 45 látek nebo skupin látek. Nebezpečnost těchto látek je permanentně prověřována a tento seznam se postupně rozšiřuje tak, jak se rozšiřují znalosti o nových chemických látkách. Část těchto látek by měla být v budoucnosti pro svou vysokou nebezpečnost zakázána (prioritní nebezpečné látky) podle čl. 4 odst. 1 písm. a) bodu iv) Rámcové směrnice.

Projekt mapuje situaci od pramenů v celém povodí nad Prahou až po řeku Vltavu v Praze. Skladování PPN látek a vypouštění odpadních vod s jejich obsahem představuje potenciální riziko pro životní prostředí, které se dále zvyšuje v případě mimořádných událostí.

Projekt vytvoří nástroje směřující ke zlepšení životního prostředí hlavního města Prahy. Sníží riziko spojené s případnými úniky PPN látek do vod tím, že poskytne podklady o míře nebezpečí a definuje látky, které mohou vodní toky v Praze ovlivnit. Hlavní město tak získá přehled o možném znečištění vod látkami, které jsou z pohledu šíření vodním prostředím zásadní. Součástí projektu jsou i návrhy na další opatření včetně návrhů na doplnění havarijních plánů. Využití výstupů se předpokládá dále při rozhodovací činnosti krizového managementu pro zvýšení ochrany obyvatelstva.

POSTUP ŘEŠENÍ

Problematika PPN látek vyžaduje mimo jiné především orientaci ve složení a zařazení jednotlivých látek do skupin, ve kterých jsou analyzovány. Z tohoto důvodu byla v projektu nejprve vytvořena přehledná tabulka, viz *tabulku 1*, s názvy látek, výskytem a využíváním, případnou regulací (zákazem používání) a zařazením do skupin.

VYPOUŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD S OBSAHEM PPN LÁTEK

Vodní toky jsou recipientem PPN látek, které mj. mohou být do vodních toků vypouštěny spolu s odpadními vodami. Další šíření v říčním korytě je ovlivňováno prouděním vody, ale také pohybem říčních sedimentů, ve kterých mohou být tyto látky ve zvýšené míře akumulovány. Zvýšené riziko nadlimitních koncentrací PPN látek je tak za povodní a při zvýšených vodních stavech, kdy dochází k promíchávání sedimentů a k uvolňování látek v nich obsažených.

ISPOP (Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností) je zřízen zákonem č. 25/2008 Sb., o integrovaném registru znečišťování životního prostředí a integrovaném systému plnění ohlašovacích povinností v oblasti životního prostředí [5]. Zřizovatelem ISPOP a věcným garantem obsahu formulářů, tzn. ohlašovacích povinností, je Ministerstvo životního prostředí. Systém vyvíjí a dodává společnost Telefónica Czech Republic, a. s., technický provoz a podobu aplikace ISPOP zajišťuje CENIA, Česká informační agentura životního prostředí. ISPOP – data o vypouštěných odpadních vodách jsou předávána podle zákona o vodách § 38 odst. 4 (od 1. 1. 2018 podle odst. 6 novelizovaného zákona) [6].

Tabulka 1. Přehled prioritních a prioritních nebezpečných látek [3, 4]
 Table 1. Overview of priority and priority hazardous substances [3, 4]

Číslo	Název prioritní látky	Prioritní nebezpečná látka	Regulace použití*	Výskyt, použití
1	alachlor		3	herbicid
2	anthracen	X	1	barviva, plasty, nedokonalé spalování fosilních paliv
3	atrazin		3	herbicid
4	benzen		1	automobilová doprava, rozpouštědlo, základní surovina pro výrobu řady chemikálií (léčiva, plasty, kosmetika atd.)
5	bromované difenylethery	X	3	zpomalovač hoření
6	kadmium a jeho sloučeniny	X	2	slitiny, polovodiče, pájecí kovy
6a	tetrachlormethan		3	výroba tvrdých freonů, rozpouštědlo, průmyslový čisticí prostředek
7	chloralkany (C10–13)	X	2	plastifikátory, lubrikanty, obrábění kovů, zpracování kůže
8	chlorfenvinfos		3	akaricid, insekticid
9	chlorpyrifos		1	insekticid
9a	aldrin, dieldrin, endrin, isodrin		3	insekticidy
9b	DDT, para-para-DDT		3	insekticidy
10	1,2-dichlorethan		2	výroba vinylchloridu, rozpouštědlo
11	dichlormethan		2	rozpouštědlo
12	bis(2-ethylhexyl)ftalát (DEHP)	X	1	změkčovadlo plastových výrobků
13	diuron		3	algicid, herbicid
14	endosulfan	X	3	insekticid
15	fluoranthén		1	motorová nafta, výrobky z černouhelného dehtu, asfalt, materiály používané při pokrývání střech a stavbě silnic
16	hexachlorbenzen	X	3	fungicid, výroba rozpouštědel
17	hexachlorbutadien	X	3	vedlejší produkt při výrobě chlorovaných uhlovodíků, rozpouštědlo, výroba lubrikantů
18	hexachlorcyklohexan	X	3	insekticid
19	isoproturon		1	herbicid
20	olovo a jeho sloučeniny		1	olověné akumulátory, ochranné slitiny před rentgenovými a gama paprsky, munice, spalovací procesy, těžba, metalurgie a chemický průmysl
21	rtuť a její sloučeniny	X	2	výroba chlóru, těžba zlata, zářivky, baterie, měřicí a analytické přístroje, ochranná přísada různých nátěrů, spalování fosilních paliv a odpadů
22	naftalen		1	výroba PVC, lepidel, léčiv, pryskyřic, maziv, barviv, součást uhelného dehtu

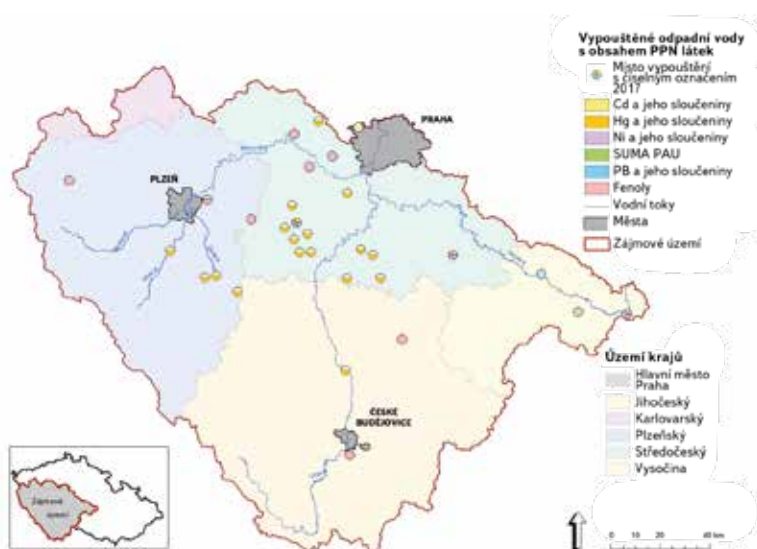
* Legenda: 1 – použití povoleno, 2 – použití regulováno, 3 – použití zakázáno

* Legend: 1 – use allowed, 2 – use regulated, 3 – use prohibited

Číslo	Název prioritní látky	Prioritní nebezpečná látka	Regulace použití*	Výskyt, použití
23	nikl a jeho sloučeniny		3	výroba slitin, baterie, mince a šperky, magnety, pokovování
24	nonylfenoly	X	3	povrchově aktivní látky, změkčovadla plastů
25	oktylfenoly		3	výroba stabilizátorů, změkčovadel, antioxidantů, tenzidů
26	pentachlorbenzen	X	3	fungicid, zpomalovač hoření
27	pentachlorfenol		3	pesticid
28	polyaromatické uhlovodíky (PAU)	X	2	nedokonalé spalování
29	simazin		3	herbicid
29a	tetrachlorethylen		1	rozpuštědlo organických látek
29b	trichlorethylen		2	průmyslové rozpouštědlo
30	tributylcín a jeho sloučeniny	X	2	dřevo chránící přípravky, nátěry lodí
31	trichlorbenzeny		3	výroba pigmentů a barviv, dříve masivně používány jako pesticidy a chladicí kapaliny
32	trichlormethan (chloroform)		1	výroba fenolu, extrakční činidlo
33	trifluralin	X	3	herbicid
34	dikofol	X	3	akaricid
35	perfluoroktansulfonová kyselina a její deriváty (PFOS)	X	3	surfaktant
36	chinoxifen	X	1	fungicid
37	dioxiny a sloučeniny s dioxinovým efektem	X	3	spalování fosilních paliv a odpadu, průmyslová výroba, kde se vyskytuje chlór (chemický, textilní, papírenský)
38	aklonifen		1	herbicid
39	bifenox		1	herbicid
40	cybutryn		3	fungicid
41	cypermethrin		1	insekticid
42	dichlorvos		3	insekticid
43	hexabromcyklododekany (HBCDD)	X	3	zpomalovače hoření
44	heptachlor a heptachlorepoxid	X	3	insekticid
			3	vznik přeměnou heptachloru
45	terbutryn		3	herbicid

* Legenda: 1 – použití povoleno, 2 – použití regulováno, 3 – použití zakázáno

* Legend: 1 – use allowed, 2 – use regulated, 3 – use prohibited

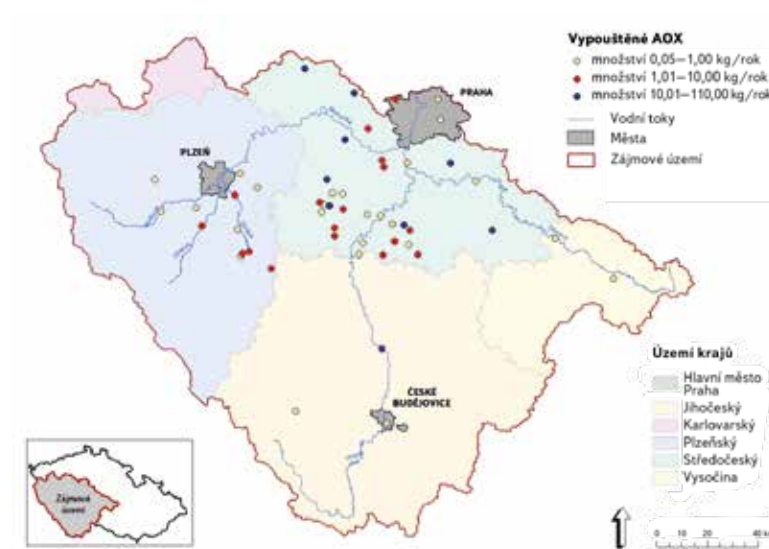


Obr. 1. Místa vypouštění odpadních vod obsahujících PPN látky (mimo AOX) v zájmovém území v roce 2015

Fig. 1. Places of waste water outflow containing PPH substances (outside AOX) in the area of interest in 2015

Současné znění vodního zákona [7], § 38 odst. 4 zní: Kdo vypouští odpadní vody do vod povrchových nebo podzemních, je povinen v souladu s rozhodnutím vodoprávního úřadu měřit objem vypouštěných vod a míru jejich znečištění a výsledky těchto měření předávat vodoprávnímu úřadu, který rozhodnutí vydal, příslušnému správci povodí a pověřenému odbornému subjektu. Vodoprávní úřad tímto rozhodnutím stanoví místo a způsob měření objemu a znečištění vypouštěných odpadních vod a četnost předkládání výsledků těchto měření.

Data o vypouštění znečištění v zájmovém povodí byla v projektu zpracována za období let 2014 a 2015. Data za rok 2017 slouží jako kontrolní v případě problematické identifikace subjektu, lokalizace nebo číselných hodnot. Z databáze vyplývá, že do vodních toků zájmového území jsou vypouštěny odpadní vody s možným obsahem následujících látek:



Obr. 2. Místa vypouštění odpadních vod obsahujících AOX v zájmovém území v roce 2015

Fig. 2. Places of waste water outflow containing AOX in the area of interest in 2015

- fenoly,
- AOX – adsorbovatelné organicky vázané halogeny (podrobnější informace jsou uvedeny níže),
- nepolární extrahovatelné látky,
- kadmium a jeho sloučeniny,
- nikl a jeho sloučeniny,
- suma PAU,
- rtuť a její sloučeniny,
- uhlovodíky $C_{10}-C_{40}$,
- olovo a jeho sloučeniny.

Halogenové organické sloučeniny (AOX) jsou poměrně širokou skupinou. Jde o mezinárodně uznávaný parametr; může se jednat o jednoduché sloučeniny jako je chloroform, chlorfenoly, chlorbenzeny i komplexní organické molekuly, jako jsou dioxiny a furany (PCDD, PCDF) s nejrůznějšími toxickými

Tabulka 2. Limitní hodnoty pro vybrané látky
Table 2. Limit values for selected substances

Č.	Vypouštěné látky do vod	NEK-RP (norma env. kvality – roční průměr) mg/l	Způsob definování hodnoty NEK-RP
1	fenoly	3	Tab. 1 c, NV č. 401/2015 Sb., Příloha č. 3
2	adsorbovatelné organicky vázané halogeny	25	Tab. 1 c, NV č. 401/2015 Sb., Příloha č. 3
3	kadmium a jeho sloučeniny	0,08 (třída 2)	Tab. 1 b, NV č. 401/2015 Sb., Příloha č. 3
4	nepolární extrahovatelné látky	100	podle dříve platného NV
5	nikl a jeho sloučeniny	4	Tab. 1 b, NV č. 401/2015 Sb., Příloha č. 3
6	PAU – suma (ČSN 757221)	0,1	Tab. 1 c, NV č. 401/2015 Sb., Příloha č. 3 (pro vodárenské účely)
7	rtuť a její sloučeniny	0,05	podle odborného odhadu
8	uhlovodíky $C_{10}-C_{40}$	100	Tab. 1 c, NV č. 401/2015 Sb., Příloha č. 3
9	olovo a jeho sloučeniny	1,2	Tab. 1 b, NV č. 401/2015 Sb., Příloha č. 3

vlastnostmi. V přírodě se většina AOX přirozeně nevyskytuje, jejich hlavním zdrojem v prostředí je především průmyslová výroba papíru a celulózy. Konkrétní chemické i toxikologické vlastnosti jsou vždy závislé na druhu sloučeniny; souhrnně popsat negativní účinek AOX je prakticky nemožné. Obecně se ale dají tyto látky považovat za toxické pro vodní organismy, schopné bioakumulace, s různou mírou toxicity pro člověka. Mezi méně významné zdroje AOX můžeme zařadit také chlorování pitné vody a v podstatě jakýkoliv chemický závod, kde dochází ke zpracování chlóru a jiných halogenů. Převážná část AOX však uniká do prostředí prostřednictvím odpadních vod [8].

Přehledné informace, vztahující se k místům vypouštění odpadních vod s možným obsahem PPN látek, informace o znečišťovateli, datu vydání a ukončení platnosti příslušného rozhodnutí k vypouštění odpadních vod, skutečně vypouštěné množství v daném roce, počet měření a další podrobnosti jsou uvedeny v podrobných tabulkách integrovaného registru, vedeného podle [9]. Pro přehled je připojena následující mapka – obr. 1.

Vypouštěné znečištění, evidované v databázi ISPOP, neumožňuje v řadě případů jednoznačné zjištění, zda jsou PPN látky v odpadních vodách přítomné. Zvláště nejednoznačné je to v případě vypouštění AOX, fenolů, C₁₀–C₄₀ a NEL. Místa vypouštění odpadních vod s obsahem AOX jsou vyznačena v následující mapce – obr. 2.

Bilance vypouštěného ročního množství odpadních vod s obsahem PPN látek bude konfrontována s látkami vypouštěnými podle E-PRTR registru [10]. Rizikovitost vypouštěných odpadních vod s obsahem PPN látek lze hodnotit podle následující tabulky, viz tabulku 2, vycházející z norem environmentální kvality pro útvary povrchových vod.

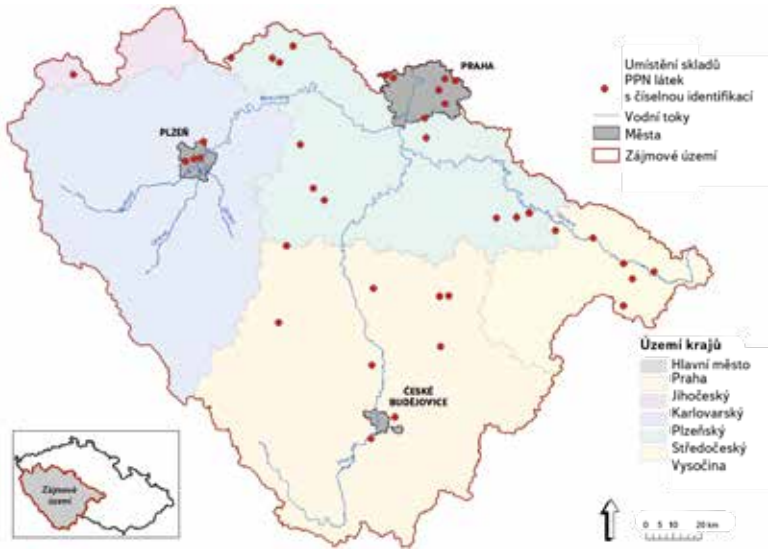
SPECIFIKACE SKLADOVANÝCH PPN LÁTEK

Kromě přímého vypouštění odpadních vod se mohou do vodních toků dostávat sledované látky také z míst, kde je s nimi nakládáno v technologickém provozu, nebo kde jsou skladovány. Předávání dat o skladování látek je povinné

Tabulka 3. Přehled PPN látek a SZL zjištěných v povrchových vodách, jejichž hodnoty nejčastěji překračují NEK-RP anebo NEK-NPK
Table 3. Overview of PPH substances and specific pollutants detected in surface waters whose values most frequently exceed EQS-RP or EQS-NPK limits

Č. látky podle Přílohy č. 6 k NV č. 401/2015 Sb.	Název látky	Povodí Vltavy	Povodí Berounky
1	alachlor ⁺	X	X
2	anthracen ⁺		
-	AOX	X	X
součástí PAU č. látky 28	benzo(a)pyren ⁺	X	X
součástí PAU č. látky 28	benzo(ghi)perylene ⁺	X	X
13	diuron ⁺		
15	fluoranthen ⁺	X	X
18	hexachlorcyklohexan (SUMA) ⁺		
	metolachlor	X	

⁺ NEK podle NV č. 401/2015 Sb., Příloha č. 3, tabulka 1 c



Obr. 3. Umístění skladů, objektů a zařízení s nebezpečnými látkami zařazenými do skupiny A nebo B
Fig. 3. Location of warehouses, buildings and facilities containing hazardous substances classified in group A or B

podle zákona o prevenci závažných havárií [11]. Zpracovatelé získali nejdříve podklady o místech skladování nebezpečných látek z databáze eSPIRS (Seveso Plant Information Retrieval System – systém Seveso pro získávání informací o zařízeních), které spravuje Společné výzkumné centrum v EU (JRC), podrobněji [12].

Ze získaných informací bylo třeba určit, které skladované materiály obsahují PPN látky, v jakém množství a na jakém místě se nacházejí. Pro zpřesnění informací byly informace požadovány také od příslušných krajských úřadů, které mají tuto agendu sledovat podle zákona o prevenci závažných havárií č. 224/2015 Sb. [11]. Místa byla dále konfrontována se skutečným umístěním pro identifikaci bodových zdrojů znečištění v mapách. Rozmístění skladů na území kraje je patrné z obr. 3.

POSOUZENÍ RIZIKOVOSTI SKLADOVÁNÍ PPN LÁTEK Z POHLEDU ŘÍČNÍ POVODNĚ NEBO POVODNÍ Z PŘÍVALOVÝCH SRÁŽEK

Při dodržení všech legislativních omezení jsou skladovací místa z pohledu znečišťování povrchových a podzemních vod bezpečná. V rámci rizika možného úniku sloučenin s obsahem PPN látek ve skladujících místech při zvýšených vodních stavech ve vodních tocích bylo posuzováno umístění skladů v záplavovém území. Záplavová území jsou administrativně určená území, která mohou být při výskytu říční povodně zatopena vodou. Rozsah záplavového území schvaluje na návrh správce vodního toku vodoprávní úřad. Záplavové území odpovídá přibližně průtokům stoleté vody – Q₁₀₀. Z posouzení vyplynulo, že žádné místo (objekt, zařízení), kde jsou nebezpečné látky skladovány, neleží ve vyhlášeném záplavovém území.

STÁVAJÍCÍ MONITOROVACÍ SYSTÉMY KVALITY POVRCHOVÝCH VOD

V České republice se monitoringem výskytu PPN látek ve vodách zabývají subjekty, které jsou zodpovědné za pořízení plánů dílčích povodí. Státní podniky Povodí monitorují kvalitu vod útvary povrchových vod a následně vyhodnocují stav vod. Ve spolupráci s vodoprávními úřady pak příslušné krajské úřady schvalují plány v rámci své územní působnosti.

V zájmovém území monitoring provádí především státní podnik Povodí Vltavy. Řešený projekt na tento monitoring navazuje, zabývá se podrobněji bodovými zdroji znečištění, kvalitou říčních sedimentů a možným dalším ohrožením vodních toků, případnými úniky při mimořádných událostech.

Na základě řady informací, především podle zpráv hodnotících období 2015–2016, lze v zájmovém území shrnout informace o výskytu těchto látek ve vodních tocích následovně:

- Analyzované PPN látky a SZL (specifické znečišťující látky uváděné v [4]) sledované v povrchových vodách ČR se vyskytují převážně ve velmi nízkých koncentracích na úrovni mezí stanovitelnosti (MS) přístrojů.
- Pokud jsou zjištěny hodnoty nad MS, pak většinou nepřesahují NEK-RP (norma environmentální kvality vyjádřená jako roční průměrná hodnota) a NEK-NPK (norma environmentální kvality vyjádřená jako nejvyšší přípustná koncentrace). Limitní hodnoty NEK-RP a NEK-NPK jsou uvedeny pro jednotlivé látky v [4].
- Obsah některých látek (benzo(a)pyren, cypermethrin, dicofol nebo dichlorvos) není možné vyhodnotit, jelikož mezí stanovitelnosti dané analytické metody je často vyšší než NEK (hodnota NEK-RP nebo NEK-NPK) pro danou sledovanou látku.
- Při orientačním porovnání s hodnotami NEK (NV č. 401/2015 Sb., Příloha č. 3, tabulka 1 b a 1 c) je v povrchových vodách nejčastěji překročena hodnota NEK-RP anebo NEK-NPK u látek uvedených v následující tabulce – *tabulka 3*.
- Z literárních údajů vyplývá, že sedimenty obsahují vyšší koncentrace PPN látek a specifických znečišťujících látek než povrchová voda. Nad mezí stanovitelnosti jsou stanovovány koncentrace těžkých kovů a některé látky ze skupiny PAU, jejichž výskyt je ve vodách i sedimentech zaznamenáván pravidelně, a to i ve zvýšených koncentracích.
- Na řadě vodních toků jsou dlouhodobě zjišťovány zvýšené hodnoty AOX. Těkavé organické látky (TOL) se vyskytují v povrchových vodách v nízkých koncentracích. Látky ze skupiny PCB (polychlorované bifenylly) se v matrici povrchové vody prakticky neobjevují. Problémem celorepublikovým jsou látky ze skupiny PAU, z nichž benzo(ghi)perylen se v tocích objevuje v nadlimitních koncentracích nejčastěji. Hodnoty překračující NEK byly zjištěny také u Šhexachlorcyklohexanů a lindanu (OCP), anthracenu, benzo(b)fluoranthenu, fluoranthenu, fenantrenu a benzo(a)pyrenu (ze skupiny PAU).
- Nejčastěji se vyskytující pesticidní látky v povrchových vodách jsou metabolity metolachloru, acetochloru, alachloru a v případě terbutylazinu metabolity i základní látka [5]. Často se jedná o účinné látky přípravků spojených s pěstováním ozimé řepky a kukuřice. Jsou patrné rozdíly mezi oblastmi s intenzivní rostlinnou výrobou a horskými, převážně zalesněnými povodími. Znečištění jednotlivými látkami během roku kolísá v závislosti na ročním období, srážkovém režimu apod. Hodnoty NEK jsou překračovány i u diuronu a isoproturonu.

Množství vypouštěných odpadních vod s obsahem PPN látek z velkých zdrojů znečištění, které se dostávají do vodních toků, bude konfrontováno s daty za rok 2016 z databáze E-PRTR (evropský registr úniků a přenosů znečišťujících látek) [10].

Velmi podrobně se různými zdroji znečištění včetně zdrojů PPN látek a jejich dopadem na stav vodních útvarů zabývají správci povodí při přípravě plánů oblasti povodí a plánů dílčích povodí. Jsou zde soustředěny výsledky jejich vlastního monitoringu a šetření u znečišťovatelů i výsledky dalších dílčích studií. Pro zájmové území řešeného projektu jsou tyto plány zveřejněny na internetových stránkách Povodí Vltavy [13].

Povodňové události, které proběhly na území ČR v uplynulých letech, vedly ke zkoumání těchto jevů nejen co do množství vod a rozsahu rozlivů. Byla zjišťována a posuzována i jakost povodňových vod včetně zdrojů znečištění a způsobů jeho šíření. Tyto poznatky vedly k některým zevšeobecněním a návrhům vhodných postupů, viz např. [14] nebo [15]. Současně se však ukazuje, že každá povodňová událost je specifická, a pokud chceme zabránit šíření znečištění nebezpečnými látkami ze známého zdroje, je třeba soustředit ochranná opatření zejména do místa vzniku či uskladnění těchto látek.

VÝSKYT PPN LÁTEK V ŘÍČNÍCH SEDIMENTECH

Využitelnost všech výše uvedených zdrojů informací byla vzata v úvahu. S ohledem na cíle projektu byla hodnocena návaznost údajů o zdrojích znečištění a dopadech ve formě zhoršené kvality vody v tocích.

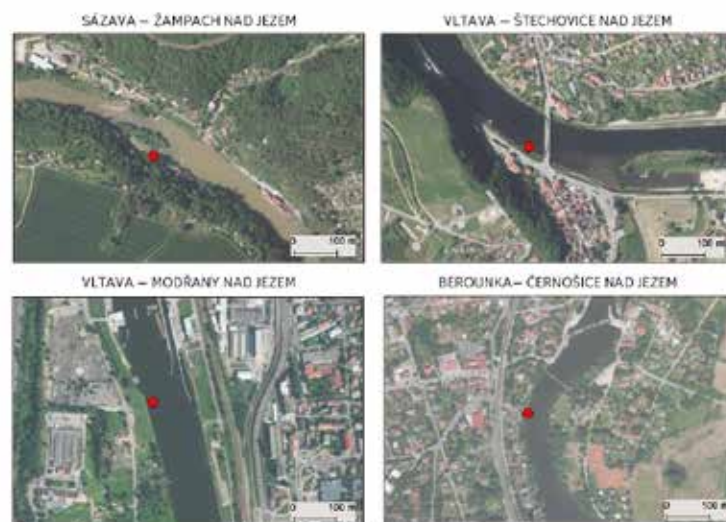
Identifikace nebezpečných látek ve vodách je často obtížná s ohledem na stopové koncentrace na úrovni meze stanovitelnosti přístrojového vybavení laboratoří. V sedimentech a jemných plaveninách může u některých látek docházet ke kumulaci, proto se ve vybraných profilech monitoringu jakosti povrchových vod odebírají i vzorky této matrice. Pravidelný monitoring v zájmovém území provádí správce toku podnik Povodí Vltavy. Několikaleté velmi podrobné, celorepublikové sledování včetně bioakumulace řešil také Český hydrometeorologický ústav [16].

Aby bylo umožněno odhadnout pravděpodobnost výskytu nebezpečných látek při mimořádných událostech pro profil Vltavy v Praze, bylo rozhodnuto podrobněji sledovat složení říčních sedimentů v závěrečných úsecích hlavních toků nad Prahou.

Před samotným zahájením odběrů vzorků říčních sedimentů proběhlo vytíkování vhodných míst v zájmovém území Středočeského kraje v blízkosti hlavního města. Kritériem bylo nalézt lokality, které by pokryly zdroje vypouštějící odpadní vody s obsahem PPN látek do vodních toků zájmového území. Dalším velmi důležitým kritériem, které významně ovlivnilo výběr vlastních lokalit, byla znalost míst, která umožňují akumulaci říčních sedimentů. Protože sedimenty se ve zvýšené míře vyskytují ve vodních tocích se sníženou rychlostí vody, která je následně příčinou sedimentace plavených částic, byla vybrána místa v nadjezí vodních toků. Posledním kritériem byla samotná přístupnost odběrných míst. Na základě uvedených kritérií byla v rámci řešení vybrána čtyři odběrná místa:

- Vltava-Štěchovice nad jezem, místo u hráze vodního díla;
- Vltava-Modřany nad jezem, jako závěrné místo, ve kterém se předpokládá případné ovlivnění z přítoků řek Berounky a Sázavy;
- Berounka-Černošice nad jezem, významný levobřežní přítok Vltavy, místo v nadjezí elektrárny v Černošicích;
- Sázava-Žampach nad jezem, významný pravobřežní přítok Vltavy.

Odběrná místa jsou vyznačena v ortofotografických mapkách – *obr. 4*. Závěrečné odběrné místo na Vltavě je zachyceno na fotografii – *obr. 5*.



Obr. 4. Monitoring sedimentů ve vybraných lokalitách
Fig. 4. Sediment monitoring in selected localities



Obr. 5. Vltava-Modřany, jezová zdrž

Fig. 5. Vltava-Modřany, weir catch basin

Odběry vzorků sedimentů v těchto lokalitách a jejich laboratorní zpracování probíhalo v období 2018–2019. V současné době jsou tyto výsledky vyhodnocovány pro využití ve výstupech projektu.

DISKUSE

Znalosti o PPN látkách jsou všeobecně nedostatečné už proto, že se tyto látky postupně nově identifikují, celá skupina se postupně rozšiřuje a jen malé procento laboratoří dokáže tyto nové látky v prvotní fázi identifikace analyzovat s požadovanou přesností. Jedná se o dlouhodobý proces monitorující stav výskytu PPN látek – jejich pohyb ve vodním prostředí a hodnocení negativních dopadů. Legislativní proces má určitou setrvačnost a jistě nelze očekávat, že změny v přílohách evropských směrnic se okamžitě promítnou až k jednotlivým výrobním subjektům a do změn v jejich technologiích. Firmám většinou vyhovuje současný stav, kdy na stanovení jednotlivých látek mají nasmlouvané specializované laboratoře a nové požadavky by jim většinou přinášely zpřísnění hodnot ve vodohospodářských rozhodnutích. Odběry a rozborů ke zjištění míry znečištění vypouštěných odpadních vod mohou provádět jen odborně způsobilé osoby oprávněné k takovému podnikání. Většina laboratorních analýz vyžaduje drahé přístrojové vybavení a průběžný odborný servis, aby mohly být PPN látky měřeny při zachování požadovaných nízkých mezí stanovitelnosti.

Jedním z dalších poznatků je, že mnohé firmy ale i úřady mají zábrany poskytovat již jednou získané výsledky nejen veřejnosti ale i odborné výzkumné instituci pod záminkou obrany proti konkurenci. Někdy tato neochota vede k nutnosti pořizovat terénními pracemi vlastní data.

ZÁVĚR

Výsledky řešeného projektu nejsou určeny k přímému komerčnímu využití. Hlavním přínosem má být zvýšení znalostí o výskytu PPN látek v prostředí, o jejich šíření a o procesech, které toto šíření ovlivňují. Projekt kombinuje oficiální informace od znečišťovatelů, data ze standardních monitoringů prostředí a údaje zjištěné vlastním podrobným výzkumem tak, aby mohl poskytnout reálný pohled na rizika a ohrožení toku Vltavy v hlavním městě.

Řešení je zaměřeno na velkou plochu zájmového území České republiky, která vyžaduje zpracování rozsáhlého množství dat.

Databáze a monitorovací programy vedené v současné době jsou velmi cenné, jsou však přizpůsobeny účelu, pro který byly zřízeny, tedy zejména pro reportování do evropských struktur. Proto je z nich často obtížné nalézt souvislosti mezi konkrétním znečišťovatelem a zjištěním nadlimitních koncentrací v monitorovaném místě.

Posílení současných znalostí je tedy potřebné ve smyslu hledání souvislostí mezi konkrétním zdrojem znečišťujících látek a dopadem této zátěže na vodní tok. Součástí výstupů řešeného projektu budou proto doporučení směřující do činnosti vodoprávních orgánů i návrhy, náměty a požadavky na úpravu některých zmiňovaných národních databází a monitorovacích programů.

Literatura

[1] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES.

[2] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2013/39/EU.

[3] Dostupné z: <https://www.irz.cz/>

[4] Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.

[5] JURÁŇ, S. Analýza proveditelnosti. Čistá voda-zdravé město, koncept č. III, Brno, 2018.

[6] Dostupné z: <https://www.ispop.cz/magnoliaPublic/cenia-project/uvod.html>

[7] Zákon č. 254/2001 Sb., vodní zákon.

[8] Dostupné z: <https://arnika.org/halogenovane-organicke-slouceniny-aox>

[9] Zákon č. 25/2008 Sb., o integrovaném registru znečišťování životního prostředí a integrovaném systému plnění ohlašovacích povinností v oblasti životního prostředí.

[10] Evropský registr úniků a přenosů znečišťujících látek E-PRTR.

[11] Zákon o prevenci závažných havárií č. 224/2015 Sb.

[12] Dostupné z: <https://minerva.jrc.ec.europa.eu/EN/espairs/public/publicsearch>

[13] Dostupné z: <http://www.pvl.cz/planovani-v-oblasti-vod>

[14] DRBAL, K. a kol. *Metodika mapování povodňového rizika*. Usnesení Vlády České republiky ze dne 21. prosince 2009 č. 1573 ke Zprávě o vyhodnocení povodně v červnu a červenci 2009 na území České republiky.

[15] JURÁŇ, S. a kol. *Činnost povodňových komisí, složek IZS a ostatních účastníků před povodněmi*. Usnesení vlády České republiky ze dne 3. července 2013 č. 533.

[16] Dostupné z: <http://hydro.chmi.cz/isarrow/>

Autoři

Ing. Stanislav Jurán

✉ stanislav.juran@vuv.cz

Ing. Milena Forejtníková

✉ milena.forejtnikova@vuv.cz

Ing. Lucie Vysloužilová

✉ lucie.vyslouzilova@vuv.cz

Mgr. Kateřina Sovová, Ph.D.

✉ katerina.sovova@vuv.cz

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

Příspěvek prošel lektorským řízením.

THE CLEAN WATER – A HEALTHY CITY: THE USABILITY OF THE EXISTING INFORMATION COLLECTION SYSTEM TO FULFILLMENT OF GOALS

**JURAN, S.; FOREJTNIKOVA, M.;
VYSLOUZILOVA, L.; SOVOVA, K.**

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

Keywords: surface water quality – river sediments –
pollution sources – thematic data bases

The contribution is part of the Clean Water – a Healthy City project, which deals with the prediction of the possible occurrence of hazardous chemicals during the accidental pollution and floods. Lists the databases that are currently on the subject and with their practical applicability. In the case of the Vltava River in Prague, human activities and methods of management in the river basin over this town, it describes the possibilities of predicting the occurrence of dangerous substances in the flow area in the capital. It justifies the need to introduce temporary tracking profiles for the purpose of solving the research task. It proposes the principles to complement existing monitoring networks and pollution sources databases in order to better assess the relationship between pollution sources and the impact on surface water status.

System pro kontinuální monitorování radioaktivní kontaminace povrchových vod

MICHAL FEJGL, MIROSLAV HÝŽA, JIŘÍ HŮLKA

Klíčová slova: spektrometrie gama — NaI(Tl) — monitorování radiační situace — havarijní monitorování — ^{137}Cs

SOUHRN

Článek popisuje monitorovací stanici vyvinutou pro potřeby monitorování radiační situace České republiky (ČR) a její potenciál pro účely připravenosti k odezvě na radiační mimořádnou událost. Monitorovací stanice je určena k monitorování umělé aktivity gama v povrchových vodách, její vývoj a sestavení byly uskutečněny ve spolupráci společností Nuvia, a. s., a SÚRO, v. v. i. Konstrukce monitorovací stanice je založena na principu jednoduché a robustní ponorné sondy sdružené s řídicí jednotkou a se zdrojem energie fungujícími v automatickém a autonomním režimu. Tato konstrukce vede ke snížení zranitelnosti systému při umístění v terénu, jeho měřicí dovednosti jsou zároveň posíleny sofistikovaným vyhodnocovacím softwarem na bázi singulárního rozkladu spektra umožňujícím dosáhnout citlivosti postačující pro potřeby havarijního monitorování. Byla sestavena monitorovací minisíť tvořená třemi monitorovacími stanicemi umístěnými v lokalitách v ČR klíčových z hlediska radioaktivní kontaminace vod. Vyvinutá monitorovací stanice je v článku porovnána s jinými stanicemi, které jsou pro daný účel používány, a to z hlediska jejich konstrukce a detekčních dovedností.

ÚVOD

Havárie jaderné elektrárny spojená s unikem inventáře jaderného reaktoru je vůbec nejzávažnější typ mimořádné události, k jejichž řešení byl systém připravenosti k odezvě na radiační mimořádnou událost v ČR zaveden [1–3]. V případě mimořádné události spojené s unikem inventáře reaktoru lze předpokládat uvolnění dominantní části radionuklidů do atmosféry. Radioaktivní kontaminace se po úniku do atmosféry šíří ve formě radioaktivního mraku především navázaná na částice aerosolů a v molekulární formě. Míra depozice radioaktivní kontaminace z mraku je závislá na meteorologické situaci, především na teplotně-tlakových podmínkách, a na srážkové aktivitě. Obecně platí, že nejúčinnějším depozičním procesem je vymývání radioaktivního aerosolu z atmosféry dešťovými srážkami [4]. Zároveň však nelze vyloučit ani přímý únik části radionuklidů z inventáře reaktoru do vodotečí. Z hlediska krizového řízení je klíčovou fází nehodové expoziční situace (NES) její počáteční fáze, během které dochází k úniku radionuklidů z reaktoru, současně během ní dochází v největší míře k migraci kontaminace [2, 5].

Prostředkem určeným k pilotnímu vyhodnocení informací o migraci uvolněné radioaktivní kontaminace atmosférou a o jeho aktuální depozici na povrchu během počáteční fáze NES jsou matematické modely vycházející především ze zdrojového členu nastalé havárie (možné radionuklidové složení úniku a jeho velikost), z předpovědi počasí a z výsledků monitorování prováděného podle Národního programu monitorování, které jsou shromažďovány

v datovém středisku SÚJB [5]. Zohledněna je pouze vzdušná migrace radionuklidů, matematický model pro šíření radioaktivní kontaminace vodními toky po přímém úniku do vodotečí nebo po depozici z atmosféry zatím není k dispozici.

Přes vysoký stupeň sofistikovanosti matematických modelů jejich výstupy poskytují spíše rámcový přehled o deponované kontaminaci. Zkušenosti z reálných havárií v Černobylu a ve Fukušimě ukazují, že předpokladem spolehlivosti výsledků matematických modelů je jejich okamžitá verifikace pomocí rychle dostupných doplňkových měření, ideálně prováděných v on-line režimu. K tomu dnes slouží především výsledky sítě včasného zjištění (SVZ) a síť samplerů atmosférických aerosolů. Síť včasného zjištění je tvořena 180 kontinuálně měřícími monitory dávkového příkonu vybavených Geiger-Mullerovými detektory. Část je rozmístěna v husté síti v okolí jaderných elektráren, zbytek je rozmístěn víceméně rovnoměrně po celém území ČR [5].

Měření radioaktivního aerosolu v ovzduší je prováděno v rámci sítě odběrů vzorků životního prostředí a potravního řetězce [5]. V rámci lokálních monitorovacích sítí kolem jaderných elektráren je rozmístěno šest a sedm vzorkovacích stanic, dalších deset je součástí teritoriální sítě pokrývající území ČR [6]. Filtry jsou odebírány v intervalech předepsaných Vyhláškou o monitorování radiační situace [6] a je v nich stanovena aktivita gama pomocí polovodičové gama spektrometrie. Za normálního monitorování (technický termín pro monitorování za nehavarijní situace) je interval pro výměnu filtrů 1 týden, za havarijního monitorování (technický termín pro monitorovací režim za mimořádné situace) je interval výměny aerosolových filtrů zkrácen na 24 hodin pro teritoriální síť a na 6 hodin pro lokální síť [6]. Nově byly vyvinuty i systémy on-line monitorování aerosolů s detektorem NaI(Tl) nebo HPGe nad filtrem v sampleru [7], výsledky jejich měření však zatím nejsou začleněny do systému monitorování radiační situace v ČR. Některé evropské země také disponují systémem kontinuálního monitorování gama aktivity v říčních vodách, takový systém však v ČR chybí. Začlenění těchto systémů do revidovaného Národního programu monitorování by v budoucnu mohlo vést ke zlepšení systému připravenosti k odezvě.

MONITOROVÁNÍ POVRCHOVÝCH VOD

Povrchová voda z hlediska připravenosti k odezvě představuje předmět zvláštního významu, neboť 51,7 % pitných vod v ČR je pokryto z povrchových zdrojů [8], které jsou při havárii jaderného zařízení radioaktivním spadem zranitelné. Kontaminace vodních zdrojů představuje významnou bezpečnostní hrozbu státu [9].

Monitorování povrchových vod je v ČR prováděno podle požadavků vyhlášky o monitorování radiační situace [6]. Odlišné požadavky jsou stanoveny pro teritoriální síť (území ČR), lokální síť (areál nebo okolí jaderného zařízení

nebo pracoviště III., IV. kategorie) a pro hraniční síť (místo, kde voda opouští ČR). Vyhláška vymezuje analyzované radionuklidy, četnost a citlivost analýz pro předepsaný počet monitorovacích míst v rámci jednotlivých sítí. Konkrétní analytická metoda předepsána není, Národní program monitorování SÚJB [5] ale předepisuje toto monitorování provádět formou odběrů vzorků životního prostředí. V současné praxi je zavedeno monitorování aktivity gama v odebraných vzorcích vod, prováděné pomocí laboratorní polovodičové gama spektrometrie.

V rámci normálního monitorování jsou ve vzorcích povrchových vod stanovovány aktivity (^3H , ^{90}Sr , ^{137}Cs , celková objemová alfa a celková objemová beta), ovšem frekvence odběrů je všeobecně nízká (1–12x za rok). Za havarijní situace je portfolio analýz povrchových vod zredukováno na stanovení aktivity ^{137}Cs a ^3H za současného zkrácení intervalu odběru na 6 hodin až 1 týden, přibývá však požadavek na stanovení aktivity ^{131}I v hraničních sítích.

Havarijní monitorování umožňuje v případě havárie jaderné elektrárny stanovit aktuální míru zasažení povrchových vod jak prostřednictvím úniku kontaminace přímo do vodotečí (stanovením aktivity ^3H), tak prostřednictvím úniku do atmosféry a následnou depozicí kontaminace (stanovením aktivity ^{137}Cs). Omezením tohoto monitorování je velmi malý počet odběrových bodů a relativně dlouhé odběrové intervaly, dále pak problematické provádění odběrů a přepravy vzorků za probíhající havarijní situace.

Zmíněná omezení by mohla vyřešit zavedení kontinuálního monitorování gama aktivity v říčních vodách. To by přineslo již v průběhu počáteční fáze NES doplnění informací o celkovém množství radioaktivní kontaminace deponované ze spadu, které by mělo význam i pro verifikaci matematických modelů. Vývoj aktivity umělých radionuklidů v povrchových a zejména říčních vodách v čase charakterizuje průměrnou radioaktivní kontaminaci povodí a umožňuje spolehlivější identifikaci místa a míry depozice radioaktivní kontaminace z ovzduší.

Systém kontinuálního monitorování kontaminace povrchových vod by měl současně přinést i pro ochranu zdrojů pitné vody.

MONITOROVACÍ SYSTÉM SAGMA A SÍŤ SCOMO V KONTEXTU HAVARIJNÍHO MONITOROVÁNÍ

V tomto článku je popsán nově konstruovaný monitorovací systém určený ke kontinuálnímu monitorování gama aktivity v povrchových vodách pro účely posílení připravenosti k odezvě na radiační mimořádnou událost ČR. Citlivost systému je nastavena tak, aby systém splňoval legislativní požadavky pro havarijní monitorování aktivity gama v povrchových vodách. Aby systém mohl být za havarijní situace přínosný, musí být jeho provoz ochráněn před následky havárie jaderné

elektrárny, mezi které patří především výpadek obecných dodávek elektrické energie a všeobecná panika vedoucí k chybám lidské obsluhy přístrojů. Tomu byla při konstrukci přístroje věnována zvláštní pozornost.

Vývoj systému je náplní projektu Bezpečnostního výzkumu Ministerstva vnitra číslo VI20172020083. Prvním dílčím cílem je vyvinout stanici na monitorování umělé gama aktivity v povrchových vodách, a to stanici autonomní (nezávislou na dodávkách elektrické energie a na lokálních dodavatelích datových přenosů), automatickou (fungující bez lidské obsluhy) a odolnou vůči poruchám i za extrémních klimatických a hydrologických poměrů a schopnou při běžných provozních podmínkách splnit požadavky vyhlášky č. 360/2016 Sb. vzhledem k detekčním limitům ^{137}Cs , který je všeobecně považován za optimální marker radioaktivní kontaminace při jaderné havárii. Druhým dílčím cílem projektu je pak z několika monitorovacích stanic tohoto typu sestavit monitorovací minisít pokrývající místa ČR, která jsou z hlediska zasažení radioaktivním spadem klíčová. Projekt je realizován ve spolupráci Státního ústavu radiační ochrany a Nuvia, a. s. Pro přehlednost je monitorovací stanice dále v textu pojmenovávána akronymem vycházejícím z jejího názvu v anglickém jazyce SAGMA (Station for Artificial Gamma Activity Measurement), monitorovací minisít podle stejného principu akronymem SCOMO (System for Continuous Gamma Activity Monitoring).

Výběru konstrukční varianty pro SAGMA předcházelo porovnání kontinuálních monitorů aktivity gama dostupných v literárních zdrojích s legislativními požadavky a se zavedeným systémem monitorování radiační situace v ČR.

Literatura popisuje mnoho kontinuálních měřičů gama aktivity určených pro měření v mořské vodě. Prakticky všechny popsány varianty měří ve 4π geometrii – detektor je zanořen do konstantní hloubky obvykle čtyř a více metrů do hluboké mořské vody a masa vody tak slouží současně jako analyzovaný vzorek i jako stínění. Zařízení potřebná k zásobování přístroje elektrickou energií a k vyhodnocení odezvy detektoru jsou umístěna na voru plujícím na vodní hladině. Podle požadované citlivosti přístrojů jsou voleny různé varianty detektorů, typem detektoru je zase podmíněna volba elektrického napájení [10–13].

Problematika kontinuálního měření gama aktivity v povrchových vodách je v literárních zdrojích popsána poměrně málo. Kontinuální měřiče gama aktivity byly uvedeny do provozu v řekách několika zemí západní Evropy po roce 1986 v souvislosti s černobylskou jadernou havárií. Tyto přístroje jsou ve většině případů založeny na principu gama spektrometrického proměňování vzorků vody ve stíněné nádobě, do které je vzorek vody přečerpán [14–17]. Použitím stínění je zvýšena citlivost, ovšem složitá konstrukce vede k tomu, že tyto přístroje prakticky není možné provozovat v autonomním a automatickém režimu. Navíc většina těchto přístrojů nepracuje v kontinuálním, ale v semikontinuálním režimu (další vzorek je čerpán k analýze až po odměření předchozího). Casanovas a kol. [18] popisuje systém instalovaný k monitorování jaderné elektrárny Ascó ve Španělsku měřící v kontinuálním režimu založeném na principu plovoucího integračního časového okna.

Tabulka 1. Požadavky vyhlášky č. 360/2016 Sb. na detekční meze pro stanovení umělé gama aktivity v povrchových vodách
Table 1. Requirements of Decree No. 360/2016 Coll. detection limits for the determination of artificial gamma activity in surface water

Nuklid	Síť	Monitorování	Typ vzorku vody	Frekvence	Požadavek na MDA
^{137}Cs	teritoriální, lokální	normální	povrchové, pitné	3 měsíce	0,1 Bq.L ⁻¹
^{137}Cs	lokální	normální	kapalné výpustě	3 měsíce	0,1 Bq.L ⁻¹
^{137}Cs	lokální	normální	podzemní	12 měsíců	0,1 Bq.L ⁻¹
^{137}Cs	lokální	havarijní	povrchové, pitné	6 hodin	5 Bq.L ⁻¹
^{137}Cs	hraniční	havarijní	povrchové, pitné	1 týden	10 Bq.L ⁻¹
^{131}I	hraniční	havarijní	povrchové, pitné	1 týden	10 Bq.L ⁻¹

Steinmann [19] popisuje kontinuální monitorovací stanici říčních vod SARA Water System využívající ponornou sondu ve 4π geometrii instalovanou na dvou řekách ve Švýcarsku. Provozování tohoto systému v říčním prostředí přináší oproti mořskému prostředí několik komplikací. Pro mořské prostředí je sice charakteristická vysoká pozadová aktivita ^{40}K , tento příspěvek je ale pro každou lokalitu prakticky konstantní. Příspěvek terestriální složky pozadí je v mořském prostředí téměř potlačen díky mocné vrstvě stínící vody mezi detektorem a dnem, stejně jako příspěvek kosmického záření díky mocné vrstvě vody mezi detektorem a mořskou hladinou. Ten je navíc vlivem stabilní hloubky prakticky konstantní. Při měření aktivity gama ponorným detektorem v říčním prostředí příspěvek od terestriální i kosmogenní složky pozadí značně kolísá, a tím snižuje citlivost detektoru. V říčním prostředí je navíc pozadí ovlivněno dalším rušivým faktorem, a to je aktivita radonu a jeho přeměnových produktů. Ty jsou při deštích strhávány z ovzduší a splachovány z břehů a za určitých okolností mohou vést až ke zdvojnásobení celkové četnosti impulsů. Některé dceřiné produkty ^{222}Rn , například ^{218}Bi způsobují spektrální interference s ^{137}Cs , v obdobích po silných deštích je tedy citlivost detekčního systému využívajícího ponorný detektor silně snížena [19, 20]. S touto komplikací se potýkají i průtočné stíněné přístroje určené ke stanovení gama aktivity říčních vod [18].

Vzhledem k tomu, že vyvíjený monitorovací systém SCOMO je určen především pro havarijní monitorování, je potřeba, aby detekční dovednosti SAGMA splňovaly požadavky vyhlášky č. 360/2016 Sb. na havarijní monitorování, ty jsou definovány pro ^{131}I a ^{137}Cs a jejich přehled je uveden v *tabulce 1* společně s požadavky na detekční meze pro normální monitorování [6].

Nejpřísnější legislativní požadavek na meze detekce pro stanovení ^{137}Cs [6] v povrchových vodách v rámci havarijního monitorování je 5 Bq.L^{-1} (viz *tabulku 1*). Zohledníme-li následky historicky jedině havárie jaderné elektrárny s únikem inventáře reaktoru v Evropě, tedy havárie jaderné elektrárny v Černobylu, po níž byly v povrchových vodách západní Evropy aktivity ^{137}Cs až 1 Bq.L^{-1} , lze konstatovat, že požadavek vyhlášky je stanoven racionálně a že havarijní monitorování s předepsanou citlivostí by v případě havárie podobného rozsahu umožnilo monitorovat distribuci kontaminace ve vzdálenosti až prvních několika tisíců kilometrů.

VÝVOJ STANICE NA KONTINUÁLNÍ MONITOROVÁNÍ AKTIVITY GAMA VE VODÁCH A VYBUDOVÁNÍ MONITOROVACÍ MINISÍTĚ

Při výběru konstrukční koncepce SAGMA a při zohlednění požadavků na detekční citlivost, autonomnost a na automatický provoz, bylo přistoupeno ke konstrukci monitorovací stanice na bázi ponorné sondy. Jedině tato konstrukční varianta umožňuje provozovat přístroj v režimu autonomního energetického napájení pomocí solárního panelu a dlouhodobý bezobslužný provoz zařízení. Další výhodou této varianty jsou mimořádně nízké náklady na výrobu monitorovací stanice. Nevýhodou této konstrukce je nutnost vyrovnat se s výkyvy pozadí, které měření nestíněnou ponornou sondou přináší.

Výběr detektoru byl uskutečněn na základě porovnání detekčních dovedností dvojpalcového NaI(Tl) , 1,5palcového LaBr_3 a třípalcového NaI(Tl) . Tyto varianty byly uvažovány pro svoji cenovou dostupnost a nízkou energetickou náročnost. Použití polovodičových detektorů nebylo uvažováno právě pro vysokou energetickou náročnost související s nutností detektor dochlazovat. V laboratorních podmínkách sudu o objemu 1 m^3 ve tvaru krychle naplněném roztokem ^{137}Cs s definovanou aktivitou byly provedeny orientační energetická a účinnostní kalibrace porovnávaných detektorů.

Jako nejvýhodnější varianta detektoru byl vyhodnocen třípalcový NaI(Tl) s nejvyšší účinností detekce. Nejlepší energetické rozlišení prokázal 1,5palcový LaBr_3 , ale vzhledem k tomu, že není dostupný v rozměrech nad 1,5 palce, byl



Obr. 1. Vlevo: SAGMA instalovaný v areálu vodní elektrárny Na Réně v Ivančicích, řeka Morava; vpravo: ponorná sonda sestávající z detektoru (vpravo nahoře) a fotonásobiče (vpravo dole)

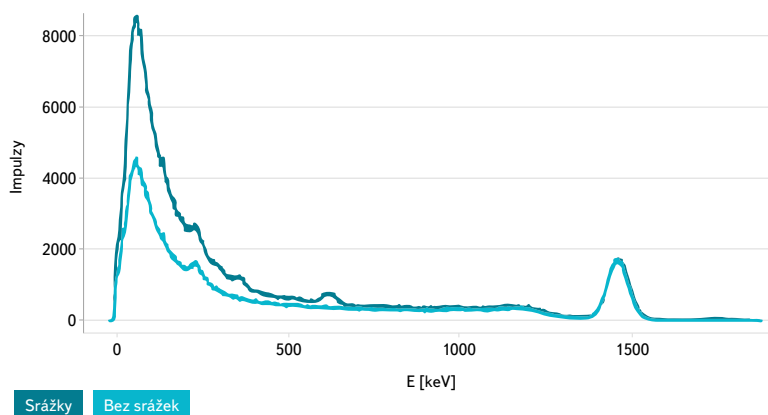
Fig. 1. Left: SAGMA installed in the area of hydro power plant Na Réně in Ivančice, the Morava River; right: immersion probe consisting of detector (up) and photomultiplier (down)

z výběru vyřazen. Nelze však vyloučit, že budoucnost přinese lepší zvládnutí technologie pěstování LaBr_3 krystalů a s ní i jejich široké uplatnění na poli nízkonákladové gama spektrometrie.

Vlastní konstrukce zařízení SAGMA sestává z ponorné sondy a z vnější řídicí jednotky vybavené zdrojem elektrického napájení a systémem přenosu dat. Ponorná část je tvořena NaI(Tl) detektorem válcového tvaru o průměru 3 palce a délce 3 palce zapouzdřeným ve vodotěsném plastovém tubusu spolu s fotonásobičem (SBG.D3 od NuviaTech Instruments), který je připojen k multikanálovému analyzátoru s nastavitelným zesílením v rozsahu 256 až 2048 kanálů (NuNA MCB3 od NuviaTech Instruments).

Popsaný gamaspektrometrický systém je schopen detekovat energie fotonů v rozsahu 50 až 1900 keV, do kterého spadá většina gama emitujících radionuklidů. Energetické rozlišení na energii ^{137}C 661 keV je 7,5 %. Celková hmotnost systému je asi 10 kilogramů.

Přenos dat z multikanálového analyzátoru do řídicí jednotky je uskutečňován pomocí připojení typu Ethernet. Řídicí jednotka sestává z počítače vybaveného komerčním SW Gamwin 2019 na zpracování gamaspektrometrického signálu a z komunikačního modulu, který umožňuje odesílání dat přes GPRS nebo přes satelitní telefon. Napájení solárním panelem, případně kombinací solárního panelu a větrné turbíny je sdruženo s lithiovou baterií o kapacitě 900 Ah schopnou zajistit provoz SAGMA po dobu 14 dnů. Systém SAGMA instalovaný v terénních podmínkách a použitá ponorná sonda jsou zobrazeny na *obr. 1*.



Obr. 2. Navýšení přírodního pozadí vlivem příspěvku radonu a jeho přeměnových produktů spláchnutých do vodního toku deštěm ve srovnání se spektrem mimo dešťové období

Fig. 2. Increase of natural background due to the contribution of radon and its conversion products flushed into the watercourse by rain compared to the spectrum outside the rain season

Vzhledem k tomu, že vlivem změn teploty dochází k posunům energetické kalibrace, SW Gamwin provádí periodickou stabilizaci spektra založenou na měření vsudypřítomného ^{40}K s energií 1461 keV.

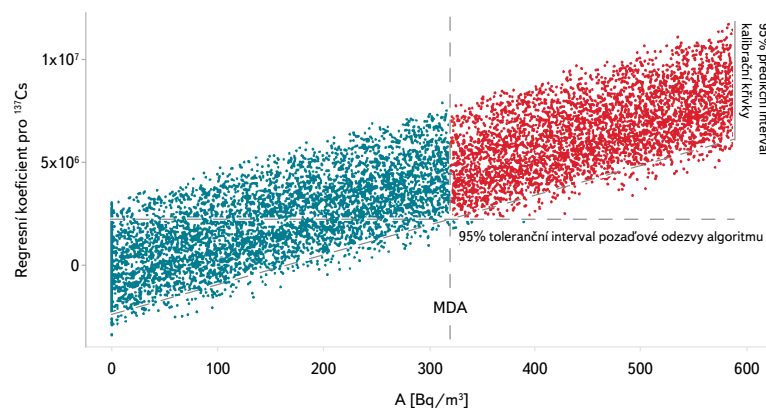
Precizní energetická a účinnostní kalibrace byla provedena pomocí etalonových roztoků ^{241}Am , ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs a ^{60}Co o aktivitě přibližně $10\text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ v plastovém sudu tvaru krychle o rozměrech $1 \times 1 \times 1\text{ m}$. Etalonové roztoky byly stabilizovány proti nehomogenitě a proti sorpci na stěnu přidavkem stabilních nosičů a minerálních kyselin.

Vlastní kalibrace detektoru byla provedena proměřováním kalibračních roztoků po dobu 48 hodin v sekvenčním detekčním režimu s použitím 10minutové sekvence. Prostřednictvím sekvenčního měření bylo ověřeno, že aktivita kalibračních roztoků se během kalibrace nemění, tedy že kalibrační roztok je homogenní.

Přepočet účinnostní kalibrace z geometrie barelu o rozměrech $1 \times 1 \times 1\text{ m}$ na nekonečnou 4π geometrii byl proveden simulací v prostředí Monte Carlo. Hodnota korekčního koeficientu pro vysoké energie gama (^{60}Co) je 85 %. To znamená, že v nekonečné 4π geometrii v říční vodě pochází 85 % detekovaných fotonů z prostoru virtuální krychle o rozměrech $1 \times 1 \times 1\text{ m}$, v jejímž středu je detektor.

K prověření detekčních dovedností SAGMA ve vodních tocích bylo provedeno dlouhodobé měření říční vody v tárovacím kanále Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v v. i., (VÚV TGM) v Praze pomocí ponorné části SAGMA. Prakticky šlo o měření odezvy sondy na pozadové koncentrace radionuklidů v říční vodě. Testování bylo prováděno v poloterénních podmínkách, protože neprobíhalo ve standardním řečišti s proměnlivou úrovní vodní hladiny a s bahnitým dnem, ale v kanále s betonovým dnem a s úrovní hladiny regulovanou přepadem. Nicméně složení vody v kanále kolísá stejně jako v řece Vltavě. Hloubka vody v tárovacím kanále je stabilizována na 1,8 m, ponorná část sondy byla do vody zanořena tak, aby se střed detektoru nacházel 0,8 m ode dna a 1 m od vodní hladiny. Sběr pozadí byl uskutečněn v období od dubna 2017 do června 2019, kdy byly zkompletovány první tři exempláře SAGMA a mohlo být přistoupeno k zahájení testování systému v terénních (autentických říčních) podmínkách.

Vyhodnocení datasetu získaného dlouhodobým měřením v tárovacím kanále bylo jedním z klíčových kroků celého procesu vývoje SAGMA. Spektra byla získána kontinuálním měřením v desetiminutovém integračním okně. Při tomto měřicím režimu SW kontinuálně vyhodnocuje spektrum tvořené pulsy detekovatelnými za posledních 10 minut. Vyhodnocením spektra je tedy



Obr. 3. Metoda stanovení NDA při použití algoritmu NASVD; k výpočtu byla použita množina 5×10^4 spekter s matematicky simulovaným přidavkem ^{137}Cs o aktivitě mezi 0 a $600\text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$; průsečík přímek značících 95% toleranční interval pozadové odezvy a 95% odezvy na spektra s přidanou aktivitou indikuje NVA

Fig. 3. Method of determination of NDA using an algorithm NASVD; a set of 5×10^4 spectrum with mathematically simulated addition of ^{137}Cs with activity between 0 and $600\text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ was used for the calculation; intersection of lines indicating 95% background response interval and 95% response to spectrum with added activity indicated by NVA

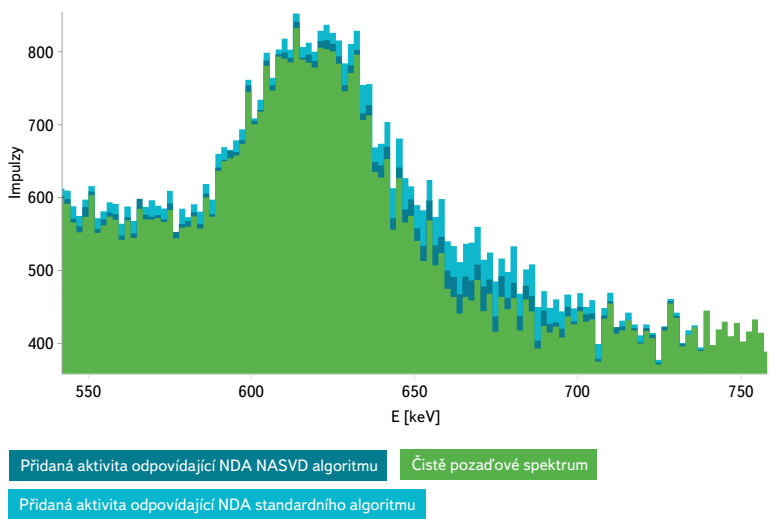
získána informace o průměrném složení vody, která protekla kolem detektoru za posledních 10 minut. Integrační dobu je možné libovolně měnit, kratší integrační doba vede ke snížení citlivosti, delší zase ke snížení reprezentativnosti. Aby bylo možné spektra analyzovat i zpětně, byly každých 10 minut nápočty za posledních 10 minut ukládány.

Časový průběh gama spekter vykazuje stabilní koncentrace gama aktivity v řece Vltavě, k výraznému navýšení dochází pouze po deštích. Po bouřích a po přívalových deštích dochází v říční vodě až ke zdvojnásobení celkové aktivity gama. To je způsobeno splachováním radonu a jeho přeměnových produktů jednak přímo ze vzduchu, jednak z povrchu říčních břehů. Jak je patrné z obr. 2, v dešťovém spektru je výrazně navýšena především aktivita ^{214}Bi s energií 609 keV, dále pak ^{214}Pb (242, 295 a 352 keV).

Standardní metoda analýzy je založena na píkové analýze s využitím numerické derivace spektra, která zohledňuje pouze lokální vlastnosti spektra a pro složitá spektra s výskytem interferujících radionuklidů je neúčinná. Při použití standardní analýzy gama spektra ovlivněného dešťovou událostí dochází ke zvýšení hodnot detekčních mezí pro jednotlivé radionuklidy, zejména pro ty, u nichž dochází ke spektrálním interferencím. Silně ovlivněny jsou také detekční meze pro ^{137}Cs , jehož hlavní energie gama je 662 keV při energetickém rozlišení NaI(Tl) detektoru koliduje právě s energií ^{214}Bi 609 keV a pro ^{131}I s hlavní energií gama 364 keV, se kterým zase koliduje pík ^{214}Pb s energií 352 keV.

ZVÝŠENÍ CITLIVOSTI DETEKČNÍHO SYSTÉMU SAGMA POMOCÍ NASVD

Z důvodu proměnlivosti pozadí a spektrálních interferencí byla jako primární analýza zvolena metoda PCR (Principle Component Regression), která patří do rodiny dekonvolučních algoritmů. Její výhodou je zejména to, že básová spektra lze odvodit na základě souboru pozadových měření. Jednotlivá pozadová spektra jsou pak uspořádána do matice, jejíž singulární rozklad (NASVD – Noise Adjusted Component Regression) poskytuje básová spektra, která lze použít pro přesné fitování pozadí metodou nejmenších čtverců. Doplněním bázového souboru o spektrální odezvu detektoru pro vybrané radionuklidy lze pak nejenom detekovat, ale i kvantifikovat aktivitu těchto radionuklidů.



Obr. 4. Porovnání spekter uměle kontaminovaných pulsy ¹³⁷Cs na úrovni odpovídající NDA pro různé metody odečtu pozadí; při použití standardní metody je hodnota NDA 0,84 Bq.L⁻¹, při použití NASVD metody je to 0,24 Bq.L⁻¹
Fig. 4. The comparison of spectrum artificially with ¹³⁷Cs pulses at the NDA-compliant level for different background subtraction methods; when using the standard method the value is NDA 0.84 Bq.L⁻¹, when using NASVD method the value is 0.24 Bq.L⁻¹

Tato metoda je používána v oblasti letecké gama spektrometrie [21], může ale být použita i v jiných oblastech, v poměrech ČR již byla využita při kontinuálním měření gama aktivity v aerosolech pomocí NaI(Tl) detektoru [7].

Stanovení mezí detekce pro spektra analyzovaná metodou NASVD bylo provedeno Monte Carlo simulací, ve které byly do pozadových spekter uměle přidávány impulsy odpovídající jisté virtuální aktivitě hodnoceného radionuklidu. Tato spektra pak byla podrobena analýze detekčním algoritmem. Výsledek analýzy (regresní koeficient) byl následně vztažen k virtuální aktivitě (aktivitě odpovídající uměle přidaným pulsům).

Výpočet nejmenší detekovatelné aktivity (NDA) je vyjádřen na obr.3. Přidaná aktivita odpovídá NDA, když podíl falešně negativních a falešně pozitivních pozorování je právě 5 %. V grafickém znázornění je to aktivita odpovídající průsečíku přímky odpovídající 95% tolerančnímu intervalu hodnot regresního koeficientu pro spektra bez přidané aktivity a přímky odpovídající jednostrannému predikčnímu intervalu kalibrační křivky s pokrytím 95 %.

Účinnost algoritmu NASVD při odečtu pozadí lze dobře demonstrovat porovnáním uměle kontaminovaných gama spekter na úrovni NDA pro NASVD a pro standardní metodu odečtu pozadí. Jako standardní metoda byl použit výpočet SW Gamwin pracující se standardním přístupem podle L. A. Currieho [22]. Na obr. 4 je zobrazeno pozadové spektrum v oblasti zájmu pro ¹³⁷Cs (vymezeno bílou barvou). Tmavě modře vybarvená oblast vymezuje uměle injektované pulsy ¹³⁷Cs potřebné k dosažení NDA při vyhodnocení pomocí metody NASVD, světle modře vybarvená oblast pak pulsy potřebné k dosažení NDA při standardní metodě.

Vzhledem k tomu, že za určitých okolností může být účelné provádět kontinuální měření v delších integračních časech, bylo sčítáním původních 10 m spekter vytvořeno pět datasetů obsahující 10m, 1h, 4h, 12h a 24h spektra. Vzhledem k tomu, že spektra získaná po deštových událostech vykazují výrazné fluktuace, byly vytvořeny dvě skupiny spekter v rámci těchto pěti datasetů, 1. spektra změřená během a po deštových událostech, dále jen „dešťová spektra“ a 2. spektra ovlivněná i neovlivněná deštovými událostmi, dále jen „všechna spektra“. Rozdělení spekter umožnilo provést zhodnocení vlivu nepříznivých meteorologických podmínek na NDA.

Pro všech deset datasetů pak byly stanoveny hodnoty NDA pro ¹³⁷Cs a ¹³¹I, a to jednak standardní metodou odečtu pozadí, jednak pomocí metody NASVD. Porovnání je zobrazeno v tabulkách 2 a 3.

Tabulka 2. Hodnoty NDA pro pozadí datasetu „všechna spektra“
Table 2. NDA values for “all spectrum” dataset background

NDA [Bq.L ⁻¹]	Všechna spektra	Integrační čas				
Radionuklid	Metoda	10 min	1 h	4 h	12 h	24 h
¹³¹ I	Standardní	3,6	1,48	0,74	0,25	0,13
	NASVD	1,29	0,52	0,26	0,16	0,13
¹³⁷ Cs	Standardní	4,2	1,7	0,84	0,28	0,14
	NASVD	1,41	0,57	0,28	0,16	0,12

Tabulka 3. Hodnoty NDA pro pozadí datasetu „dešťová spektra“
Table 3. NDA values for the “rainfall spectrum” dataset background

NDA [Bq.L ⁻¹]	Dešťová spektra	Integrační čas		
Radionuklid	Metoda	10 min	1 h	4 h
¹³¹ I	Standardní	5,3	2,9	1,8
	NASVD	1,42	0,69	0,36
¹³⁷ Cs	Standardní	8,4	3,1	1,7
	NASVD	2,26	0,83	0,37

Porovnání standardní metody odečtu pozadí a NASVD metody ukazuje, že čím jsou podmínky měření méně příznivé (větší výkyvy pozadí, kratší integrační čas), tím má zapojení NASVD větší význam. Největší rozdíl ve výsledných NDA byl zaznamenán při použití kratších integračních časů u deštových spekter. V takových případech vede použití NASVD až k pětinasobnému snížení výsledné NDA, zatímco při stabilním pozadí a dlouhých integračních časech mohou být výsledky obou metod srovnatelné.

Hodnoty dosažených NVA mohou mít velký vliv na praktickou uplatnitelnost systému v havarijní připravenosti státu. Porovnáním hodnot NDA v tabulkách 2 a 3 s požadavky [6] vyplývá, že při desetiminutové integrační době by za deštové události SAGMA se standardní metodou odečtu pozadí legislativní požadavky nesplnila, zatímco při použití metody NASVD ano.

Metoda NASVD dále přináší zvýhodnění SAGMA ve srovnání s konkurencí. Ve srovnání se SARA Water System, přístrojem podobné konstrukce [19] vykazuje SAGMA poloviční hodnoty detekčních mezí. Ve srovnání s přístrojem měřícím vodu ve stíněné průtočné nádobě [18] byly při 24hodinovém integračním čase a použití datasetu „všechna spektra“ meze detekce zařízení SAGMA přibližně 15x vyšší. To je způsobeno skutečností, že při měření ponornou sondou nejsou odstíněny dominantní složky pozadí (terestriální, kosmické) tak účinně, jako při použití oloveného stínění. Ovšem při zkrácení integračního času na 10 minut již je dominantní část pozadí tvořena radionuklidy obsaženými v proměřované vodě. Díky účinnému odečtu tohoto zdroje fluktuací metodou NASVD je dosaženo snížení poměru mezi hodnotami NDA zařízení SAGMY a průtočné stíněné sondy na hodnotu 1,4.

Vzhledem k tomu, že SAGMA je určena přednostně pro havarijní monitorování, můžeme desetiminutový integrační čas považovat za přednostní režim předpokládaného využití vyvíjeného systému (výhoda spočívající ve vysokém časovém rozlišení stanovené aktivity). Za podmínek havarijního monitorování je oproti konkurenci SAGMA zvýhodněna zejména jednoduchou robustní konstrukcí schopnou bez přerušení měření zvládnout následky havarijní situace.

Ačkoli oproti stíněným systémům vykazuje SAGMA významně nižší citlivost, při použití požadového datasetu „všechna spektra“ dosahuje SAGMA při přibližně 24hodinovém integračním čase NDA pro ^{137}Cs hodnoty $0,1 \text{ Bq.L}^{-1}$, tedy legislativního požadavku pro normální monitorování [6]. Výše uvedené hodnoty mezi detekce spočítané z požadových hodnot vody v tárovacím kanále ve VÚV TGM naznačují, že SAGMA má díky metodě NASVD z hlediska detekční citlivosti potenciál zcela nahradit současný způsob monitorování gama aktivity v povrchových vodách.

SESTAVENÍ MINISÍTĚ SCOMO

Během léta 2019 byly zkompletovány první tři exempláře přístroje SAGMA včetně autonomního zásobování elektrickou energií a dálkového přenosu dat. Přístroje byly umístěny do monitorovacích bodů, čímž byla sestavena prvotní forma monitorovací sítě SCOMO. První exemplář SAGMA nahradil provizorní sondu v tárovacím kanále VÚV TGM, další dva byly umístěny v reálných říčních podmínkách řeky Jihlavy v lokalitě Ivančice (viz obr. 1) a řeky Vltavy v lokalitě Kořensko. Minisít SCOMO je od srpna 2019 provozována ve zkušebním provozu, který bude pokračovat do dubna 2020. Cílem je po skočení testovacího provozu SCOMO začlenit do systému monitorování radiační situace v ČR.

ZÁVĚR

Byla sestavena monitorovací stanice umělé aktivity gama v povrchových vodách na bázi nízkorozpočtové ponorné sondy sdružené s řídicí jednotkou a s autonomním zdrojem napájení. Díky algoritmu NASVD byla citlivost monitorovací stanice zvýšena natolik, že vyhovuje legislativním požadavkům a za mimořádně nepříznivých klimatických podmínek vyvinutý systém může konkurovat i přístrojům měřícím vzorky vody ve stíněné cele. Z monitorovacích stanic byla sestavena monitorovací minisít, její schopnost autonomního a automatického provozu je momentálně testována. V rámci testování minisítě jsou sbírány datasey popisující fluktuace pozadí v jednotlivých lokalitách.

Poděkování

Výzkum byl podpořen projektem Ministerstva vnitra České republiky (projekt V120172020083).

Literatura

- [1] SÚJB, Vyhláška o podrobnostech k zajištění zvládání radiační mimořádné události č. 359/2016 Sb., 2016.
- [2] SÚJB, Atomový zákon č. 263/2016 Sb., 2016.
- [3] US NRC, Emergency classification. 2018 [vid. 1. 8. 2019]. Dostupné z: <https://www.nrc.gov/about-nrc/emerg-preparedness/about-emerg-preparedness/emerg-classification.html>
- [4] PAPASTEFANOU, C., IOANNIDOU, A., STOULOS, S. and MANOLOPOU, M. Atmospheric deposition of cosmogenic ^7Be and ^{137}Cs from fallout of the Chernobyl accident. *Science of the Total Environment*, 1995, 170, p. 151–156.
- [5] SÚJB, Národní program monitorování. 2018 [vid. 1. 8. 2019]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/dokumenty-a-publikace/narodni-program-monitorovani/>
- [6] SÚJB, Vyhláška o monitorování radiační situace č. 360/2016 Sb., 2016.
- [7] HÝŽA, M. and RULÍK, P. Low-level atmospheric radioactivity measurement using a NaI(Tl) spectrometer during aerosol sampling. *Applied Radiation and Isotopes*, 2017, 126, p. 225–227.
- [8] FOUŠOVÁ, E. a REIDINGER, J. *Zpráva o stavu vodního hospodářství ČR v roce 2016*. Ministerstvo zemědělství, 2017, 132 str.
- [9] Ministerstvo vnitra České republiky. Audit národní bezpečnosti, 2016 [vid. 1.8.2019]. Dostupné z: <https://www.vlada.cz/assets/media-centrum/aktualne/Audit-narodni-bezpecnosti-20161201.pdf>

[10] DULAI, H., KAMENIK, J., WATERS, C.A., KENNEDY, J., BABINEC, J., JOLLY, J., and WILLIAMSON, M. Autonomous long-term gamma-spectrometric monitoring of submarine groundwater discharge trends in Hawaii. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2016, 307, p. 1865–1870.

[11] OSVATH, I., POVINEC, P.P., LIVINGSTON, H.D., RYAN, T.P., MULSOW, S., and COMMANDUCCI, J.F. Monitoring of radioactivity in NW Irish Sea water using a stationary underwater gamma-ray spectrometer with satellite data transmission. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2005, vol. 263, No. 2, p. 437–440.

[12] TSABARIS, C., THANOS, I., and DAKLADAS, T. The development and application of an underwater gamma-spectrometer in the marine environment. *Radioprotection*, 2005, vol. 40, S1, p. 677–683.

[13] SARTINI, L., SIMEONE, F., PANI, P., LO BUE, N., MARINARO, G. et al. GEMS: underwater spectrometer for long-term radioactivity measurements. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 2011, vol. 626–627, p. 145–147.

[14] FANC: Radiological monitoring in Belgium. 2005, FANC report, Brussels.

[15] IRSN: IRSN Activity report 2002 [vid. 1. 8. 2019]. Dostupné z: https://www.irs.fr/EN/publications/corporate/Documents/irs_n_annual_report_2002.pdf

[16] SONCK, M., DESMEDT, M., CLAES, J., and SOMBRÉ, L. TELERAD: The Radiological Surveillance Network and Early Warning System in Belgium. Proceedings of IRPA12: 12. Congress of the International Radiation Protection Association: Strengthening Radiation Protection Worldwide – Highlights, Global Perspective and Future Trends, 2012.

[17] GITZINGER, C., HENRICH, E., and TURAI, I. Doel Nuclear Power Station and the national network of environmental radiological monitoring Belgium. European Commission Document, 2013.

[18] CASANOVAS, R., MORANT, J.J., and SALVADO, M. Implementation of gamma-ray spectrometry in two real-time water monitors using NaI(Tl) scintillation detectors. *Applied Radiation and Isotopes*, 2013, 80, p. 49–55.

[19] STEINMANN, P. Radioactivity in river water below nuclear plants, the new network monitors the Aare and the Rhine on an ongoing basis. *Aqua & gas*, 2013, 10.

[20] FEJGL, M. and HÝŽA, M. Development of an autonomous station for measurements of artificial gamma activity in surface water bodies. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2019, 204, p. 42–48.

[21] MINTY, B. and HOVGGAARD, J. Reducing noise in gamma-ray spectrometry using spectral component analysis. *Exploration Geophysics*, 2002, vol. 33, No. 3, p. 172–176.

[22] CURRIE, L.A. Limits for qualitative detection and quantitative determination. *Appl. Radiochem. Anal. Chem.*, 1968, vol. 40, No. 3, p. 586–593.

Autoři

Mgr. Michal Fejgl, Ph.D.

✉ michal.fejgl@suro.cz

Ing. Miroslav Hýža

✉ miroslav.hyza@suro.cz

Ing. Jiří Hůlka

✉ jiri.hulka@suro.cz

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

Příspěvek prošel lektorským řízením.



SYSTEM FOR CONTINUOUS MONITORING OF RADIOACTIVE CONTAMINATION OF SURFACE WATER BODIES

FEJGL, M.; HYZA, M.; HULKA, J.

National Radiation Protection Institute, p.r.i.

Keywords: gamma spectrometry — NaI(Tl) — monitoring of radiation situation — emergency monitoring — ^{137}Cs

This paper reports on the structure of the autonomous station for monitoring artificial gamma activity in surface water bodies for the purposes of emergency preparedness of the Czech Republic. A simple design based on the NaI(Tl) submersible detector powered by a combined solar and wind source has been employed. Data transfer is provided by a satellite connection. The detection capabilities of the device have been tested for various unfavourable conditions, and the detection limits have been lowered by using the noise adjustment singular value decomposition (NASVD) method. The detection capabilities of the device fulfil the legal requirements for emergency monitoring, and are almost equal to the detection capabilities of other available devices with a more complicated and less versatile structure. A monitoring network consisting of three monitoring stations was built in the Czech Republic. These stations are placed in spots that are important from the point of view of water vulnerability from radioactive contamination.

Monitoring odpadové obslužnosti pro tříděné složky komunálního odpadu na území Hlavního města Prahy

DAGMAR VOLOŠINOVÁ, ROBERT KOŘÍNEK, MARCELA MAKOVCOVÁ

Klíčová slova: odpad – odpadová obslužnost – třídění – komunální odpad – monitoring

SOUHRN

Management každé obce, kraje, potažmo státu potřebuje ke svému rozhodování a plánování základní vstupní data, která dokladují aktuální skutečnost. Nejjednodušší způsob, kterým lze získat data o produkci odpadu a nakládání s ním, je monitoring v předem nastavených pravidelných intervalech. V tomto článku je popsán průběh a částečné výsledky monitoringu odpadové obslužnosti Hlavního města Prahy, který probíhá v rámci řešení projektu „Odpady a předcházení jejich vzniku – praktické postupy a činnosti při realizaci závazků krajského Plánu odpadového hospodářství hlavního města Prahy“.

ÚVOD

Cílem předloženého příspěvku je prezentovat dosud získané výsledky monitoringu odpadové obslužnosti tříděných složek komunálního odpadu (KO) ve vybraných lokalitách na území Hlavního města Prahy (HMP). Jedná se o nejucelenější rozbor odpadové obslužnosti, který byl na území hlavního města doposud proveden. Ve spolupráci s Pražskými službami, a. s., a oddělením odpadů Magistrátu hlavního města Prahy (MHMP) jsou získávány informace z šesti oblastí, které představují zástupce tří typů zástavby, které se nacházejí na území HMP. Cílem projektu je přesné vyhodnocení stávajícího stavu produkce komunálních odpadů v kraji HMP a identifikaci inovativních způsobů nakládání se tříděnými složkami a zbytkovým směsným komunálním odpadem s cílem plnění závazků krajského Plánu odpadového hospodářství hlavního města Prahy (KPOH HMP) [1]. Nedílnou součástí projektu je také problematika správného nastavení opatření pro předcházení vzniku odpadů. Znalost výchozího stavu je důležitým předpokladem k nastavení reálně dosažitelných cílů a indikátorů jejich plnění v oblasti nakládání s komunálními (a jim podobnými) odpady.

METODIKA

Pro metodiku hodnocení odpadové obslužnosti byl zvolen měsíčně se opakující monitoring čistoty tříděných složek KO, čistoty okolí kontejnerových hnízd (KH) a monitorovaných oblastí. Součástí hodnocení je i rozbor směsného komunálního odpadu (SKO) sváženého ze tří monitorovaných lokalit, tj. zástupců tří typů zástavby (sídlíštní, vilová a smíšená – resp. centra města). Na počátku byly ve spolupráci s oddělením odpadů MHMP a zástupci Pražských služeb, a. s., vybrány dvě lokality pro každý typ zástavby. Pro vilovou zástavbu

je to stará část Modřan a Újezdu nad Lesy, sídlíštní zástavbu představuje sídliště Modřany, Petrovice a Horní Měcholupy, smíšenou či centrální zástavbu část Prahy 1 a Prahy 6. Pro každý typ zástavby jsou rozlohy sledovaných lokalit obdobně velké s podobnou hustotou osídlení [2]. Největší oblastí je centrum Prahy 1, a to z důvodu trasy svozu směsného komunálního odpadu. Od Pražských služeb, a. s., byly obdrženy konkrétní adresy kontejnerových hnízd a časový rozpis svozů, podle kterých jsou daná místa obcházena v co nejbližší době před plánovaným svozem nejčastěji vyvážených komodit, tj. plastu a papíru. Při každé obchůzce je místo nafoceno, do tabulek zaznamenána využitelnost kapacity kontejneru, čistota separované složky a okolí jak kontejnerů, tak celé sledované oblasti. Je sledován „littering“ (pro potřeby monitoringu se zaměřujeme na volně pohozený odpad v místech KH), vizuální kontrola skladby obsahu pouličních odpadkových košů i náhodné chování obyvatel při separaci odpadu. Získaná data jsou průběžně zpracovávána a vyhodnocována se snahou zjistit, které faktory a jak ovlivňují sledované ukazatele. Pro toto hodnocení se zatím jako nezbytná jeví demografická vizualizace daných míst, díky které lze názorněji zachytit vlivy jak uvnitř (např. pěší trasy na MHD, ke školám či obchodním a zdravotním centrům, blízkost restaurací či zábavných podniků), tak i vně (např. blízkost hlavních příjezdových tras z okrajových oblastí nebo spádových obcí, parkoviště P+R apod.) monitorované oblasti.

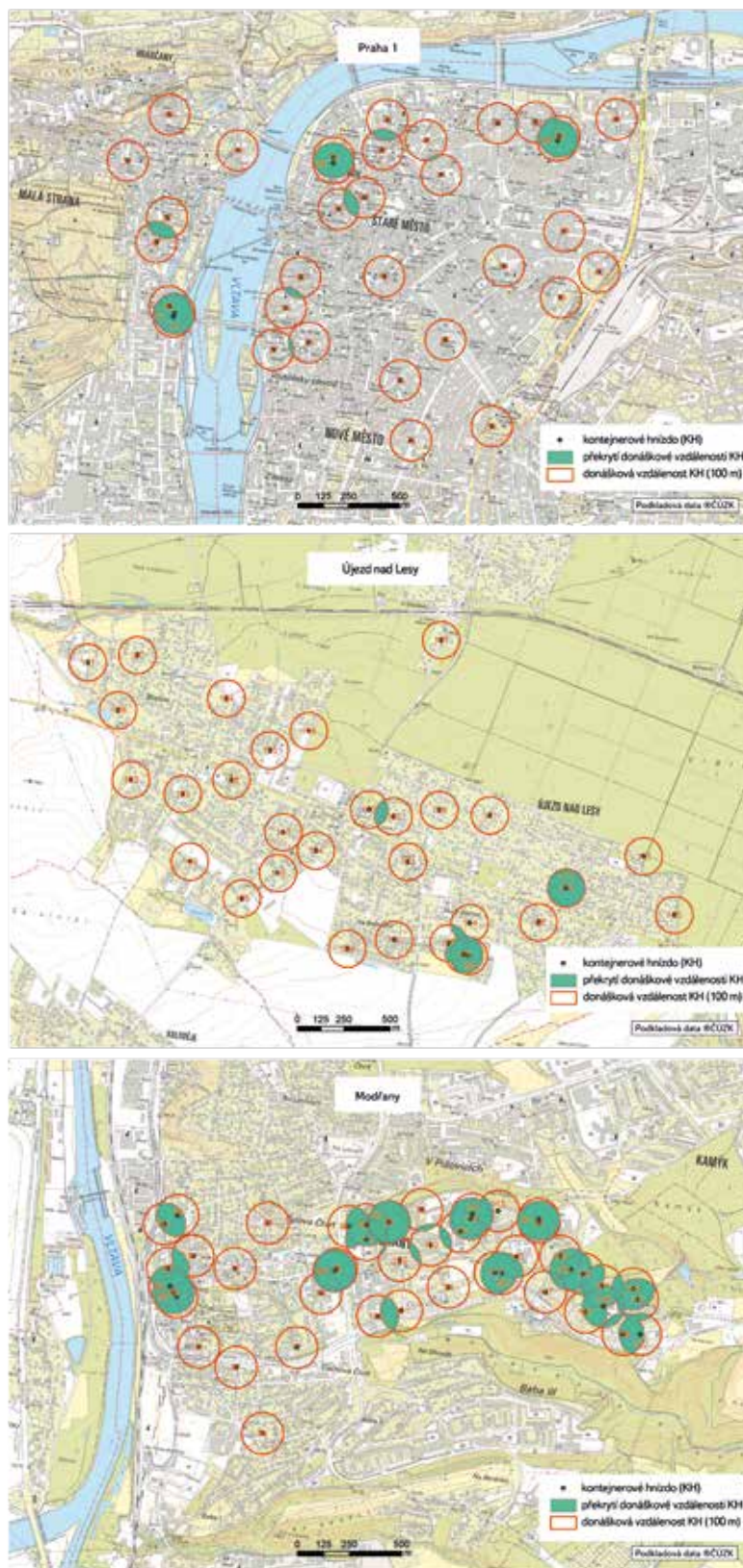
Z dodaného souboru, který obsahoval prostorové informace o jednotlivých lokalitách pro odkládání tříděného odpadu, byla vytvořena v prostředí ArcGIS geoprostorová bodová vrstva (shapefile) v souřadném systému JTSK. Tato bodová vrstva obsahuje atributy s informací o souřadnicích jednotlivých kontejnerových hnízd a jejich adresou. Podle zadaných parametrů byl vytvořen kolem jednotlivých kontejnerových hnízd buffer (obálka) o velikosti donáškové vzdálenosti 100 metrů. Následně byla provedena v prostředí ArcGIS prostorová analýza, která vycházela z bodové vrstvy a vytvořeného bufferu donáškové vzdálenosti.

Výsledkem celého procesu je nová geoprostorová vrstva překrytí jednotlivých donáškových vzdáleností (*obr. 1*).

Všechny sledované oblasti včetně map a fotodokumentací jednotlivých kontejnerových hnízd jsou uvedeny na internetových stránkách projektu [3].

VÝSLEDKY

Počty sledovaných KH včetně jejich kapacit jsou uvedeny v *tabulce 1*. Z dosud získaných dat, jejichž sběr bude ukončen v první polovině roku 2020, lze uvést následující:



Obr. 1. Monitorovaná kontejnerová hnízda a překrytí donáškových vzdáleností (centrální zástavba – Praha 1, sídlištní zástavba – Modřany, vilová zástavba – Újezd nad Lesy)
 Fig. 1. Monitored container nests and overlapping delivery distances (central development – Prague 1, housing development – Modřany, residential development – Újezd nad Lesy)

Jako zástupce smíšené/centrální zástavby byly vybrány oblasti se staršími bytovými domy a s minimální zelení v jejich okolí, o kterou by se starali jejich obyvatelé.

Praha 1 (P1) je díky území Pražské památkové rezervace specifická. Kromě veřejně dostupných KH je přibližně 1000 sběrných míst umístěno přímo v bytových domech. Jedná se o kontejnery o objemu 0,12–0,24 m³ pro barevné sklo, papír a plast vyvážené 1x za 1–2 týdny. Při monitoringu nejsou tyto kontejnery evidovány z důvodu nedostupnosti. Při náhodné možnosti kontejner zkontrolovat lze konstatovat, že neanonymní separace je efektivní a mnohem čistější než veřejná anonymní. To také potvrzují i vně umístěné kontejnery (např. pro papír) uzamykatelné pro konkrétní právnické osoby/obchody (obr. 2). Objemný odpad lze odkládat na 12 místech, a to jeden den v každém měsíci [4]. Objemný odpad, jako např. elektrospotřebiče, lednice, sporáky, stavební suť, pneumatiky, lze odložit ve sběrném dvoře. Nejbližší je sběrný dvůr hlavního města Prahy v ulici Perucká (Praha-Vinohrady) [4], kam lze odložit i nebezpečné odpady. Biologicky rozložitelný odpad (BRO) je svážen velkoobjemovým kontejnerem jednou měsíčně z jednoho místa. Veřejně dostupný kontejner pro elektroodpad se nachází pouze v ulici Široká a Žitná. Pražské služby, a. s., zajišťují i svoz gastroodpadu [5, 6]. Veřejně dostupné kontejnery pro textil jsou umístěny na Senovážném náměstí a jejich provoz zajišťuje firma Potex [7].



Obr. 2. Tříděný papír od právnické osoby
 Fig. 2. Sorted paper from a legal entity/businessmen

V Praze 6 (P6) je velkoobjemový kontejner přistavován na 9 místech v naší monitorované oblasti, a to jedenkrát za dva měsíce. Residenti, pokud mají u domu zahradu, využívají vlastní kompostéry nebo nádobu pro BRO, která je vyvážena 1x za dva týdny. Veřejně dostupný kontejner pro textil ve sledované oblasti není (dva jsou umístěny za frekventovanou silnicí v ulici Jugoslávských partyzánů). Kontejnery pro elektroodpad se nachází na Sibiřském náměstí.

Tabulka 1. Počty sledovaných KH a jejich kapacity
Table 1. Numbers of monitored container nests and their capacity

Sběrná nádoba/komodita	Objem na 1 obyv. ve sledovaných lokalitách [l]						Objem na 1 obyv. Prahy podle KPOH [l]	Četnost svozu [t] (týden)
	P1	P6	P12 sídl.	P15 sídl.	P12 vily	P21		
Počet sledovaných KH v oblasti	30	20	19	32	15	27		
papír a lepenka	2,88	2,43	5,9	2,91	7,19	5,42	4,49	1–7× 1 t
plasty vč. PET	2,88	2,20	2,3	3,09	3,76	5,56	3,61	1–7× 1 t
sklo kombinované	0,08	0,25	2,64	2,97	1,71	0	3,43	1× 1–2 t (P1 a P6); 1× 6 t
sklo barevné	1,38	1,82	1,9	1,45	4,12	8,11	2,82	1× 1–4 t (P1 a P6); 1× 6 t
sklo čiré	1,38	1,27	1,9	1,45	1,54	3,51	0,2	1× 1–4 t (P1 a P6); 1× 6 t
nápojový karton	0,77	10,6	1,9	1,25	1,79	2,15	1,62	1× 1 t (0,24); 1× 2 t (1,1)
kovy	0,89	0,25	0,21	0,87	0,38	0,56	0,54	1× 2–4 t (P1); 1× 6 t
BRO	-	-	-	0,85	-	-		
elektro	0,16	0,16	2,07	5,30	3,67	1,36	0,25	1× 4 t
textil	0,27	0,27	0,96	0,41	2,56	0,95	0,36	1× 4 t



Obr. 3. Littering v blízkosti kontejnerových hnízd
Fig. 3. Littering near container nests



Obr. 4. Přeplněné kontejnery – výběr Praha 1 ul. Rytířská a Masná
Fig. 4. Crowded containers – selection Prague 1 Rytířská and Masná street



Obr. 5. Přeplněné kontejnery na papír – výběr Praha 15

Fig. 5. Crowded containers for paper waste – selection Prague 15

Sídlištní zástavbu představují sídliště s typickými panelovými domy z 80. a 90. let 20. století.

Praha 15 (P15) poskytuje informace o možnostech nakládání s odpady na velmi přehledných a aktualizovaných stránkách Městské části Praha 15 [8]. Kontejner pro velkoobjemový odpad je ve sledované oblasti přistavován jednou měsíčně, a to na 48 místech podle půl roku předem zveřejněného rozpisu. Sběrný dvůr je vzdálen cca 1,5 km. Textil lze ukládat do tří kontejnerů Diakonie Broumov. BRO bylo možné odkládat do hnědých sběrných nádob, které byly vyváženy jedenkrát týdně. Stav těchto kontejnerů byl v projektu sledován, ale po ukončení pilotního projektu třídění BRO v prosinci 2018 se tento typ odpadu stal opět součástí smíšeného komunálního odpadu. Tento postup byl z pohledu obyvatelstva poměrně značně kritizován.

Praha 12 (P12) má velmi přehledně vypracované internetové stránky s informacemi pro občany [9]. Přistavování kontejneru na objemný a biologicky rozložitelný odpad je prováděno prakticky po celou dobu, a to v intervalech minimálně 1x měsíčně u BRO na 22 stanovištích a pro objemný odpad na 32 stanovištích. V mezidobí je možno odpady odevzdat na sběrném dvoře vzdáleném z nejbližšího místa sledované části 3,2 km.



Obr. 6. Příměsi v kontejnerech pro nápojové obaly

Fig. 6. Admixtures in containers of beverage packaging

Vilová zástavba je tvořena rodinnými domy s různě velkými soukromými zahradami, na kterých je vyprodukován ve větší míře i BRO. Většina domů není vytápěna tuhými palivy, tj. ve smíšeném komunálním odpadu se nenachází popel.

Praha 21 (P21) své občany informuje o způsobech nakládání s odpady na aktuálních přehledných webových stránkách [10]. Zájemcům byly poskytnuty hnědé kontejnery na separaci bioodpadu, které jsou vyváženy 1x za 14 dní. Velkoobjemový kontejner je přistavován 1x měsíčně na minimálně dvou místech ve sledované oblasti. Nejbližší sběrný dvůr se nachází v sousední obci Běchovice vzdálený přibližně 3 km.

DISKUSE

Hnízda kontejnerů pro tříděné složky komunálního odpadu je problematické zřizovat zejména z důvodu nedostatku ploch, a to jak na sídlištích, kde konkurují na parkovištích automobilům, tak v centru Prahy, kde je umístění KH kompromisem odpadové obslužnosti místních residentů a požadavků odboru památkové



Obr. 7. Biowpad s příměsí jiných odpadů
Fig. 7. Biowaste with admixture of other waste



Obr. 8. Sklo na Praze 21
Fig. 8. Glass of Prague 21



Obr. 9. Ponechávané potraviny k dalšímu využití; „Předávací budka“ Praha 12 sídliště
Fig. 9. Preserved food for further use; “Transfer box” Prague 12 housing estate

péče MHMP. Tato hlediska musí být v souladu s dostupností pro svozovou techniku. Nicméně obecně lze říci, že všechna KH jsou umístěna efektivně, zejména v místech frekventovaného výskytu obyvatel, tj. na trasách k parkovištím, obchodním centrům, centrům služeb, školních a zdravotních zařízení a na trasách k zastávkám MHD. Na některých místech (např. Veronské náměstí (P15)) jsou některé kontejnery nevyužitelné z důvodu špatné dostupnosti, ve vymezeném prostoru jsou nahuštěné na sebe tak, že je nelze otevřít.

Jako nejzřetelnější problém zejména sídlišť, ale i míst v ostatních oblastech, která jsou nějakým způsobem „skrytá“ a vzdálená od obydlí, je littering. Obyvatelé na těchto místech s odpadem mnohem častěji nakládají nevhodně. Zejména na sídlištích se lze opakovaně setkat s odloženým objemným odpadem (nábytek, suť po rekonstrukcích bytů, stará sanita, vysloužilé elektrospotřebiče, obalové materiály od elektrospotřebičů a nábytku) mimo kontejnery (obr. 3).

Nejvíce přepřlované jsou kontejnery na papír a plast, a to i přesto, že jsou například na Praze 1 vyváženy v některých místech i 7x týdně. Nejčastěji je to v blízkosti restaurací (např. ul. Rytiřská, Vodičkova, Masná), provozoven služeb (např. kadeřnické a kosmetické salony; Milánská 413 (P15), Botevova 5 (P15),

Levského 17 (P12), Modřanská 3 (P12)) anebo v místech, kde je v blízkosti hlavní komunikace, kde KH využívají i obyvatelé jiných pražských čtvrtí, resp. okolních obcí, při cestě do zaměstnání (např. ul. Generála Šišky (P12), Vazovova (P12), Račiněveská (P21)). Z tohoto důvodu nejsou do monitoringu zahrnuta KH v okrajových oblastech v místech parkovišť, kde parkoviště a KH využívají „přespolní“ (ul. Gen. Šišky (P12)).

Z nepřiměřeně velkého rozdílu mezi naplněností jednotlivých KH, která jsou vyvážena ve stejných intervalech, lze usuzovat, že někteří drobní podnikatelé jsou zapojeni do systému obce vývozem nádob s neodpovídající potřebnou kapacitou, tj. mají nasmalován vývoz nejmenší možné sběrné nádoby a pro vyprodukovaný tříděný odpad navíc využívají KH pro residenty (obr. 4).

Ve všech oblastech je v kontejnerech pro papír a plast častým problémem jejich nerozložení a nesešlapávání. Často byly v kontejnerech pro papír celé krabice, které zaplnily objem, a budily tak dojem plnosti kontejneru, a tím ovlivňovaly chování obyvatel, kteří pak zanechávali vytříděný papír vně kontejneru, nebo jej vhodili do nejbližšího prázdnějšího kontejneru (nejčastěji do kontejneru na nápojové kartony (NK)). Z tohoto hlediska se lze domnívat, že jsou lepší plechové kontejnery s úzkým vhozovým otvorem, než kontejnery s otevíracím víkem (obr. 5).

Nebylo výjimkou, že k KH byl donesen obal od elektroniky, tj. papírová krabice uvnitř s polystyrenem, který byl ponechán na zemi neroztřídněný a nerozložený.

Dalším důvodem znečištění separované složky je její ponechání v donášené tašce/sáčku, který je z odlišného materiálu než separovaná složka. Z tohoto důvodu se často v plastovém odpadu nacházejí papírové tašky a v papírovém odpadu, bioodpadu, kovovém odpadu nebo nápojových kartonech tašky/sáčky plastové.

Pokud je jeden z druhů kontejneru na separovaný odpad přeplněn, velmi často se stává, že donesený vytříděný druh odpadu je položen vně kontejneru nebo je vhozen do nejbližšího prázdnějšího kontejneru, přestože je určen na jiný separovaný druh. Nejvíce jsou takto využívány kontejnery pro nápojové kartony, které v některých případech připomínají spíše kontejner pro SKO (obr. 6).

Sběr BRO byl monitorován na sídlišti P15, kde probíhal pilotní projekt sběru BRO do hnědých kontejnerů. Kontejnery nikdy nebyly plné, tj. byla optimálně nastavená četnost vyvážení. Jako problematické se jeví ponechávání bioodpadů v plastových sáčcích nebo zeleniny a ovoce v původním plastovém obalu, v kterém jsou prodávány. Další komplikací je znečištění kontejnerů po vyprázdnění a v teplých ročních obdobích výskyt hmyzu (obr. 7).

Umístění kontejnerů pro textil u školních a předškolních zařízení (P12), v blízkosti domu s pečovatelskou službou (P15), u obchodního centra nebo parkoviště (P12, P15) se zdá být velmi efektivní a v průběhu monitoringu nebyl nikdy v jejich okolí nalezen nepořádek.

V oblastech, kde nejsou kontejnery pro separaci kovu, je znatelná jejich potřeba, a to zejména nyní, kdy se zvýšila prodejnost nápojů v hliníkových obalech a hliníkových a kovových nádob s krmivem pro domácí mazlíčky. V případě jejich separace a nepřítomnosti kontejneru pro kov jsou tyto odpady nejčastěji vhažovány do kontejnerů pro nápojové kartony. Podle našeho pozorování by bylo vhodné zvýšit počet vyvážení v letních měsících. Zvýšená obliba a prodej nápojů v tomto druhu obalu byl znatelný podle obsahu kontejnerů i pouličních odpadkových košů [10].

V blízkosti restaurací (např. Valdštejské nám.) nebo sídlišť se často vyskytují celé kuchyňské nádoby nebo střepy z porcelánu. V lepším případě jsou nechávány vně kontejneru, často se ale nacházejí v barevném či smíšeném skle.

Ze všech tříděných druhů odpadů bylo nejméně problematické bílé sklo, následně pak sklo barevné či smíšené. V ojedinělých případech byly v kontejneru nalezeny také zářivky. Nastavení vývozu se jeví jako dostatečné. Pouze v letních měsících, kdy je obecně větší spotřeba nápojů ve skleněných obalech, bylo jejich vyvážení nedostatečné (zejména v P 21, obr. 8).

Na sídlišť jsou často u KH (ale také u kontejnerů na SKO) vně ponechávány potraviny, oděvy nebo ještě použitelné objemné odpady. Chybí reuse centra nebo místa možného předávání (viz existující, avšak málo využívaná Předávací budka P 12, obr. 9).

ZÁVĚR

Na základě dosavadního monitoringu odpadové obslužnosti ve vybraných lokalitách na území hlavního města Prahy lze konstatovat, že technologie odděleného sběru využitelných složek komunálního odpadu je poměrně dobře nastavená. Jako hlavní důvod znečišťování separovaných druhů odpadů se jeví určitá nedisciplinovanost nebo částečná neznalost obyvatel. Magistrát hlavního města Prahy spolu s Pražskými službami, a. s., se snaží navyšovat kapacity kontejnerů pro separované složky komunálního odpadu, a to buď výměnou za větší druh kontejneru, nebo, zejména na Praze 1, zřízením podzemních kontejnerů. V průběhu sledování docházelo i k zhušťování sítě kontejnerů pro kovový odpad a podle aktuálních informací se také uvažuje o zmenšení potřebného prostoru hnízd kontejnerů sloučením kontejnerů pro plastový odpad a nápojové obaly v jeden. Občané jsou kampaněmi motivováni k zmenšování objemu tříděných odpadů a udržování čistoty v okolí kontejnerů. Informace o nakládání s odpadem jsou dostupné na internetových stránkách Magistrátu hlavního města Prahy, Pražských služeb, a. s., a jednotlivých městských částí, které tyto informace zároveň šíří i písemnou formou; přesto je zřejmé, že v separaci vybraných složek odpadů jsou značné rezervy, které rovněž sledujeme při rozboru SKO ze sledovaných oblastí. Konečné návrhy na nastavení reálné dosažitelných cílů a indikátorů jejich plnění v oblasti nakládání s komunálními odpady budou součástí závěrečné zprávy řešeného projektu v polovině roku 2020.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory projektu CZ.07.1.02/0.0/0.0/16_040/0000379 Odpady a předcházení jejich vzniku – praktické postupy a činnosti při realizaci závazků krajského Plánu odpadového hospodářství hlavního města Prahy.

Literatura

- [1] *Krajský plán odpadového hospodářství hlavního města Prahy na období 2016–2025 (Portál životního prostředí hlavního města Prahy)* [online]. [vid. 2. září 2019]. Dostupné z: http://portalzp.praha.eu/jnp/cz/odpady/koncepcni_dokumenty/POH_hlmPrahy_krajsky_2016.html
- [2] KUBÁŇ, D. *Sociodemografická studie se zaměřením na oblasti svozu komunálního odpadu*, 2018.
- [3] *Odpady a předcházení jejich vzniku (VÚV TGM, v. v. i.)* [online]. [vid. 30. srpen 2019]. Dostupné z: <https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/projekty/polrustu2odpady/default.asp?>
- [4] *Odpady. Praha 1* [online]. [vid. 22. srpen 2019]. Dostupné z: <https://www.praha1.cz/cistota-a-zivotni-prostredi/odpady/>
- [5] *Mapa sběrných dvorů a dalších vybraných zařízení k nakládání s odpady v hl. m. Praze. Praha. eu-portál hlavního města Prahy* [online]. [vid. 22. srpen 2019]. Dostupné z: http://www.praha.eu/jnp/cz/o_meste/zivot_v_praze/sluzby/odpady/sberne_dvory/mapa_sbarnych_dvoru/index.html
- [6] *GASTRO ODPAD – biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven – Pražské služby, a. s. Pražské služby* [online]. [vid. 22. srpen 2019]. Dostupné z: <https://www.psa.cz/index.cfm/o-spolecnosti/nove-projekty/gastro-odpad-kuchyne-stravovny/>
- [7] VLADIMÍR@GRAPHICLOVERS.CZ, D. by V. S. *Recyklujeme Textil.cz. Recyklujeme Textil.cz* [online]. [vid. 22. srpen 2019]. Dostupné z: <https://www.recyklujeme.cz/kde-najdete-kontejnery>
- [8] *Městská část Praha 15 – Kontejnery. Městská část Praha 15* [online]. [vid. 23. srpen 2019]. Dostupné z: <https://www.praha15.cz/urad/odbory-uradu/odbor-zivotniho-prostredi/kontejnery/>
- [9] *Odpady. Praha 12. Praha 12* [online]. [vid. 23. srpen 2019]. Dostupné z: <https://www.praha12.cz/odpady/ds-1138/p1=64331>
- [10] *Odpadové hospodářství P 21. Praha 21* [online]. [vid. 23. srpen 2019]. Dostupné z: <http://www.praha21.cz/temata/odpadove-hospodarstvi#XV-fC-gzaUm>

Autoři

Ing. Dagmar Vološinová

✉ dagmar.volosinova@vuv.cz

Ing. Robert Kořínek, Ph.D.

✉ robert.korinek@vuv.cz

Ing. Marcela Makovcová

✉ marcela.makovcova@vuv.cz

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

Příspěvek prošel lektorským řízením.

MONITORING OF WASTE SERVICES FOR SORTED COMPONENTS OF MUNICIPAL WASTE IN THE CAPITAL CITY OF PRAGUE

VOLOSINOVA, D.; KORINEK, R.; MAKOVCOVA, M.

TGM Water Research Institute, p.r.i.

Keywords: waste — waste management —
sorting — municipal waste — monitoring

Management of each municipality, region or state needs for its decision-making and planning basic input data, which prove actual facts. The easiest way to obtain data on production and waste management is to monitor at pre-set regular intervals. This article describes the progress and partial results of the monitoring of waste services in the Capital City of Prague, which is carried out within the framework of the project "Wastes and their prevention – practical procedures and activities in implementation of obligations of the Regional Waste Management Plan of the City of Prague".



Měření malých průtoků pomocí měrných přelivů

JAN HLOM, PAVEL BALVÍN

Klíčová slova: ostrohranné měrné přelivy — přepadový součinitel — měření malých průtoků — chyby měření

SOUHRN

Příspěvek prezentuje výsledky hydraulického fyzikálního výzkumu měrných přelivů pro měření malých, resp. minimálních průtoků. Výzkum se zaměřil na určení součinitelů přepadu pro nízké přepadové výšky. V příspěvku jsou uvedeny výsledky měření pro trojúhelníkový, obdélníkový a kruhový ostrohranný přeliv. Naměřená data jsou porovnávána se vztahy podle jednotlivých autorů a je určena vhodnost jejich použití pro oblast nízkých přepadových výšek. V rámci měření byly také provedeny pokusy s polokruhovou přelivnou hranou. Při laboratorním testování byly zkoumány rozdílné umístění přelivu vůči proudu a jejich vliv na výsledky měření.



Obr. 1. Měrný přeliv osazený v terénu
Fig. 1. Measuring weir situated in the stream

ÚVOD

Pro kontinuální měření minimálních průtoků na malých vodních tocích lze použít měrné přelivy, které dokážou s velkou přesností měřit široký rozsah průtoků (obr. 1). Vlastní měření je realizováno nepřímo pomocí měření polohy hladiny nad měrným přelivem (pomocí tlakové sondy či ultrazvukového hladinoměru) a znalosti vztahu mezi výškou přepadového paprsku a odpovídající hodnotě průtoku. Vzhledem k častým suchým periodám a ke stále většímu tlaku na monitoring minimálních zůstatkových průtoků je přesnost měření minimálních průtoků na malých vodních tocích aktuálním tématem. Minimální či malý průtok lze pro námi zkoumanou oblast definovat v rozsahu jednotek litrů za vteřinu. Při měření malých, resp. minimálních průtoků ovšem nastává celá řada obtíží a problémů. Nízké průtoky přepadají přes přeliv s malou přepadovou výškou, při které již není hodnota součinitele přepadu v rozsahu platnosti používaných vzorců. Dále dochází k problémům se zanášením přelivů plávkami, které může do značné míry zkreslit měřené průtoky.

Seznam značek a symbolů		Indexy	
b	šířka přelivu [m]	e	efektivní
B	šířka koryta před přelivem [m]	kh	kruhová hrana
D	průměr [m]	max	maximální
g	gravitační zrychlení [m/s ²]	měř	měřené
h	výška [m]	oh	ostrá hrana
L	délka [m]	p	přepadová
m	přepadový součinitel [-]	rel	relativní
q	průtok při průměru kruhu 1 dm [m ³ /s]	rov	vypočítané
Q	průtok [m ³ /s]	t	těžiště
R	chyba [%]	u	umístění
r	poloměr přelivné hrany	v	výtok
s	výška vzdutí k přelivné hraně [m]		
S	plocha [m ²]		
t	tloušťka přelivu		
μ	součinitel přepadu [-]		
ξ	součinitel zúžení [-]		

V rámci laboratorního testování byly ověřovány hodnoty přepadového součinitele pro různé ostrohranné měrné přelivy a pro nízké přepadové výšky. Naměřená data byla porovnána s hodnotami podle rozličných autorů a byla ověřena vhodnost jejich použití pro nízké přepadové výšky. Dále byla testována kruhová přelivná hrana a její vliv na kapacitu a chování přepadového paprsku. V rámci laboratorního testování byly zkoumány rozdílné umístění přelivu vůči proudu. Měrné přelivy byly vyrobeny metodou 3D tisku, která zajišťovala variabilitu a přesnost při výrobě různých tvarů přelivů.

METODIKA EXPERIMENTŮ

Veškeré laboratorní experimenty probíhaly v malé vodohospodářské hale Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v. v. i., v pevném hydraulickém žlabu šířky 500 mm. Dodávka vody byla zajištěna pomocí čerpací stanice, která čerpala vodu z dolní nádrže do vysoko položené nádrže, jež zajišťovala stálou tlačnou výšku pomocí přelivu s dlouhou přelivnou hranou. Z této nádrže byla potrubím přivedena voda do žlabu. Průtok byl nastaven na základě velikosti otevíření šoupěte na přívodním potrubí. Před vlastním vtokem do



Obr. 2. Umístění přelivu ve žlabu

Fig. 2. Measuring weir situated in the laboratory flume

žlabu byl instalován Thomsonův měrný přeliv. Voda na konci žlabu byla odvedena odpadním potrubím do dolní nádrže.

Testovaný měrný přeliv byl při každém měření umístěn ve středu žlabu ve výšce 40 cm nade dnem žlabu (obr. 2). Testovaný přeliv byl umístěn cca 3,5 metru od nátoky do žlabu. Na nátoky do žlabu byl umístěn tlumič přitékající vody, který zajišťoval její uklidnění a rovnoměrný nátok do žlabu. Tlumič byl tvořen dvěma ocelovými rošty, mezi nimiž bylo umístěno kamenivo. Testované přelivy měly šířku 10–30 cm a výšku 5–15 cm. Rozsah měřených průtoků byl od 0,2 l/s do 20 l/s.

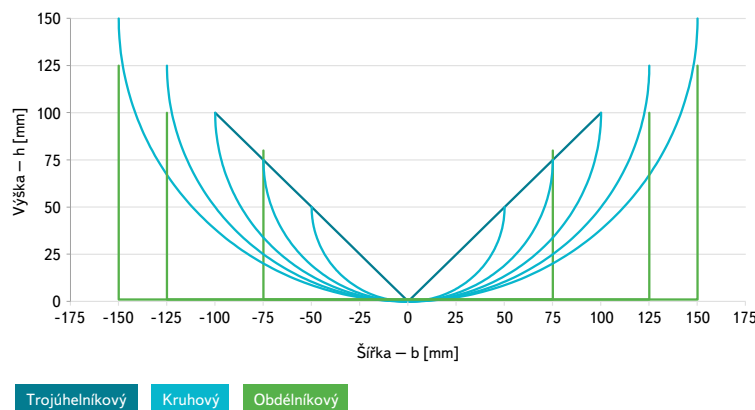
Typický průběh pokusu lze charakterizovat následovně, ve žlabu je nainstalovaný příslušný měrný přeliv (není ovlivněn dolní vodou), na Thomsonově přelivu je nastaven požadovaný průtok a poloha hladiny před měrným přelivem se nemění (stav je ustálený). V této chvíli je možné odečíst polohu hladiny před měrným přelivem pomocí hrotových měřitek. První hrotové měřítko je umístěno ve skleněném válci spojeném dnovým odběrem se žlabem, dnový odběr se nachází 45 cm před měrným přelivem, tj. vzdálenost $3 \cdot h_{p,max}$ protiproudě před měrným přelivem. Druhé hrotové měřítko měří výšku hladiny ve stejném místě a je umístěné na posuvném nosníku na vrcholu žlabu.

Průtoky do cca 7 l/s byly měřeny pomocí kalibrované měrné nádoby. Měrná nádoba měla tvar kvádra o rozměrech 0,4 m × 0,5 m × 0,3 m, hladina v nádobě byla měřena pomocí osazeného hrotového měřítka. Měrná nádoba byla opatřena koly, takže s ní bylo možné jednoduše a rychle manipulovat. Měření průtoky probíhalo následovně – pod přepadový paprsek pod měrným přelivem byla nasunuta měrná nádoba, v tento okamžik bylo započato měření času pomocí stopky, jakmile došlo k naplnění měrné nádoby, došlo k odsunutí měrné nádoby a zastavení stopky, tento postup byl obvykle dvakrát opakován pro každý pokus. Typická doba odběru byla 120–7 s. Nejistotu měření průtoky lze odhadnout pomocí uměle zavedené chyby měření času o velikosti 0,2 s. V mezním případě, kdy je průtok roven cca 7 l/s, je doba plnění měrné nádoby 71 s, pokud zavedeme umělou chybu $\pm 0,2$ s, změní se hodnota měřeného průtoky o ± 3 %. Pro nízké průtoky s dlouhou dobou odběru je velikost chyby v řádech desetin procenta. Průtoky větší než 7 l/s byly měřeny pomocí kalibrovaného měrného Thomsonova přelivu umístěného před vtokem do žlabu. Lze předpokládat obdobnou přesnost měření průtoky jako pomocí měrné nádoby.

OSTROHRANNÉ MĚRNÉ PŘELIVY

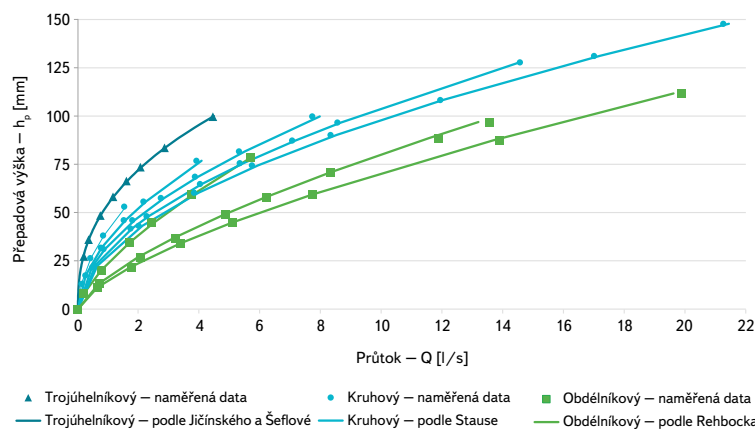
V rámci laboratorního měření byly testovány tři ostrohranné přelivy pro měření malých průtoků (trojúhelníkový, obdélníkový a kruhový přeliv). Přelivná hrana testovaných přelivů byla konstruována následovně – šířka přelivné hrany byla 1 mm a poté byla zkosena pod úhlem 45° pro zajištění volného přepadového paprsku. Provedení přelivné hrany je ve shodě s normou ČSN ISO 1438 [1]. Testované geometrie přelivů a naměřené konsumční křivky jsou zobrazeny na obr. 3 a 4. Naměřené hodnoty byly konfrontovány s hodnoty predikovanými jednotlivými vzorci a dále bylo zkoumáno chování jednotlivých přelivů při minimálních přepadových výškách.

Pro každý měrný přeliv byla určena hodnota přepadové výšky, pod kterou již dochází k „přilnutí“ přepadového paprsku na vlastní konstrukci měrného přelivu. Tato výška představuje limitní minimální výšku pro vlastní měření průtoky pomocí měrného přelivu. U obdélníkového přelivu dochází k přilnutí při výšce přepadového paprsku cca 10 mm, u trojúhelníkového přelivu při výšce cca 15 mm a u kruhového přelivu při výšce cca 20 mm.



Obr. 3. Rozměry testovaných měrných přelivů

Fig. 3. Tested weir dimensions



Obr. 4. Konsumční křivky ostrohranných přelivů z obr. 3 proložené vztahy vybraných autorů

Fig. 4. Sharp-crest weir discharge curves from fig. 3 with formulas from selected authors

TROJÚHELNÍKOVÝ PŘELIV (THOMSONŮV)

Trojúhelníkový přeliv s vrcholovým úhlem o velikosti 90°, též nazýván „Thomsonův“ přeliv, je vhodný na lokality s velkým rozsahem měřených průtoků. Trojúhelníkový přeliv dokáže přesně měřit malé i velké průtoky, jeho nevýhodou je snadné zanesení průtočného profilu při minimálních přepadových

výškách. Průtok trojúhelníkovým rovnoramenným přelivem lze obecně vypočítat následovně [2]:

$$Q = \frac{8}{15} \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot \operatorname{tg}(\alpha) \cdot h_p^{2,5} \quad [m^3/s] \quad (1)$$

Pro trojúhelníkový pravouhlý přeliv bývá nejčastěji udávána Thomsonova rovnice [3]:

$$Q = 1,4 \cdot h_p^{2,5} \quad [m^3/s] \quad (2)$$

pro 0,06 m < h < 0,65 m

Havlík [4] pro tento vztah udává meze platnosti 0,05 m < h < 0,18 m a zároveň B/h ≥ 8 a s/h ≥ 3.

Dále je také uváděna rovnice podle Kinga [5]:

$$Q = 1,343 \cdot h_p^{2,47} \quad [m^3/s] \quad (3)$$

pro 0,05 m < h < 0,55 m

Jičínský a Šeflová [2] navrhli na základě porovnání řady vztahů vztah pro výpočet:

$$\mu = 0,5684 \cdot h_p^{-0,023} \quad [-] \quad (4)$$

pro 0,05 m < h < 0,65 m a s ≥ 3h B ≥ 8h

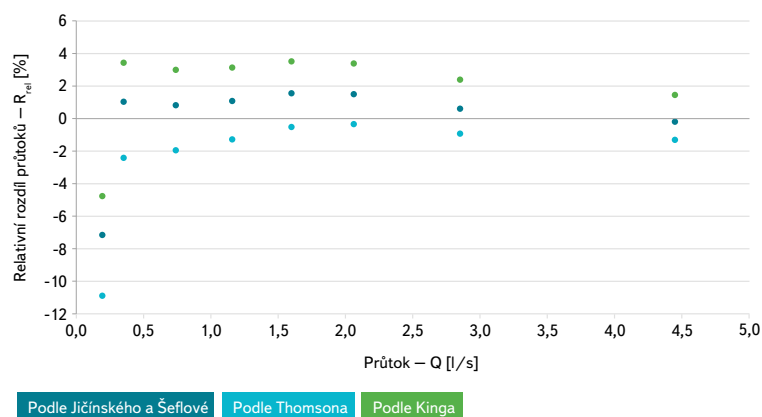
Porovnání výsledků měření na trojúhelníkovém přelivu s vrcholovým úhlem 90° s hodnotami stanovenými podle výše uvedených vzorců je zobrazeno na obr. 5. Porovnání je provedeno pomocí R_{rel} – relativního rozdílu měřeného průtoku a hodnotou průtoku stanoveného podle výše uvedených rovnic. Z porovnání je patrné, že největších relativních rozdílů je dosahováno při malých průtocích, resp. malých přepadových výškách. Při vyšších průtocích jsou již chyby zanedbatelné, neboť se již výška přepadového paprsku dostává do platných hodnot použitelnosti vzorců pro výpočet přepadového součinitele.

$$R_{rel} = \frac{Q_{rov} - Q_{měř}}{Q_{měř}} \cdot 100 \% \quad [%] \quad (5)$$

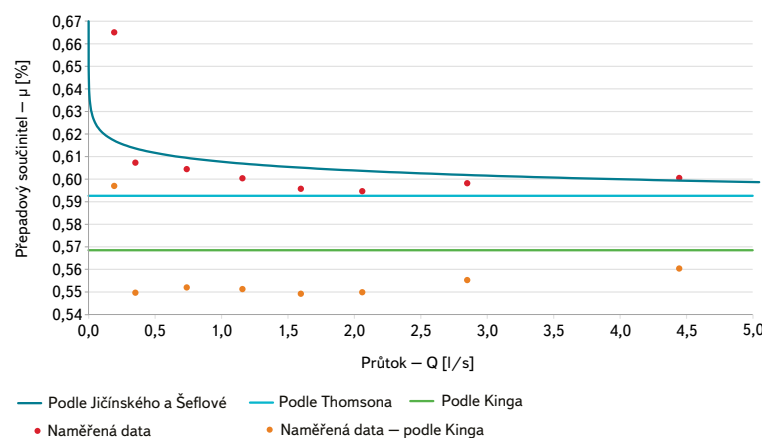
Porovnání naměřených součinitelů přepadu a hodnot součinitelů přepadu vypočtených z výše uvedených vztahů je zobrazeno na obr. 6. Pro trojúhelníkový přeliv a malé přepadové výšky se jeví jako optimální použití rovnice podle Jičínského a Šeflové (4) nebo podle Thomsona (2). Naopak podle měření nelze doporučit vztah podle Kinga (3).

OBDÉLNÍKOVÝ PŘELIV

V rámci pokusů byly použity obdélníkové přelivy s kontrakcí, šířky přelivů byly 15–30 cm a výšky 8–12,5 cm. Obdélníkové přelivy lze s výhodou použít na vodní toky, jelikož mají dostatečnou kapacitu a nezpůsobí příliš velké vzdutí hladiny před měrným přelivem. Pro výpočet průtoku lze použít rovnici přepadu:



Obr. 5. Porovnání relativních rozdílů průtoků pro trojúhelníkový ostrohranný měrný přeliv
Fig. 5. Relative flow errors comparison of triangle sharp-crested weir



Obr. 6. Porovnání přepadových součinitelů pro trojúhelníkový přeliv
Fig. 6. Comparison of the overfall weir coefficients (triangle weir)

$$Q = m \cdot b_e \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h_p^{1,5} \quad [m^3/s], \quad (6)$$

$$\text{kde } m = \frac{2}{3} \cdot \mu, \quad b_e = b - 0,1 \cdot \sum \xi \cdot h$$

Porovnání výsledků měření na obdélníkových přelivech s hodnotami stanovenými podle výše uvedených vzorců je zobrazeno na obr. 7 a 8. Porovnání je provedeno pomocí R_{rel} (5). Z grafu je patrná poměrně dobrá shoda se vztahem podle Rehbocka (9), vztah podle Zschiedricha (8) naopak nelze doporučit. Často uváděný Héglyho vztah (7) dosahuje relativních rozdílů R_{rel} desítek až stovek procent a nelze ho pro nízké přepadové výšky doporučit. Porovnání naměřených součinitelů přepadu a hodnot součinitelů přepadu vypočtených z výše uvedených vztahů je zobrazeno na obr. 8. Z porovnání jsou patrné výše uvedené závěry o vhodnosti použití vztahů podle jednotlivých autorů.

KRUHOVÝ PŘELIV

V rámci pokusů byly použity kruhové přelivy o poloměru 10 až 30 cm. Kruhové přelivy představují kompromis mezi trojúhelníkovým a obdélníkovým přelivem, dávají poměrně přesné hodnoty průtoku i při malých přepadových výškách a zároveň mají poměrně velkou maximální kapacitu v porovnání se stejně

Hodnota součinitele zúžení ξ byla uvažována 1. Součinitel přepadu m lze určit podle Héglyho vztahu [6]:

$$m = \left[0,405 + \frac{0,027}{h_p} - 0,030 \cdot \left(1 - \frac{b}{B} \right) \right] \cdot \left[1 + 0,55 \cdot \left(\frac{b}{B} \right)^2 \cdot \left(\frac{h_p}{h_p + s} \right)^2 \right] \quad [-] \quad (7)$$

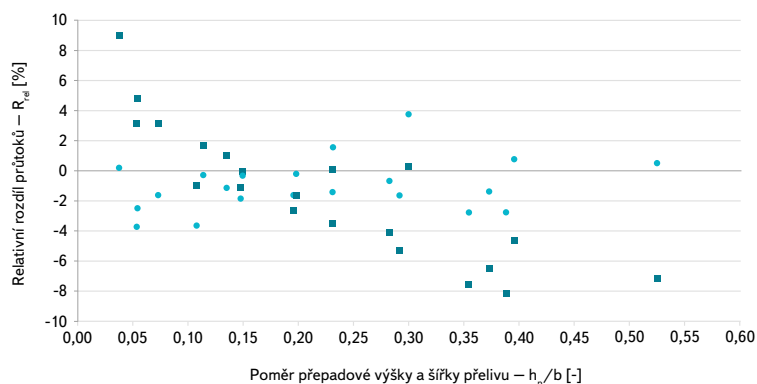
s platností $s \geq 0,3 \text{ m}$, $b/s \leq 1$, $(B/b) \cdot 0,025 \leq h \leq 0,8 \text{ m}$

Součinitel přepadu lze dále určit například pomocí vztahu podle Zschiedricha [2]:

$$m = \left[0,392 + \frac{0,0018}{h_p + 0,02} - \frac{0,0036}{b + 2 \cdot h_p} \cdot \left(1 - \frac{b}{B} \right) \right] \cdot \left[1 + 0,5 \cdot \left(\frac{b}{B} \right)^3 \cdot \left(\frac{h_p}{h_p + s} \right)^2 \right] \quad [-] \quad (8)$$

Případně lze určit přepadový součinitel μ podle Rehbocka [7]:

$$\mu = 0,611 + 0,08 \cdot \frac{h_p}{b} + \frac{h_p}{1000} \quad [-] \quad (9)$$



Podle Zschiedricha Podle Rehbocka

Obr. 7. Porovnání relativních rozdílů průtoků pro obdélníkový ostrohranný měrný přeliv
Fig. 7. Relative flow errors comparison of rectangular sharp-crested weir

vysokým trojúhelníkovým přelivem. Pro výpočet průtoku kruhovým přelivem lze použít vztah odvozený Stausem [8]:

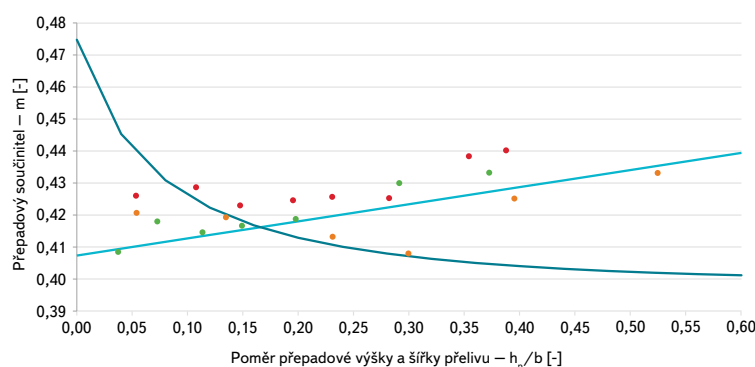
$$Q = \mu \cdot q \cdot D^{2,5} \quad [m^3/s] \quad (10)$$

0,2 m < D < 0,3 m

$$\text{kde } \mu = 0,555 + \frac{D}{110 \cdot h_p} + 0,041 \cdot \frac{h_p}{D} \quad [-] \quad (11)$$

kde q je průtok při průměru kruhu 1 dm v závislosti na poměru h_p/D .

Porovnání výsledků měření na kruhových přelivech s hodnotami stanovenými podle výše uvedeného vzorce je zobrazeno na obr. 9 a 11. Na obr. 9 je zobrazeno porovnání relativních rozdílů průtoků R_{rel} (5) se vztahem podle Stause. Z grafu je patrné, že pro nízké hodnoty přepadových výšek je relativní rozdíl



Naměřená data – b = 15 cm Naměřená data – b = 25 cm Naměřená data – b = 30 cm

Podle Zschiedricha Podle Rehbocka

Obr. 8. Porovnání přepadových součinitelů pro obdélníkový přeliv
Fig. 8. Comparison of the overfall weir coefficients (rectangular weir)

největší – cca 4 % a poté se plynule snižuje na cca 2 %. Porovnání naměřených přepadových součinitelů je zobrazeno na obr. 11, naměřené součinitele se liší od hodnot určených vztahem (11). Naměřená data byla proložena následující funkcí (byla vyřazena data, kdy byl průtok větší než 7 l/s, tj. stavy, kdy průtok nebyl měřen kalibrovanou nádobou):

$$\text{kde } \mu = 0,565 + 0,0042 \cdot \frac{D}{h_p} + 0,0055 \cdot \frac{h_p}{D} \quad [-] \quad (12)$$

Vztah je ověřen pro přelivy o průměru 10 až 30 cm s ostrou hranou definovanou na začátku kapitoly a minimální přepadovou výškou 2 cm.

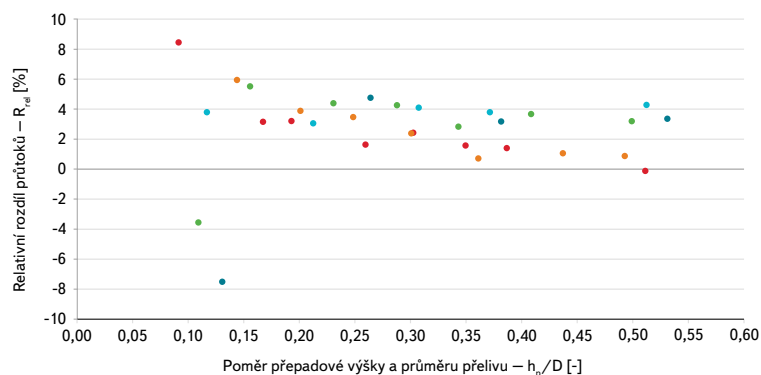
Na obr. 10 je zobrazen vliv uměle zanesené chyby při měření průtoku kalibrovanou měrnou nádobou definovanou výše v kapitole metodika experimentů. Pro přeliv o průměru 20 cm byly změněny doby plnění měrné nádoby o $\pm 0,2 \text{ s}$ a následně byly určeny tomu odpovídající průtoky a přepadové součinitele.

Chyby při měření průtoků mohou zásadně ovlivňovat výsledky měření až při průtoku vyšším než cca 7 l/s, velikost této chyby byla redukována opakovaným měření průtoku kalibrovanou nádobou.

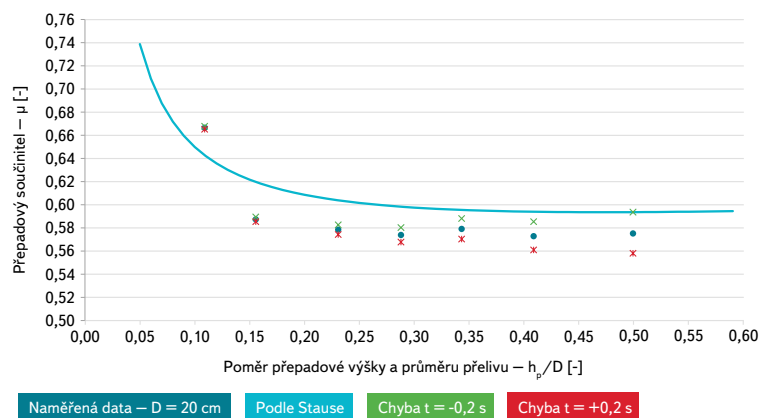
MĚRNÉ PŘELIVY S KRUHOVOU PŘELIVNOU HRANOU

Velkým problémem, který nastává zejména v podzimních měsících, je ulpívání listů na přelivné hraně měrných přelivů. Polokruhová přelivná hrana je lépe, vůči ostré hraně, hydraulicky tvarovaná a listy by na ní nemuselo ulpívat v takové míře a zkreslovat naměřená data. V rámci výzkumu byly proto testovány měrné přelivy s kruhovou přelivnou hranou (obdélníkový ($b = 15 \text{ cm}$ a $h = 8 \text{ cm}$) a kruhový ($D = 20 \text{ cm}$)). Přelivná hrana byla tvořena půlkruhem o poloměru 2,5 mm, tj. tloušťka konstrukce přelivu byla celkem 5 mm, na vrcholu této konstrukce byla umístěna polokruhová přelivná hrana o poloměru 2,5 mm.

Porovnání naměřených konsumčních křivek je zobrazeno na obr. 12. Z grafu je patrná větší kapacita měrného přelivu s polokruhovou hranou oproti ostré přelivné hraně. Zároveň je zde uveden vztah podle Gonga a kol. [9], kteří se zabývali měrnými obdélníkovými přelivy s polokruhovou přelivnou hranou.

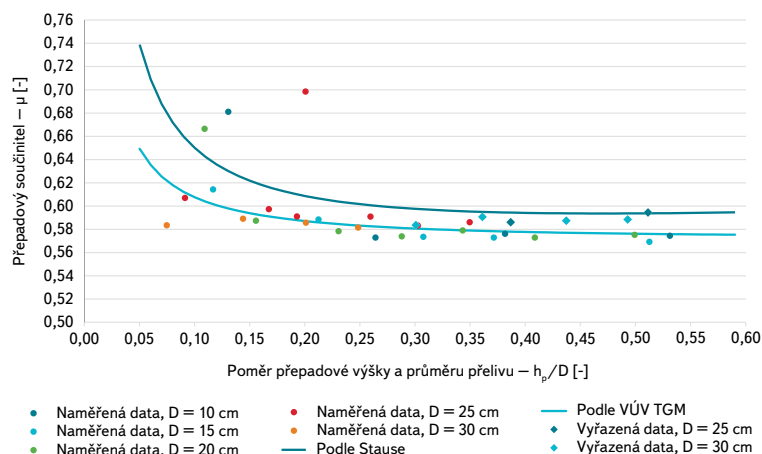


Obr. 9. Porovnání relativních rozdílů průtoků pro kruhový ostrohranný měrný přeliv
Fig. 9. Relative flow errors comparison of circular sharp-crested weir



Obr. 10. Závislost hodnoty přepadového součinitele na přesnosti měření průtoku
Fig. 10. Dependency of the overfall weir coefficients on the flow measuring

Gong a kol. prováděli měření na větších obdélníkových přelivech než jsou naše naměřená data, proto si nejspíše neodpovídají naměřená data s jejich odvozeným vztahem [9]:



Obr. 11. Porovnání přepadových součinitelů pro kruhový přeliv

Fig. 11. Comparison of the overfall weir coefficients (circular weir)

$$m = \frac{2}{3} \cdot \left(0,05 \cdot \frac{r}{t \cdot 0,5} + 0,645 \right) \cdot \left(\frac{h_p}{s} \right)^{-0,075 \cdot \frac{r}{t \cdot 0,5} + 0,0055} \quad [-] \quad (13)$$

V rámci pokusů byly také určeny přepadové výšky, při nichž již dochází k přilnutí paprsku na konstrukci přelivu a jeho neodtržení od přelivné hrany. Pro obdélníkový přeliv je to cca 20 mm a pro kruhový přeliv cca 30 mm. Porovnání naměřených dat pro kruhovou hranu s ostrou přelivnou hranou pomocí relativních rozdílů velikosti průtoků je zobrazeno na obr. 13. Z grafu je patrné, že kruhová přelivná hrana je o cca 10 % kapacitnější než ostrá hrana. Porovnání je provedeno pomocí $R_{rel,KH}$:

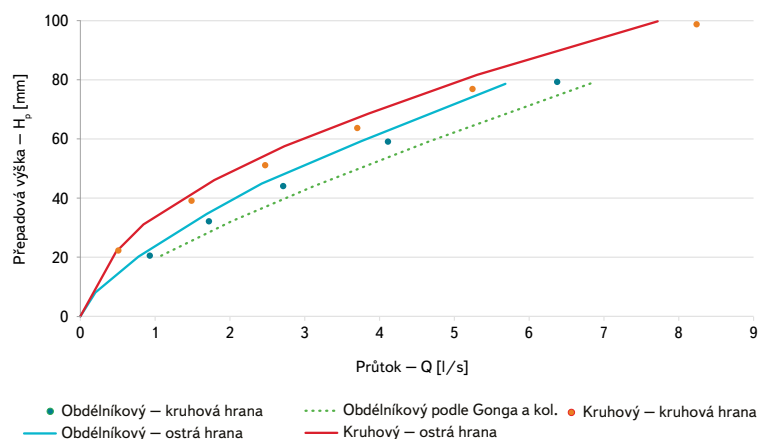
$$R_{rel,KH} = \frac{Q_{KH} - Q_{OH}}{Q_{OH}} \cdot 100 \% \quad [\%] \quad (14)$$

Porovnání naměřených součinitelů přepadu pro kruhovou a ostrou přelivnou hranu je zobrazeno na obr. 14.

UMÍSTĚNÍ MĚRNÉHO PŘELIVU VŮČI SMĚRU NATÉKAJÍCÍHO PROUDU

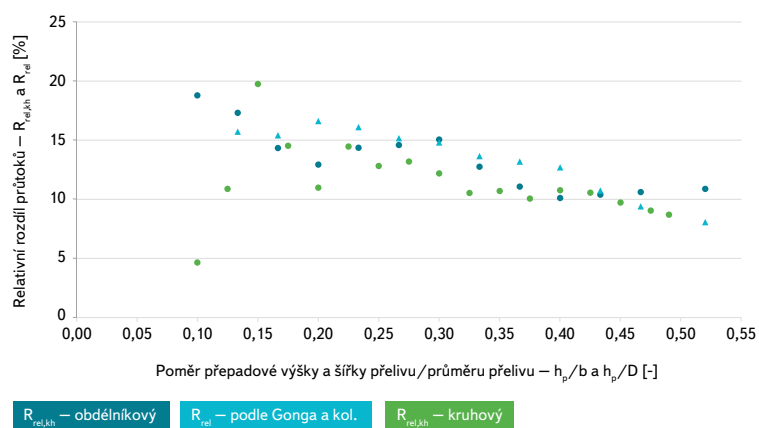
V rámci pokusů prováděných ve žlabu byly také realizovány pokusy se záměrně „chybně“ umístěnými přelivy. Jako správně geometricky instalovaný přeliv lze definovat takový, který je svislý a půdorysně kolmý na osu koryta. Na vodním toku může dojít ke změně geometrie usazení přelivu například při vlastní chybné instalaci přelivu. Celkem byly testovány tři varianty změněného umístění přelivu (viz obr. 15) – vertikální náklon 1 a 2 (po a proti proudu, vlastní přeliv byl vůči svislému přelivu nakloněn o $\pm 10^\circ$) a horizontální náklon 3 (tj. přeliv nebyl kolmo vůči ose koryta, úhel mezi osou toku a přelivem byl 65°). Pokusy byly uskutečněny na obdélníkovém přelivu šířky 15 cm a výšky 8 cm. Výsledky této citlivostní analýzy jsou zobrazeny na obr. 16 pomocí relativní chyby $R_{rel,u'}$, kde $Q_{kolmý}$ je roven průtoku přes geometricky správně usazený přeliv a $Q_{upravený}$ je rovný průtoku přes geometricky „chybně“ umístěný přeliv:





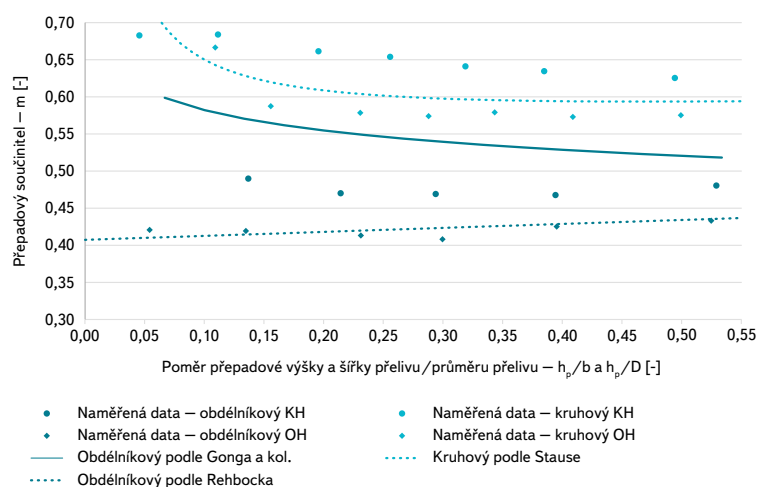
Obr. 12. Porovnání konsumčních křivek ostrohranné a kruhové přelivné hrany obdélníkového a kruhového přelivu

Fig. 12. Comparison of the sharp and semi-circle crest weir discharge curves (circle and rectangular weir)



Obr. 13. Porovnání relativních rozdílů průtoků ostrohranných a kruhových hran měrných přelivů

Fig. 13. Comparison of the discharge's relative differences of sharp and semi-circle crests weirs



Obr. 14. Porovnání přepadových součinitelů pro kruhový a obdélníkový přeliv s ostrohrannou nebo kruhovou přelivnou hranou

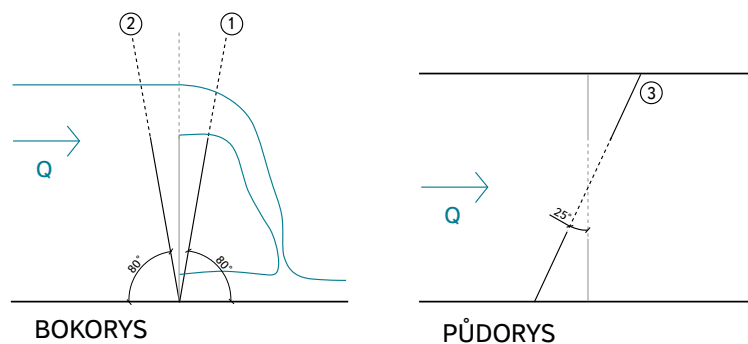
Fig. 14. Comparison of the semi-circle and rectangular overfall weir coefficients with sharp and semi-circle crest

$$R_{rel, u} = \frac{Q_{upravený} - Q_{kolmý}}{Q_{kolmý}} \cdot 100 \% \quad [\%] \quad (15)$$

Z výsledků je patrné, že vertikální náklon po proudu způsobí chybu cca + 1,5 % vůči kolmé variantě při stejné přepadové výšce a obdobně je průtok o 2,5 % menší, pokud je přeliv o 10° nakloněn proti směru proudění. Půdorysné natočení přelivu vůči ose toku o 25° nezpůsobilo měřitelnou odchylku. Lze konstatovat, že chybné umístění přelivu, definované výše, nezpůsobí příliš velkou chybu měření. Toto tvrzení je ovšem ověřeno pouze pro malé měrné přelivy a nízké průtoky, v případě větších přítokových rychlostí lze očekávat zvětšení chyb měření průtoků.

VÝROBA MĚRNÝCH PŘELIVŮ

Měrné přelivy pro testování v laboratorním žlabu a v terénu byly zhotoveny metodou 3D tisku. Tato metoda umožňovala relativně snadné provedení variabilních tvarů měrného přelivu a přelivné hrany. Trojrozměrný model každého přelivu byl vytvořen na počítači a poté vytisknuta tiskárnou. V rámci pokusů v laboratorii byl použit materiál PLA (kyselina polymléčná), tento materiál je plně biologicky odbouratelný, vyrábí se z kukuřičného škrobu. Jeho výhodou je snadný a rychlý tisk, nevýhodou je malá pružnost a křehkost materiálu, která ho vylučuje pro použití v terénu.



Obr. 15. Zobrazení změn umístění přelivu vůči standardnímu umístění (šedá – standardní umístění, černá – změněné umístění)

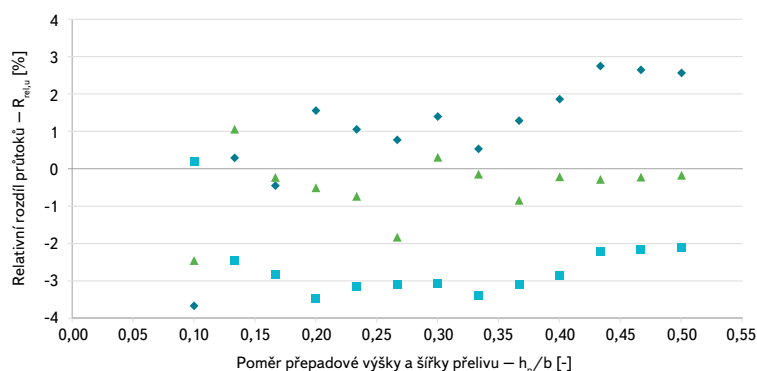
Fig. 15. Different positions diagrams of the weir against the channel centre line (grey – standard position, black – different position)

Pro využití v terénu se osvědčil materiál PET (polyethylentereftalát), který je známý díky plastovým lahvím. Materiál je dostatečně pevný a zároveň pružný a odolný proti vodnímu prostředí. V rámci terénního měření jsou již přelivy z PET instalovány dva roky, během tohoto období nebyly zjištěny žádné materiálové nedostatky, které by nepříznivě ovlivňovaly kvalitu měření průtoků. Velká výhoda materiálu v zimních měsících, při poklesu teploty několik stupňů pod nulu je, že nedochází k namrzání vody na vlastním přelivu v porovnání například s ocelovým přelivem.

ZÁVĚR

V rámci laboratorního měření byly testovány přelivy s ostrou přelivnou hranou – trojúhelníkový, obdélníkový a kruhový. Pro jednotlivé přelivy byly porovnány hodnoty naměřených přepadových součinitelů s hodnotami podle různých autorů při minimálních přepadových výškách. Pro trojúhelníkový přeliv s vrcholovým úhlem 90° se jeví jako optimální používat rovnici podle Jičínského

a Šeflové (4) nebo podle Thomsona (2). Pro obdélníkový přeliv vychází nejlépe rovnice podle Rehbocka (9). Pro kruhový přeliv byl odvozen vztah podle VÚV TGM (12). Pro každý přeliv byla určena hodnota přepadové výšky, pod kterou dochází k přilnutí přepadového paprsku ke konstrukci přelivu a k hysterezi konsumční křivky (obdélníkový – 10 mm, trojúhelníkový – 15 mm, kruhový – 20 mm).



Obr. 16. Porovnání relativních chyb způsobených chybným geometrickým umístěním měrného přelivu v toku

Fig. 16. Relative errors comparison of different positions of the weir against the channel centre line

V rámci pokusů s polokruhovou přelivnou hranou byly naměřeny přepadové součinitele pro kruhový a obdélníkový přeliv. Pro kruhový a obdélníkový přeliv s polokruhovou přepadovou hranou byly určeny hodnoty přepadové výšky, pod kterou již dochází k ulpívání přepadového paprsku na přelivu – obdélníkový přeliv 20 mm a kruhový přeliv 30 mm. Polokruhová přepadová hrana nezaručuje při nízkých přepadových výškách dokonalé odtržení výtoku paprsku.

Soubor pokusů také obsahoval měření se záměrně chybně umístěnými přelivy vůči proudu. Výsledky měření ukázaly, že pokud je přeliv nakloněn o 25° v horizontální rovině, výsledky měření se neliší od kolmého umístění přelivu. Pokud je přeliv vertikálně nakloněn o 10° proti směru proudění, naměřené průtoky jsou o 2,5 % menší než v případě svislého umístění. Pokud je přeliv vertikálně nakloněn o 10° po směru proudění, měřené průtoky jsou o 1,5 % větší než v případě svislého umístění. Tyto závěry lze ale aplikovat pouze, pokud je rychlost proudění před měrným přelivem malá.

Poděkování

Príspevek vznikl za podpory projektu Zéta I – TJ01000343 – Vývoj hydraulicky vhodného přelivu pro měření malých průtoků.

Literatura

- [1] ČSN ISO 1438: Hydrometrie – Měření průtoku vody v otevřených korytech pomocí tenkostěnných přelivů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [2] PATOČKA, C. *Hydraulika: 1. část*. 3. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1965, 174 s.
- [3] MÄSIAR, E. a KAMENSKÝ, J. *Hydraulika pre stavebných inžinierov I: Objekty a potrubia*. 1. Bratislava: ALFA, 1986, 344 s. ISBN 8005000855.
- [4] HAVLÍK, V. a MAREŠOVÁ, I. *Hydraulika 20: Příklady*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001.
- [5] *Přepady (přednáška)* [online]. Praha: Katedra hydrauliky ČVUT [vid. 2. 10. 2018]. Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke_stazeni/prednasky/HY2V_06_Prepady.pdf
- [6] AGROSKIN, I.I., DMITRIJEV, G.T. a PIKALOV, F.I. *Hydraulika II*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, n. p., 1956, 448 s.
- [7] PANDEY, R., MITTAL, S.K., and CHOUDHARY, M.K. Flow Characteristics of Sharp Crested Rectangular Weir: A Review. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2016, vol. 3, No. 3, p. 171–178. ISSN 2348-7968.
- [8] KOLÁŘ, V. *Hydraulika*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, n. p., 1966, 716 s.
- [9] GONG, J., DENG, J., and WEI, W. Discharge Coefficient of a Round-Crested Weir. *Water*, 2019, vol. 11, No. 6. Dostupné z: doi: 10.3390/w11061206.

Autoři

Ing. Jan Hlom

✉ jan.hlom@vuv.cz

Ing. Pavel Balvín

✉ pavel.balvin@vuv.cz

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

Príspevek prošel lektorským řízením.

MEASUREMENT OF LOW FLOW RATES USING MEASURING WEIR

HLOM, J.; BALVIN, P.

TGM Water Research Institute, p.r.i.

Keywords: sharp-crested weir — discharge coefficient — low flow measuring — measuring error

The paper deals with the results of measurements of the weirs suitable for measuring small or minimal discharge. The research is focus on determination of the discharge coefficients for low weir heads. The results of measurements for triangular, rectangular and circular weir are present. Measured discharge coefficients are compare with the equations according to different authors. For every equations was compared their suitability of their use for low weir heads. Experiments with semi-circular crest are also present. Several weir positions against the channel centre line in the stream is compare.



Autoři VTEI

Mgr. Michal Fejgl, Ph.D.

SÚRO, v. v. i., Praha

✉ michal.fejgl@suro.cz

www.suro.cz



Mgr. Michal Fejgl, Ph.D., je zaměstnancem oddělení radiochemie v SÚRO, v. v. i., od roku 2004. V roce 2003 ukončil studium magisterského oboru Geochemie na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy, v roce 2015 doktorandské studium oboru Jaderně chemické inženýrství. Podílí se na řešení projektů, např. Systémy pro on-line měření umělé radioaktivity v povrchových vodách za havárie jaderné elektrárny s dálkovým přenosem dat, Inovativní metody detekce ultranízkých koncentrací radionuklidů k hodnocení zranitelnosti zdrojů pitné vody při jaderné havárii, Koncepte nového systému modelování šíření umělých radionuklidů v hydrosféře včetně asimilace dat pro potřeby státu při běžném provozu JEZ i jeho havárii s dopadem na okolí, Strategie řízení nápravy území po radiační havárii (kapitola 3 – dekontaminace).

Ing. Jan Hlom

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ jan.hlom@vuv.cz

www.vuv.cz



Ing. Jan Hlom je výzkumným pracovníkem oddělení hydrauliky ve VÚV TGM, v. v. i., ve kterém pracuje od roku 2015. V roce 2017 ukončil obor Vodní hospodářství a vodní stavby na ČVUT, Fakultě stavební. Zabývá se fyzikálním a matematickým modelováním proudění. Zabývá se modelovým výzkumem hydrotechnických staveb a objektů na vodních tocích.

Ing. Stanislav Juráň

VÚV TGM, v. v. i., pobočka Brno

✉ stanislav.juran@vuv.cz

www.vuv.cz



Ing. Stanislav Juráň je zaměstnancem oddělení ochrany vod ve VÚV TGM, v. v. i., na brněnské pobočce od roku 1997. V roce 1984 ukončil studium vodního hospodářství na Fakultě stavební Vysokého učení technického v Brně. Následně pracoval v podniku Povodí Moravy, s. p., jako havarijní a povodňový technik a na městském úřadě ve Šlapanicích jako vedoucí odboru ekologie a životního prostředí. V současné době je vedoucím české části skupiny Ochrana vod, pracující v rámci Česko-slovenské komise pro hraniční vody, která se podílí na pracovních činnostech Mezinárodní komise pro ochranu Dunaje. Ing. Juráň se zaměřuje na modelování a pohyb nutrientů v povrchových a odpadních vodách a výskyt nebezpečných látek.

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, v. v. i., oddělení hospodaření s vodou a odpady. V rámci svých vědeckých aktivit založil v roce 2006 Společenstvo 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, je spoluautorem knižních publikací Komínové vodojemy. Funkce, konstrukce, architektura a Komínové vodojemy. Situace, hodnoty, možnosti vydaných v rámci řešení výzkumného projektu Dokumentace, pasportizace, archivace a návrhy konverzí komínových vodojemů jako ohrožené skupiny památek industriálního dědictví na území České republiky a dále celé řady odborných příspěvků o věžových vodojemech.

Ing. Martin Neumann

ČVUT v Praze

✉ martin.neumann@fsv.cvut.cz
www.fsv.cvut.cz

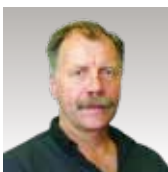


Ing. Martin Neumann je zaměstnancem Fakulty stavební ČVUT v Praze, kde po ukončení magisterského oboru životní prostředí nastoupil roku 2015 na doktorské studium. Nyní se v doktorském studiu věnuje problematice vodní eroze a jejímu modelování. Podílí se na několika českých projektech, např. Navrhování technických opatření pro stabilizaci a ochranu svahů před erozí a Možnosti řešení protierozní ochrany v zemědělských podnicích při vyloučení používání glyfosátu. Dále se podílí i na mezinárodních projektech, např. Vliv kinetické energie deště na uvolňování a transport půdních částic.

RNDr. Přemysl Soldán, Ph.D.

VÚV TGM, v. v. i., pobočka Ostrava

✉ premysl.soldan@vuv.cz
www.vuv.cz



RNDr. Přemysl Soldán, Ph.D., pracuje jako vedoucí pobočky Ostrava ve VÚV TGM, v. v. i. Vystudoval obor systematická biologie a ekologie na Univerzitě J. E. Purkyně v Brně. Mezi studii strávil jeden rok v Nizozemsku na International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering v městě Delft. O pár let později obdržel titul Ph.D. v oboru úpravnictví na Hornicko-geologické fakultě Technické univerzity – Vysoké školy báňské Ostrava. Specializuje se na vývoj a aplikace ekotoxikologických metod pro potřeby ochrany vodních ekosystémů. Od roku 1992 je soudním znalcem v oboru vodní hospodářství. Zabývá se pedagogickou činností jako externí přednášející na Vysoké škole báňské a je také vedoucí diplomových prací.

Ing. Dagmar Vološinová

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ dagmar.voloshinova@vuv.cz
www.vuv.cz



Ing. Dagmar Vološinová je zaměstnancem VÚV TGM, v. v. i., v Praze od roku 2002. Absolvovala Českou zemědělskou univerzitu v Praze, Fakultu agronomickou. V rámci působení v Centru pro hospodaření s odpady (CeHO) se zabývá problematikou odpadového a oběhového hospodářství. V současnosti se podílí na řešení projektu Odpady a předcházení jejich vzniku – praktické postupy a činnosti při realizaci závazků Krajského Plánu odpadového hospodářství hlavního města Prahy.

Rozhovor s RNDr. Evou Kočkovou, dlouholetou pracovnící VÚV TGM v oboru hydrochemie a hodnocení jakosti vod

„Voda“ jako nenahraditelný přírodní zdroj života Vás provázela celou Vaší profesní kariérou, kterou jste započala hned po dokončení studia organické chemie v roce 1954 na brněnské Masarykově universitě (1953 – promováný chemik – UJEP Brno; 1969 – RNDr. – UK Bratislava). Zaujalo Vás studium vodního prostředí již na vysoké škole nebo Vás upoutalo až v praxi po nástupu do Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v. v. i., (VÚV TGM) v roce 1954?

Problematika vodního prostředí mne zaujala již na vysoké škole, nepochybně díky absolvování dvou praxí v laboratořích VÚV TGM. Nadchlo mě, co všechno se dá ze vzorku vody zjistit. Práce mne upoutala i svojí rozmanitostí, která zahrnovala jak práci v terénu, tak v laboratoři.

Ve VÚV TGM jste pracovala neuvěřitelných 51 let až do odchodu do důchodu v roce 2005. Za dobu Vaší praxe došlo k velkým technickým pokrokům, které musely přinést změny v přístupu k práci. Které změny vnímáte jako nejvýznamnější v oboru hydrochemie a jaký měly dopad na vlastní hodnocení jakosti vod?

Změny byly velmi patrné v analytice, kde se díky zdokonalené přístrojové technice významně rozšířil rozsah sledovaných ukazatelů, přesnost a citlivost stanovení. Dalším důležitým faktorem pro náš typ práce bylo zvýšení počtu a dostupnost služebních aut, které umožnilo větší četnost odběrů a sledování větších území. Dříve jsem mnoho služebních cest musela absolvovat vlastním „autíčkem“, protože vozový park služebních vozidel nebyl dostačující.



Skokem ve zpracování dat a výzkumných zpráv byl nástup počítačů. Zpočátku mi dávaly dost zabrat, ale s pomocí šikovných kolegů jsem s nimi bojovala statečně a počítač využívám dodnes. Počítačová technika nesmírně zvýšila rychlost a komplexnost zpracování dat, tvorbu grafů, matematické a statistické zpracování výsledků, jejich publikování a prezentování. Vrcholem byla doba internetu, která zcela změnila dostupnost informací a možnost jejich šíření.



Brněnská pobočka VÚV TGM se za dobu své 70leté existence věnovala mnoha vodohospodářským problematikám. Od Vašeho nástupu je většina témat týkajících se jakosti vody spjata právě s Vaším jménem. Setkala jste se s řešením mnoha konkrétních problémů, spojených s využíváním vody pro průmysl, zemědělství, jako recipienty komunálního znečištění apod. Zažila jste dobu, kdy byla příroda „vysávána“ pro zvýšení životní úrovně člověka a kdy pojem ochrana přírody nepatřil mezi oblíbené. Které kauzy Vám s odstupem času připadají jako nejkritičtější?

Příkladem, ne zcela promyšleného, vodohospodářského zásahu do přírody a krajiny byla stavba soustavy nádrží Nové Mlýny na jižní Moravě. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., byl u prvotních studií (např. 1964 – „Proměny jakosti akumulované vody. Předpověď jakosti vody v nádrži Nové Mlýny“; 1967 – „Prognóza jakosti vody v nádrži Nové Mlýny“; 1975–1985 „Limnologický výzkum areálu nádrží Nové Mlýny“), jejichž závěry výstavbu úplně nepodporovaly. Politická vůle však byla silná a tři novomlýnské nádrže byly postaveny. O jejich významu a účelnosti stavby se dlouze polemizovalo, i po výstavbě byly zadávány řady studií, na kterých jsme se podíleli (např. 1983 – „Návrh na postupné zlepšení čistoty vody vodního díla Nové Mlýny“; 1988 – „Vývoj jakosti vody ve vtokových profilech a vliv na poměry v horní a střední nádrži vodního díla Nové Mlýny“; 2003 – „Komplexní studie k vodnímu dílu Nové Mlýny“). O Nových Mlýnech dnes existuje nesporně nejvíce materiálů ze všech nádrží v ČR, včetně analytických dat o jakosti vody.

Dalším nepochopitelným případem byl rakouský závod na výrobu kyseliny citronové, který byl v dobách tzv. rakouského „socialismu“ v roce 1962 postaven na příliš malém toku, navíc ústícím do řeky Dyje necelý kilometr od hranice s Československem.



V době totality se stávalo, že se k nám přes hranice dostávalo znečištění, které nebylo kvůli „železné oponě“ možné identifikovat. Známým případem je zmíněné znečištění řeky Pulkavy, ústící do Dyje na krátkém rakouském úseku poblíž Hevlína. Jak se Vám podařilo vypátrat původce silně znečištěných vod v Dyji?

První odběry na českém území poblíž hranic se podařilo uskutečnit v roce 1959, kdy byly naměřeny extrémně vysoké hodnoty organického znečištění (rozuštěného kyslíku (O_2) = 1,68 mg/l, biochemické spotřeby kyslíku (BSK_5) = 117 mg/l; podle české normy byla voda již při $BSK_5 > 15$ mg/l zařazena jako „velmi silně znečištěná“). Druhý odběr přímo z Pulkavy byl proveden v roce 1963, kdy bylo dokonce stanoveno $BSK_5 = 700$ mg/l! Tato čísla svědčila o masivním znečišťovateli na rakouském území. Možnost odběrů vzorků za hranicemi byla díky tehdejšímu státnímu režimu velice komplikovaná, znamenala důkladné prověření před cestou a trvalou kontrolu při pohybu v hraničním území. Nejednou jsme se setkali s nadměrně ostrážitými ochránci hranic, kteří na nás po dobu odběru mířili samopaly. Hledání zdroje znečištění vyžadovalo noční a denní až 24hodinové odběry vzorků. Vytrvalým monitoringem se podařilo získat více informací a jako zdroj znečištění označit řeku Pulkavu a rakouský závod na výrobu kyseliny citronové v Pernhofenu. Pod vlivem zjištěného kritického stavu Dyje na českém území vyzvalo české ministerstvo rakouskou stranu, aby byla zřízena mezistátní komise, zodpovědná za hraniční vody s Rakouskem, která funguje dodnes. Po výstavbě dvou vysoce účinných ČOV v letech 1986

a 1990 se situace zlepšila. Odpady z problematické výroby však nebylo možné vyčistit ani nejlepšími dostupnými technologiemi a voda v Dyji měla stále barvu Kofoly. Zlepšení přinesla až redukce výroby cukru, jehož důsledkem byl nedostatek melasy, která byla hlavní výrobní surovinou. Náhrada melasy za kukuřičný škrob v roce 2007 sice neporovnatelně snížila zabarvení vody, významné znečištění je však odpadní vodou přinášeno dodnes (od roku 2016 již přímo do Dyje).

Dlouhá etapa Vaší profesní činnosti je spjata s hodnocením vlivu jaderné energetiky na jakost vod. Na dlouhodobou spolupráci s Jadernou elektrárnou Dukovany navázala spolupráce s Jadernou elektrárnou Temelín a s Uranovými doly v Dolní Rožínce. Ukázaly Vaše výsledky ovlivnění povrchových vod radionuklidy?

Brněnské pracoviště mělo kromě hydrochemických a hydrobiologických laboratoří také radiologickou laboratoř a úzce spolupracovalo se špičkovým pražským radiologickým pracovištěm VÚV TGM. Díky tomu byla v Brně od 60. let řešena problematika ovlivnění povrchových vod odpady z jaderného průmyslu. Do povrchových vod se odpadními vodami z jaderných elektráren dostává zejména tritium a jsou zatíženy vysokým obsahem anorganických solí. České limity byly za doby mého působení převážně dodržovány. Na profilech, ovlivněných těžbou uranu, bylo naopak zjištěno negativní působení probíhající těžby a souvisejících ekologických zátěží z těžby v minulých letech na životní prostředí. Obě české jaderné elektrárny jsou napojeny na systémy přehradních nádrží (Dukovany na vodní nádrže Mohelno a Dalešice; Temelín na vodní nádrže Hněvkovice, Kořensko a Orlík), proto nás zajímal také vliv oteplených odpadních vod na vertikální zonaci teploty a kyslíku v nádržích. Na žádost JE Dukovany byly v roce 2000 řešeny problémy zarůstání chladicích věží, koroze potrubí a dalších provozních systémů, spojených s jakostí vody odebírané z nádrže.

Za Vašeho působení v brněnské pobočce VÚV TGM se pracoviště několikrát stěhovalo. Které působiště poskytovalo nejlepší pracovní zázemí pro provoz laboratoří?

Moje první působiště bylo v budově na Dominikánském náměstí v Brně, kde jsme se o prostory v jednom patře dělili s Vodohospodářským rozvojem a výstavbou. Zde byly zřízeny první vodohospodářské laboratoře – hydrochemické, hydrobiologické i mikrobiologické. Daleko lepší podmínky měly laboratoře v budově na Dřevařské 12, kde jim byly vyčleněny dvě patra. Nepochybně nejlepší zázemí a moderní přístrojové vybavení, umožňující široké spektrum stanovení, mají současné laboratoře v nové budově na Mojžířově náměstí 16, kde jsem častým hostem.

Vaší poslední pracovní aktivitou byla (již externí) spolupráce na projektu „Zatopené kulturní a přírodní dědictví jižní Moravy“ v letech 2013–2016. Jak se Vám líbila práce s odlišným zaměřením a jak hodnotíte výsledky projektu, výstavu a knihu?

Práce na projektu byla pro mne výzvou, protože jsem mohla být užitečná svými dlouholetými zkušenostmi v oboru. Součástí projektu byla databáze použitých materiálů, do které jsem významně přispěla a současně si doma uvolnila skříň, naplněnou výzkumnými zprávami a podklady. Výstupy projektu se velmi povedly, jak výstava, tak velmi pěkná kniha. Velice mne potěšilo, že materiály, použité při zpracování projektu, byly předány do Moravského zemského archivu, a tím zachovány pro budoucí generace.

Na závěr bych ráda vyslovila přání, aby moje láska k profesi našla pokračovatele.

Děkuji za rozhovor.

RNDr. Hana Mlejnková, Ph.D.

Srovnání výzkumu vodní stopy v ČR a ve světě – bibliometrická analýza

SOUHRN

Článek popisuje bibliometrickou analýzu českých článků o vodní stopě a srovnání se světem. V úvodní části článku je představena vodní stopa a její vývoj. Pro bibliometrickou analýzu byla pro české články použita data z databáze výsledků VaVal (RIV). Pro srovnání se světem byla použita data z databází Scopus® a Web of Science®. V části Data a metody jsou popsána kritéria a filtry pro výběr dat z jednotlivých databází. V části Výsledky jsou uvedeny bibliometrické údaje získané ze všech tří databází. Soustředili jsme se na počet článků, publikující české instituce, časopisy ve kterých jsou články o vodní stopě nejčastěji publikovány a ze kterých zemí pocházejí instituce publikující články o vodní stopě. Část Závěr a diskuse se pak věnuje srovnání situace v ČR a okolních středoevropských zemích a shrnuje poznatky, které lze z omezeného počtu článků o vodní stopě (vznikajících v České republice nebo ve spolupráci s českými experty) vyvodit.

ÚVOD

Voda je nezbytnou součástí života a její udržitelné užívání se dostalo mezi hlavní cíle udržitelného rozvoje OSN [1]. Jedním z nástrojů pro hodnocení udržitelnosti spojené s užíváním vody je tzv. vodní stopa [2], kterou lze použít i při hodnocení pokroku v dosahování Cílů udržitelného rozvoje OSN [3, 4]. Vodní stopa je koncept relativně stále mladý a procházející intenzivním vývojem [5, s. 9], který navazuje na koncept virtuální vody představený profesorem Allanem [6]. Pojem vodní stopa se objevil v roce 2002 [7, 8] a byl následně rozpracován ve Water Footprint Network (WFN) do podoby metodického standardu [9]. Definovaná metodika hodnocení vodní stopy (Water Footprint Assessment – WFA) následně prošla kritickým zkoumáním a jedna z hlavních výtek směřovala k omezené schopnosti WFA identifikovat dopady spojené s užíváním vody [10, 11]. Komunita zabývající se posuzováním dopadů životního cyklu (Life Cycle Assessment – LCA) začala vyvíjet vlastní metodiku vodní stopy, která byla vydána jako mezinárodní norma ISO 14046 [12]. Přístup LCA komunity vyvolal reakci ze strany zastánců původního přístupu [13], protireakci [14] atd. Výsledkem je pokračující rozvoj obou přístupů k vodní stopě ve světě, který se promítá do značného počtu vědeckých článků, které se zabývají otázkou vodní stopy či virtuální vody [15, 16]. Zároveň zůstává stále otevřeno hodně oblastí, kde je třeba další výzkum [4]. Provedená bibliometrická analýza ukazuje, jak se do výzkumu vodní stopy zapojují české vědecké instituce. Článek přímo navazuje na workshop, který se uskutečnil ve VÚV TGM v květnu 2019 [17]. Podobné bibliometrické analýzy vznikají i v jiných zemích [18] či podobných tématech, které mají k vodní stopě blízko nebo jsou při studiích vodní stopy využívány [19, 20].

DATA A METODY

Bibliometrie se obecně zabývá studiem kvantitativních aspektů produkce, rozšiřování a užití zaznamenaných informací. Typickou, a zároveň jednou z nejstarších bibliometrií je bibliometrická analýza kvantitativního růstu literatury [21].

Pro bibliometrickou analýzu českých publikací o vodní stopě byla použita data evidovaná v informačním systému výsledků VaVal tzv. RIV (<https://www.rvvi.cz/riv>), protože v této databázi by měly být uvedeny veškeré výsledky výzkumu realizovaného v České republice, resp. s podporou veřejných prostředků. Pro zahrnutí

výsledků do analýzy byla použita dvě filtrovací kritéria. Do analýzy byly zahrnuty pouze odborné texty evidované jako typ výsledku „článek“ (J) nebo „stať ve sborníku“ (D). Druhým kritériem pro výběr do analýzy bylo klíčové slovo „water footprint“ nebo „virtual water“.

Pro bibliometrickou analýzu světové literatury byly využity databáze Scopus® a Web of Science®. Pro výběr publikací v databázi Scopus®, zahrnutých do analýzy, byla použita tři kritéria. Obdobně jako v případě českých výsledků byly do analýzy zahrnuty jen výsledky typu „článek“ (ar) nebo „konferenční příspěvek“ (cp). Stejně tak byly vybrány výsledky podle uvedeného klíčového slova „water footprint“ nebo „virtual water“. Protože v RIVu nejsou dosud výsledky za rok 2019, byly ze Scopusu použity pouze záznamy před rokem 2019 pomocí filtru EXCLUDE (PUBYEAR, 2019), obdobně byly vypuštěny čtyři výsledky (z let 1969 až 1986), protože samotný koncept virtuální vody a z něj vycházející vodní stopy byl představen až v roce 1997 [6]. Obdobně byly z databáze Web of Science® vybrány příspěvky typu článek (article) a konferenční příspěvky (proceeding paper) s parametrem topic = „water footprint“ nebo „virtual water“ a omezeny rokem 2018.

VÝSLEDKY

Databáze RIV obsahuje 19 výsledků splňujících nastavená kritéria, z toho 15 článků a 4 konferenční příspěvky. Oproti tomu databáze Scopus® obsahuje 1 440 záznamů splňujících stanovená kritéria (1 281 článků a 159 konferenčních příspěvků). Databáze Web of Science® obsahuje 1 201 záznamů splňujících zadaná kritéria (1 075 článků a 152 příspěvků na konferenci). První článek v databázi RIV je z roku 2012, tj. 15 let po představení celého konceptu. První článek v databázi Scopus® se objevuje v roce 1999 a v databázi Web of Science® pak v roce 2006. Jak je patrné z obr. 1, v roce 2008 dochází ke zlomu a následnému masivnímu každoročnímu nárůstu článků o vodní stopě v databázi Scopus®; podobný průběh je i v databázi Web of Science®.

Z pohledu jazyka publikovaných příspěvků jsou publikace v RIVu prakticky rovnoměrně rozděleny mezi anglické (8 článků + 2 konferenční příspěvky) a české (7 + 2). V databázi Scopus® logicky převládají anglické příspěvky (1 157 + 158) následované příspěvky v čínštině (93 + 1). Přes 10 příspěvků v příslušném jazyce se ještě přehoupala španělština, ve které je v databázi Scopus® evidováno 15 článků. V databázi Web of Science® převládají příspěvky v angličtině (1 171), následuje španělština s 16 příspěvky. Čínština, která je hojně zastoupena v databázi Scopus®, má v databázi Web of Science® pouhé 3 příspěvky.

V databázi RIVu se na zmíněných 19 výstupech podílelo 9 českých institucí, v jednom případě není u příslušného článku uvedena afilace k české instituci, pouze k zahraničním, a v jednom případě není uvedena afilace vůbec (*tabulka 1*). V databázi Scopus® se na 10 příspěvcích podíleli autoři s afilací k 8 českým institucím (*tabulka 2*), v jednom případě šlo o článek, na kterém se podíleli autoři ze dvou českých institucí, a v několika případech měl naopak jeden autor uvedeno více afilací k českým vědeckým institucím. V databázi Web of Science® je pouze 5 příspěvků s autorem s afilací k některé české vědecké instituci. Nejčastěji o vodní stopě píší autoři s čínskou afilací (403 záznamů v databázi Scopus®/241 v databázi Web of Science®), následovaní autory s afilací v USA (285/221), Holandsku (150/147), UK (110/86) a v Itálii (109/111). Nejcitovanějším článkem, na kterém se podílel český autor je článek Steen-Olsena [22] (jako druhý autor je uveden Jan Weinzettl z Univerzity Karlovy v Praze) se 194 citacemi v databázi Scopus®, resp.

Tabulka 1. Počet článků o vodní stopě v databázi RIV

Rok	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Články	2	1	1	0	2	6	3
Konferenční příspěvky	0	0	0	0	1	1	2

61 citacemi v databázi Web of Science® (k 19. 9. 2019). Vysoký počet citací lze očekávat také od článku, na kterém je jako korespondenční autor Klaus Hubáček z Masarykovy univerzity v Brně [23] a který za dva a čtvrt roku od zveřejnění (online od 19. 6. 2017) získal 51 citací evidovaných v databázi Scopus®. Druhou nejcitovanější publikací v databázi Web of Science® s autorem s afilací k české vědecké instituci je článek, na němž se podíleli Petr Hlavinka a Miroslav Trnka s afilacemi k CzechGlobe a Mendelově univerzitě v Brně [24].

Články o vodní stopě lze v České republice nalézt v časopisech Vodní hospodářství (3), Entecho (2), VTEI (1) a The Science for Population Protection (1). V indexovaných časopisech pak zejména v Journal of Cleaner Production (105 v databázi Scopus®/145 v databázi Web of Science®), Science of the Total Environment (56/55), Sustainability MDPI (54/52), Water MDPI (49/44) a Ecological Indicators (44/45). V těchto časopisech bylo publikováno 6 článků v databázi RIV – 3 v časopisu Water a po 1 v časopisech Ecological Indicators, Journal of Cleaner Production a Sustainability.

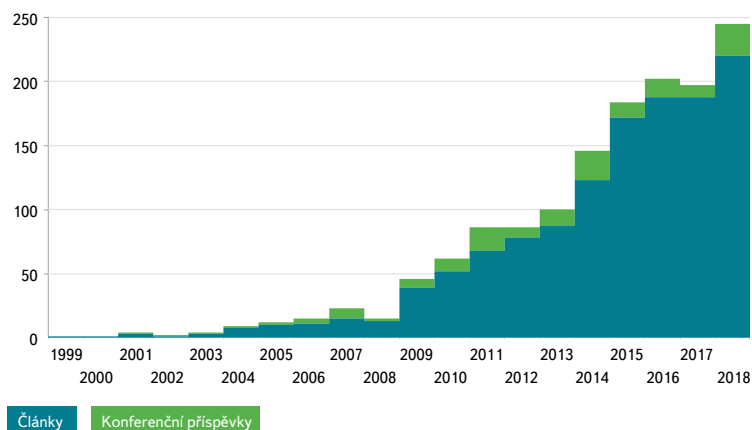
ZÁVĚR A DISKUSE

Jak vyplývá z provedené analýzy, není výzkum vodní stopy v České republice příliš intenzivní. Na druhou stranu nelze srovnávat počet článků v České republice např. s články z Holandska, neboť v Holandsku sídlí WFN a tým Twente University kolem prof. A. Hoekstry je leadrem a největším propagátorem metodologie WFA. Z okolních středoevropských zemí má v databázi Scopus® Polsko 15 příspěvků, Německo 71, Rakousko 31, Maďarsko 9 a Slovensko 3 příspěvky.

Články z České republiky pokrývají jak metodologii WFA, tak LCA přístup k vodní stopě. Stejně tak publikace vznikající za účasti odborníků z českých vědeckých pracovišť pokrývají jak teoretické a metodologické problémy spojené s metodikou vodní stopy, tak otázky praktického využití tohoto nástroje a případové studie.

Tabulka 2. Články českých autorů o vodní stopě v databázi Scopus®

Afilace	Počet článků v RIV	Počet článků ve Scopus®	Počet článků ve Web of Science®
VÚV TGM	6	1	1
Univerzita Karlova v Praze	4	2	1
CzechGlobe	3	2	2
Mendelova univerzita v Brně	3	2	2
Masarykova univerzita v Brně	2	3	1
Vysoké učení technické v Brně	2	2	0
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích	2	0	0
České vysoké učení technické v Praze	1	1	0
Česká geologická služba	0	1	0
Bez afilace	2	0	0



Obr. 1. Počet článků o vodní stopě v databázi Scopus®

Dobrou zprávou je, že zejména univerzitní výzkumná pracoviště spolupracují na mezinárodní úrovni a podílejí se na příspěvcích s autory z mnoha zemí. Minimálně dvě existující publikace lze považovat za významné a hojně citované. Anglické články jsou pak obvykle publikovány v časopisech, které se na téma vodní stopy specializují. V češtině bohužel publikuje pouze VÚV TGM a Univerzita Karlova, česká odborná veřejnost má tak omezenou možnost se seznámit s prací českých pracovišť na téma vodní stopy. Zejména publikování konkrétních aplikací vodní stopy by pomohla k větší propagaci a využití tohoto nástroje v praxi.

Další dobrou zprávou je, že většina článků, a to i anglických, je čtenářům k dispozici volně. V oblasti vodní stopy je tak naplňována vize bezplatného on-line přístupu k publikovaným výstupům projektů financovaných z veřejných zdrojů a jejich opětovné využívání. Vize je uvedena v Národní strategii otevřeného přístupu České republiky k vědeckým informacím na léta 2017–2020, schválené vládou České republiky dne 14. června 2017.

Poděkování

Vznik článku byl podpořen účelově vázanými prostředky institucionální podpory na dlouhodobý rozvoj Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v. v. i., číslo projektu: IG/2019/1644.

Literatura

- [1] WWAP. *The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World* [online]. Paris: UNESCO, 2015. ISBN 978-92-3-100071-3. Dostupné z: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>
- [2] VANHAM, D., LEIP, A., GALLI, A. et al. Environmental footprint family to address local to planetary sustainability and deliver on the SDGs. *Science of The Total Environment* [online]. 2019, vol. 693, p. 133642 [vid. 3. srpen 2019]. ISSN 0048-9697. Dostupné z: [doi:10.1016/j.scitotenv.2019.133642](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133642)
- [3] VANHAM, D., HOEKSTRA, A.Y., WADA, Y. et al. Physical water scarcity metrics for monitoring progress towards SDG target 6.4: An evaluation of indicator 6.4.2 "Level of water stress". *Science of The Total Environment* [online]. 2018, vol. 613, p. 218–232 [vid. 6. říjen 2017]. ISSN 0048-9697. Dostupné z: [doi:10.1016/j.scitotenv.2017.09.056](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.056)
- [4] HOEKSTRA, A.Y., CHAPAGAIN, A.K., and VAN OEL, P.R. Advancing Water Footprint Assessment Research: Challenges in Monitoring Progress towards Sustainable Development Goal 6. *Water* [online]. 2017, vol. 9, No. 6, p. 438 [vid. 3. únor 2018]. Dostupné z: [doi:10.3390/w9060438](https://doi.org/10.3390/w9060438)
- [5] ANSORGE, L., DLABAL, J., PRCHALOVÁ, H. aj. *Metodika sestavení vodní stopy v souladu s ISO 14046*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 2017. Výzkum pro praxi, Sešit 66. ISBN 978-80-87402-59-7.
- [6] ALLAN, T. 'Virtual water': a long term solution for water short Middle Eastern economies? In: *British Association Festival of Science*. B.m.: University of Leeds, 1997.
- [7] HOEKSTRA, A.Y. and HUNG, P.Q. *Virtual water trade – A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade* [online]. Value of Water Research Report Series No. 12. Delft, The Netherlands: IHE. 2002 [vid. 16. leden 2019]. Dostupné z: https://waterfootprint.org/media/downloads/Report11_1.pdf
- [8] HOEKSTRA, A.Y. *Virtual Water Trade – Proceedings of the international expert meeting on Virtual Water Trade* [online]. Value of Water Research Report Series No. 12. Delft: IHE. 2003. Dostupné z: <http://waterfootprint.org/media/downloads/Report12.pdf>
- [9] 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.
- [10] BERGER, M. and FINKBEINER, M. Methodological Challenges in Volumetric and Impact-Oriented Water Footprints. *Journal of Industrial Ecology* [online]. 2013, vol. 17, No. 1, p. 79–89 [vid. 8. červen 2016]. ISSN 1530-9290. Dostupné z: [doi:10.1111/j.1530-9290.2012.00495.x](https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00495.x)
- [11] GAWEL, E. and BERNSEN, K. Do We Really Need a Water Footprint? Global Trade, Water Scarcity and the Limited Role of Virtual Water. *GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society* [online]. 2011, vol. 20, No. 3, p. 162–167. Dostupné z: [doi:10.14512/gaia.20.3.5](https://doi.org/10.14512/gaia.20.3.5)
- [12] ISO. *Environmental management – Water footprint – Principles, requirements and guidelines*. 14046:2014. Geneva: International Organization for Standardization. 2014.
- [13] 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)
- [14] PFISTER, S., BOULAY, A.-M., BERGER, M. et al. Understanding the LCA and ISO water footprint: A response to Hoekstra (2016) "A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA". *Ecological Indicators* [online]. 2017, vol. 72, p. 352–359. ISSN 1470-160X. Dostupné z: [doi:10.1016/j.ecolind.2016.07.051](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.051)
- [15] ZHANG, Y., HUANG, K., YU, Y. et al. Mapping of water footprint research: A bibliometric analysis during 2006–2015. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2017, roč. 149, s. 70–79 [vid. 18. září 2019]. ISSN 0959-6526. Dostupné z: [doi:10.1016/j.jclepro.2017.02.067](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.067)
- [16] MUBAKO, S.T. Blue, green, and grey water quantification approaches: a bibliometric and literature review. *Journal of Contemporary Water Research & Education* [online]. 2018, vol. 165, No. 1, P. 4–19 [vid. 8. leden 2019]. ISSN 1936-704X. Dostupné z: [doi:10.1111/j.1936-704X.2018.03289.x](https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2018.03289.x)
- [17] VOLOŠINOVÁ, D. Workshop na téma Water Footprint. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* [online]. 2019, roč. 61, č. 4, s. 47–47 [vid. 9. srpen 2019]. ISSN 0322–8916, 1805-6555. Dostupné z: <https://www.vtei.cz/2019/08/workshop-na-tema-water-footprint/>
- [18] ZHU, Y., JIANG, S., HAN, X. et al. A Bibliometrics Review of Water Footprint Research in China: 2003–2018. *Sustainability* [online]. 2019, vol. 11, No. 18, p. 5082 [vid. 18. září 2019]. Dostupné z: [doi:10.3390/su11185082](https://doi.org/10.3390/su11185082)
- [19] CHEN, D., ZHANG, P., LUO, Z. et al. Recent progress on the water–energy–food nexus using bibliometric analysis. *CURRENT SCIENCE* [online]. 2019, roč. 117, č. 4, s. 10. ISSN 0011-3891. Dostupné z: [doi:10.18520/cs/v117/i4/577-586](https://doi.org/10.18520/cs/v117/i4/577-586)
- [20] XIE, Y., JI, L., ZHANG, B. et al. Evolution of the Scientific Literature on Input–Output Analysis: A Bibliometric Analysis of 1990–2017. *Sustainability* [online]. 2018, roč. 10, č. 9, s. 3135 [vid. 11. září 2018]. Dostupné z: [doi:10.3390/su10093135](https://doi.org/10.3390/su10093135)
- [21] VAVŘÍKOVÁ, L. *Úvod do scientometrie* [online]. B.m.: Ústav informačních studií a knihovnictví, FF UK v Praze. 2008. Dostupné z: https://sites.ff.cuni.cz/uisk/wp-content/uploads/sites/62/2016/01/%C3%A9Avod-do-scientometrie_Vav%C5%99%C3%ADkov%C3%A1.pdf. 00000
- [22] STEEN-OLSEN, K., WEINZETTEL, J., CRANSTON, G. et al. Carbon, Land, and Water Footprint Accounts for the European Union: Consumption, Production, and Displacements through International Trade. *Environmental Science & Technology* [online]. 2012, vol. 46, No. 20, p. 10883–10891. ISSN 0013-936X. Dostupné z: [doi:10.1021/es301949t](https://doi.org/10.1021/es301949t)

[23] WHITE, D.J., HUBACEK, K., FENG, K. et al. The Water-Energy-Food Nexus in East Asia: A tele-connected value chain analysis using inter-regional input-output analysis. *Applied Energy* [online]. 2018, vol. 210, p. 550–567 [vid. 19. září 2019]. ISSN 0306-2619. Dostupné z: [doi:10.1016/j.apenergy.2017.05.159](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.159)

[24] GOBIN, A., KERSEBAUM, K.C., EITZINGER, J. et al. Variability in the Water Footprint of Arable Crop Production across European Regions. *Water* [online]. 2017, vol. 9, No. 2, p. 93 [vid. 4. únor 2018]. Dostupné z: [doi:10.3390/w9020093](https://doi.org/10.3390/w9020093)

Autoři

Ing. Libor Ansorge, Ph.D.

✉ libor.ansorge@vuv.cz

ORCID: 0000-0003-3963-8290

Mgr. Lada Stejskalová

✉ lada.stejskalova@vuv.cz

ORCID: 0000-0003-2271-7574

Ing. Dagmar Vološinová

✉ dagmar.volosinova@vuv.cz

ORCID: 0000-0003-1195-7046

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

COMPARISON OF WATER FOOTPRINT RESEARCH IN THE CZECH REPUBLIC AND IN ABROAD – BIBLIOMETRIC ANALYSIS

The article submits a bibliometric analysis concerning water footprint articles released in the Czech Republic and abroad. The introduction presents the water footprint and its development. For bibliometric analysis of Czech articles, data from the database of Research and Development and Innovation Results (RIV) was used. RIV is a part of the Czech national Research and Development Information System (www.rvvi.cz). Data from Scopus® and Web of Science® databases were used for a comparison with the world. The chapter of Data and Methods describes the criteria and filters used for article selection from each database. The Results provides the bibliometric data from all three mentioned databases. The Czech database contains only 19 journal articles or conference papers – it is very small number of articles in comparison with Scopus® database (1 440 articles) and Web of Science® (1 201 articles). In the bibliometric analysis we focused on the number of articles; on publishing Czech institutions; on journals in which the articles are most often published and on the countries where the institutions (publishing articles on the water footprint) mostly come from. The chapter of Conclusion and Discussion compares the situation in the Czech Republic with the neighbouring Central European countries. The number of Czech articles registered in the Scopus® or Web of Science® databases is similar to the number published in Hungary, higher than in Slovakia and lower than in Germany, Poland or Austria. This part also summarizes the knowledge that can be drawn from the limited number of water footprint articles recorded in the national database.

Vodohospodářská padesátka 2019

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., se u příležitosti oslav své 100leté existence ujal organizace 46. ročníku Vodohospodářské padesátky. Kromě klasického výběru mezi kolem a pohorkami se letos mohli účastníci vůbec poprvé svézt i na koloběžce.

První ročník „Vodohospodářské padesátky“ byl uspořádán podnikem Povodí Odry již v roce 1973 a velmi brzy se mezi vodohospodáři stal tradiční a velmi oblíbenou akcí. V průběhu 45 let účastníci na pěších a cyklistických trasách poznali mnoho krásných míst České republiky. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., (VÚV TGM) pořádal „padesátku“ společně s VRV Brno v roce 1982 na Českomoravské vrchovině. Jelikož v roce 2019 slaví VÚV TGM 100. výročí založení, chopili jsme se trojzubce a zavázali jsme se, že v roce 2019 budeme „padesátku“ po 37 letech znovu pořádat. Termín byl vyhlášen na 13.–15. září 2019 se startem ve VÚV TGM v Praze-Podbabě. Přípravy a organizace akce začaly už na podzim 2018 a s velkým úsilím hlavních šesti organizátorů (Hana Mlejnková, Marcela Makovcová, Hana Nováková, Lucie Jašíková, Pavel Richter a Josef Nistler) byla připravena 102 km dlouhá trasa pro cyklisty, 29 km dlouhá trasa pro pěší a jako novinka 31 km dlouhý koloběh s možností zapůjčení koloběžek.



Poměrně nenáročná (proto delší) trasa pro cyklisty byla zacílena na sever od Prahy. Převážně asfaltový povrch trasy byl zpestřen několika náročnějšími terénními úseky. Informace v brožurě upozornily účastníky na mnoho zajímavých vodohospodářských děl (např. zdymadla Troja-Podbaba, Dolany, jezový most a zdymadlo v Miřejovicích, historické zdymadlo v Hoříně) a historických památek (např. zámek a rodný dům A. Dvořáka v Nelahozevsi, zámek Veltrusy, Panenské Břežany), které mohli po trase potkat. Trasa, z velké části lemující Vltavu, nabídlá zážitky i milovníkům přírody, např. nejsevernější pražský Přírodní park Drahaň-Troja nebo bizarní útvary zvětralých pískovců na Dvořákově cestě, a dovedla vodohospodáře až k ústí Vltavy do Labe. Oběd byl zajištěn v Zooparku Zelčín ve vyhlášeném Hostinci u Bedřicha.

Turistická trasa s celkovým převýšením 478 m nahoru a 339 m dolů, jejíž nejnižším bodem 178 m n. m. a nejvyšším bodem 339 m n. m. začínala na levém břehu Vltavy a zavedla účastníky po proudu řeky do Sedlece, kde se nachází nyní zpusťlý klasicistní zámek z poloviny 19. století. Poté následovalo první stoupání na skály nad řekou s několika vyhlídkami na Vltavu a část Prahy. Dalším zajímavým místem byl zámek Roztoky u Prahy, kde se nachází expozice Středočeského muzea. Trasa pokračovala přes PR Roztocký háj-Tiché údolí proti proudu Únětického potoka se stopami vodohospodářské činnosti (Spálený



mlýn, bývalý Tůmův mlýn a Trojanův mlýn) až do Únětic. Tam byl v místním oblíbeném pivovaru s tradicí vaření piva již od roku 1710, připraven oběd. Trasa dále vedla proti proudu Únětického a posléze Kopaninského potoka přes obce Černý Vůl a Statenice. Následovala cesta lesem přes rozcestí Sv. Juliána do Horoměřic (zámek z 1. poloviny 18. století, nyní nepřístupný) a pak přes kontrolu na rozcestí K oříškům do PP Šárka-Lysolaje kolem kostela sv. Matěje (původní místo konání Matějské pouti) do Lysolaj. Zde lákaly k posezení lavičky u Lysolajské pláže s výhledem na důmyslně řešené vodní prvky. Poté bylo možné odbočit k Zázračné studánce a do PP Housle. Na konci trasy čekal pěšáky závěrečný výšlap do cíle v areálu České zemědělské univerzity (ČZU) v Praze-Suchbole.

Novinka v podobě koloběžkové trasy vedla na rozjezd po krásné vyhlídkové cyklostezce po pravém břehu Vltavy až k přívodu v Roztokách. Po převozu na levý břeh se u Roztockého zámku napojila na trasu pěší.

V dlouho očekávaný „šťastný“ pátek 13. září odpoledne začaly najíždět autobusy plné natěšených vodohospodářů do areálu kolejí ČZU v Praze-Suchbole, kde probíhala registrace a ubytování účastníků. Ve večerních hodinách proběhla v kinosále VÚV TGM schůzka vedení podniků a vedoucích výprav a bylo potvrzeno, že pro příští rok po nás trojzubec převezme sdružení Severočeská voda, skupina sdružující Severočeské vodovody a kanalizace, a. s., (SČVK), Severočeskou vodárenskou společnost, a. s., (SVS) a Severočeskou servisní společnost, a. s. (SČS).

Sobota 14. 9. 2019 připravila ideální slunečné a teplé počasí, které podporovalo zdárný start a průběh akce. Na akci se přihlásilo neuvěřitelných 666 účastníků a spolu s organizátory dosáhli krásného počtu rovných 700! Na pěší trasu se vydalo 407 turistů, do sedel nastoupilo 236 cyklistů a novinku chtělo vyzkoušet 23 koloběžkářů. Nejpočetnější z 31 výprav, které se VH50 přihlásily, bylo Povodí Moravy s více než 130 účastníky, následovalo Povodí Labe, Severočeská voda, Povodí Vltavy a Moravská vodárenská.

Na všech kontrolách potkávali organizátoři spokojené a usměvavé účastníky akce. Malý zádrhel nastal v Únětickém pivovaru, kde obsluha s postupem času nezvládla velký nápor pěších a koloběžkářů a vytvořila se dlouhá fronta. Naopak v Zelčíně byli strážníci s rychlostí a kvalitou obsluhy zcela spokojeni. Po poledním odpočinku pokračoval každý podle svých sil různými cestami do cíle a pak už na všechny účastníky a organizátory čekala „jen“ večerní zábava.

Večerní program začal v Kruhové hale v areálu ČŽU úvodním slovem ředitele VÚV TGM Tomáše Urbana, který v doprovodu moderátora Tomáše Fojtíka předal štafetu v pořádání dalšího ročníku vedoucí výpravy příštího pořadatele paní Lence Špírkové.

A po předání štafety vypuklo veselí – jídlo, pití, promítání fotek z průběhu akce. K tanci hrála v kruhové hale kapela SO Fine a současně v Klubu C nabízel DJ Mix bujarou diskotéku.

Na většině účastníků nebylo poznat, že mají za sebou 100 km na kole nebo 30 km pěšky či na koloběžce, a veselili se v hojném počtu až do závěru akce ve dvě hodiny ráno. V neděli už zbýval jen úklid po akci a odjezd účastníků do svých domovů. Jak bychom my, jako organizátoři celou akci zhodnotili? Rozhodně to stálo za nemalé úsilí a spoustu práce nad rámec našich běžných pracovních povinností! Když jsme v cíli slyšeli chválu od unavených vodohospodářů, často s dovětkem, že jsme nasadili opravdu vysokou laťku pro příští pořadatele, byla to pro nás ta největší odměna. Nicméně jsme rádi, že další 47. ročník VH50, který nás zavede do Máchova kraje ke Starým Splavům, Doksům, Máchovu jezeru a Bezdězu, si budeme moct užít v roli běžných účastníků.

Děkujeme všem za podporu, spolupráci a často nezištnou pomoc.

Veškeré informace o konání letošní Vodohospodářské padesátky jsou k dispozici na stránkách pochodu na adrese <https://heis.vuv.cz/vh50/>.

Autoři

Ing. Pavel Richter, Ph.D.

✉ pavel.richter@vuv.cz

Mgr. Lucie Jašíková, Ph.D.

✉ lucie.jasikova@vuv.cz

RNDr. Hana Mlejnková, Ph.D.

✉ hana.mlejnkova@vuv.cz

Ing. Hana Nováková, Ph.D.

✉ hana.novakova@vuv.cz

Ing. Marcela Makovcová

✉ marcela.makovcova@vuv.cz

Ing. Josef Nistler

✉ josef.nistler@vuv.cz

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



VTEI/2019/6

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 61



VTEI.cz

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

Redakční rada:

RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D., doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur, doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.,
Mgr. Róbert Chriateľ, Mgr. Vít Kodeš, Ph.D., Ing. Jiří Kučera, Ing. Milan Moravec, Ph.D.,
Ing. Jana Poórová, Ph.D., Mgr. Hana Sezimová, Ph.D., Dr. Ing. Antonín Tůma,
Mgr. Lukáš Záruba, Ing. Marcela Zrubková, Ph.D.

Vědecká rada:

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

Šéfredaktor:

Bc. Lenka Michálková
T: +420 220 197 465
E: lenka.michalkova@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**



SIVEN AMERICKÝ

V podzimních až zimních měsících to v našich lesích hýří pestrými barvami. Nejinak je tomu i v horských potocích a jezerech, kde nastává období rozmnožování lososovitých ryb. Nejvýraznějším svatebním šatem bez nadsázky oplývají siveni američtí. Jsou to introdukované ryby původem ze severo-východní části Ameriky. Svým způsobem života nám hodně připomínají naše domácí pstruhy obecné. Ovšem na rozdíl od nich se dokáží přizpůsobit velmi tvrdým životním podmínkám. Siveni zvládají dlouhodobě přežít zamrzání hladiny jezer a snáší i značnou kyselost vody (u nás běžně přežívá i při pH 5,3 a z Ameriky je uváděn extrém až pH 4,1), zejména pro tuto odolnost byli siveni vysazeni na mnoha místech světa. Nejvíce se u nás tyto ryby vysazují v horských a podhorských oblastech, jako jsou Jizerské hory, Šumava a Krkonoše, kde je velké množství kyselých vod z tamních rašelinišť.

Text a fotografii dodal Rostislav Štefánek, www.zezivotaryb.cz.

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

veřejná výzkumná instituce

VTEI.cz