

STUDIUM VÝZNAMU STARÝCH VODNÍCH DĚL V KRAJINĚ BĚHEM EXTRÉMNÍCH ODTOKOVÝCH FÁZÍ

Jan UNUCKA^{1,2}, Vladimír FÁREK³, Jan ŠREJBER³, Martin NERUDA⁴, Vít VOŽENÍLEK⁵, Rostislav NÉTEK⁵, Eva SVOBODOVÁ⁶, Petr DOBROVOLNÝ⁶, Ivo WINKLER², Dušan ŽIDEK², Iva PONÍŽILOVÁ³, Marek STRACHOTA¹

¹ VŠB-TU Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava-Poruba,
{jmeno.prijmeni}@vsb.cz

² Český hydrometeorologický ústav pobočka Ostrava, K Myslivně 3/2182, 708 00 Ostrava-Poruba,
{jmeno.prijmeni}@chmi.cz

³ Český hydrometeorologický ústav pobočka Ústí nad Labem, Kočkovská 18/2699, 400 11 Ústí nad
Labem
{jmeno.prijmeni}@chmi.cz

⁴ Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta životního prostředí, Králova výšina 3132/7, 400 96 Ústí
nad Labem
martin.neruda@ujep.cz

⁵ Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, 17. listopadu 1192/12, 771 46 Olomouc,
{jmeno.prijmeni}@upol.cz

⁶ Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Kotlářská 267/2, 611 37 Brno,
{jmeno.prijmeni}@sci.muni.cz

Abstrakt

Sucho a povodně jsou faktory, které jednak poukazují na význam připravenosti infrastruktury krizového řízení v oblasti vodního hospodářství krajiny, ale zároveň také zdůrazňují důležitost využívání moderních nástrojů v oblasti geoinformatiky, hydrologie a hydroinformatiky. V kontextu platné národní i mezinárodní legislativy jsou povodně i sucho extrémní odtokové fáze, které úlohu moderních technologií coby podpory krizového řízení jen zdůrazňují. Jednou z kardinálních otázek, která vyvstává nejen během těchto hydrologických extrémů, je faktor převodů vody v povodí, a to jak u historických vodních děl, které často v současné krajině slouží původnímu účelu již jen zčásti nebo vůbec, tak i u současných vodohospodářských zařízení, zejména pak umělých vodních kanálů, náhonů a nádrží. Všechny tyto objekty logicky sloužily a slouží k převodům a akumulaci vody v rámci povodí i mezi nimi. Krom povrchového odtoku zároveň různou měrou ovlivňují i ostatní komponenty srážkoodtokového procesu, např. hladiny podzemních vod a obsah vody v pásmu aerace a tímto de facto ovlivňují dynamiku vody v krajině i mimo své bezprostřední okolí. Předložený příspěvek autorského kolektivu se soustředí na analýzu vlivu těchto objektů za pomoci instrumentálního a programového vybavení geodézie, hydrometrie, GIS a matematického modelování. V rámci transferu často velkých objemů dat je nutné řešit nejen jejich polohovou a výškovou přesnost, ale i míru nejistoty a třídy přesnosti dle platných pokynů národních hydrologických služeb a kombinaci dat z různých zdrojů a technologií tak, aby se chyby a nejistoty snížily na minimální úroveň. Výstupy analýz z této infrastruktury jsou v textové, grafické a kartografické formě s tím, že celou tuto infrastrukturu lze potenciálně využít i coby komponentu Hlásné a předpovědní povodňové služby ČR. Výsledky simulací pomocí srážkoodtokových a hydraulických modelů byly konfrontovány s výsledky měření s tím, že koeficienty determinace překračují hodnoty 0.9.

Klíčová slova: stará vodní díla, krajina, hydrologické extrémy, hydrometrie, hydrologické modely

Abstract

Both droughts and floods are factors that highlight the importance of preparedness for crisis management infrastructure in the area of water management in the landscape as well as the importance of using modern instruments in the field of geoinformatics, hydrology and hydroinformatics. In the context of valid national and international legislation, floods and droughts represent extreme runoff

stages, which also accent the role of modern technologies as a support for crisis management. One of the cardinal issues that arises not only during these hydrological extremes is the water transfer factor in the river basin both in the case of historical waterworks, which are often used for the original purpose in the current landscape only partially or not at all, as well as with the current water management facilities, especially artificial water canals, flumes and ponds. All these objects have logically been serving to transfer and accumulate water within the river basin and also among the basins. In addition to the surface runoff, other components of the rainfall-runoff process, e.g. groundwater levels and water content in the aeration zone, also affect the water dynamics in the landscape and beyond its immediate vicinity. The submitted contribution of the author team focuses on the analysis of the impact of these objects using instrumentation and software of geodesy, hydrometry, GIS and mathematical modelling. In the context of the transfer of often large volumes of data, it is necessary to address not only their positioning and height accuracy, but also the degree of uncertainty and precision class according to the valid instructions of the national hydrological services and the combination of data from different sources and technologies, so that the errors and uncertainties could be reduced to the minimum. The outputs of the analyses from this infrastructure are in textual, graphical and cartographical form, with the possibility to use this entire infrastructure as a component of the Czech Republic's Flood Forecasting Service. Simulation results using rainfall-runoff and hydraulic models were compared with the results of measurements and exceed the value 0.9 for the coefficients of determination.

Keywords: old water works, landscape, hydrological extremes, hydrometry, hydrologic models

ÚVOD

V současné době se poměrně intenzivně obrací pozornost k odtokovým poměrům v krajině a jejich časoprostorovým změnám zejména s ohledem na extrémní odtokové fáze, mezi které zahrnujeme veškeré typy sucha či povodní s klasifikací poplatnou přírodním vědám či krizovému řízení. Je zřejmé, že krom samotných proměn klíčových parametrů krajiny, jako je změna hydrografické sítě, hydrogeologických poměrů, změna ve využití území nebo změna porostní a věkové struktury porostů na lesním půdním fondu, patří mezi zásadní faktory rovněž vodohospodářská infrastruktura. Ta podléhá změnám stejně jako krajina samotná a tyto změny do značné míry odráží vztah mezi aktuální spotřebou vody a územními limity. Pro optimalizaci vodního režimu krajiny a tím i zásob vody pro aktuální potřeby společnosti začala vznikat umělá vodní díla a následně logicky i sítě, které tato jednotlivá díla spojovaly. Jejich vznik je prokazatelně doložen od nejstarších civilizací včetně harappské kultury (viz např. Tainter 2009) přes římské období a středověk (Squatriti ed. 2000) s dalším rozvojem během průmyslové revoluce. Význam redistribuce vody pomocí umělých staveb u nejstarších civilizací dokonce zdůrazňuje Karl Wittfogel termínem "hydraulické civilizace" (in Bárta, Kovář et al. 2013). Z dalších prací, které se fenoménem starých vodních děl zabývají v prostoru současné ČR, lze jmenovat práce Belisové (2014), Jodase (2015), Kolky (2012, 2014), Pavelkové a kolektivu (2014) nebo Štěpána, Urbánka a kolektivu (2008). Obecnější studie Svobody, Homoly a kolektivu (2014) pak přináší mimo jiné zajímavý pohled na prostorovou typologii těchto objektů, který koresponduje s typologickým dělením vektorových geodat na body, linie a polygony. U většiny z výše jmenovaných studií převažuje analýza technických parametrů zařízení, která byla poháněna vodním náhonem, přičemž se jedná zejména o mlýny, pily, hamry nebo textilky, výjimku tvoří práce Pavelkové a kolektivu, která se soustředí na historické (a často i zaniklé) rybníky a jejich význam v krajině. Z dřívějších prací autorského kolektivu, na které navazuje i tato studie, lze jmenovat např. Augustinková, Fárek a kol. (2017), Klepek (2017) nebo Unucka a kol. (2017), které už se více zaměřují na hydrologicko-hydraulické aspekty za využití metod a nástrojů geodézie, hydrometrie, geoinformatiky a hydroinformatiky. Důvodem je to, že historická vodní díla a návazné vodohospodářské sítě v krajině můžeme klasifikovat z hlediska převodů či akumulace na plně funkční, částečně funkční nebo dysfunkční. Je zřejmé, že právě hydrometeorologické extrémy „prověřují“ limity těchto děl, přičemž nevhodně či nedostatečně navržené, udržované nebo provozované vodní dílo může odtokovou situaci nejen během těchto extrémů ještě zhoršit. Český hydrometeorologický ústav se těmito atributy a riziky musí zabývat v souladu s platnou legislativou a metodickými pokyny, krom toho se však často i mimoděk během těchto analýz in situ nebo následně v geoinformatických a hydroinformatických nástrojích objeví další zajímavosti a potenciál těchto objektů, mezi které lze zařadit např. význam pro ekologii stanovišť či druhů (refugium vzácných či zajímavých druhů, migrační koridory a návaznost na ÚSES apod.), mikroklimatický význam (samotná vodoteč či vodní plocha a jejich vegetační doprovod) nebo význam pro památkovou péči a turistický potenciál daného území. Jak analytická, tak následná syntetická a produkční fáze vyžaduje jednak mezioborový přístup (přírodní a technické vědy spolu

s dílčími disciplínami společenských věd) a jednak práci s často velkými objemy dat a geodat (např. digitální modely reliéfu, výsledky geodetických a hydrometrických měření nebo schematizace srážkoodtokových a hydraulických modelů), takže je nasnadě, že bez moderních přístupů na úrovni hydrologie, hydrauliky a geoinformatiky by některé analýzy bylo možné provádět jen zčásti nebo vůbec.

CÍLE STUDIE

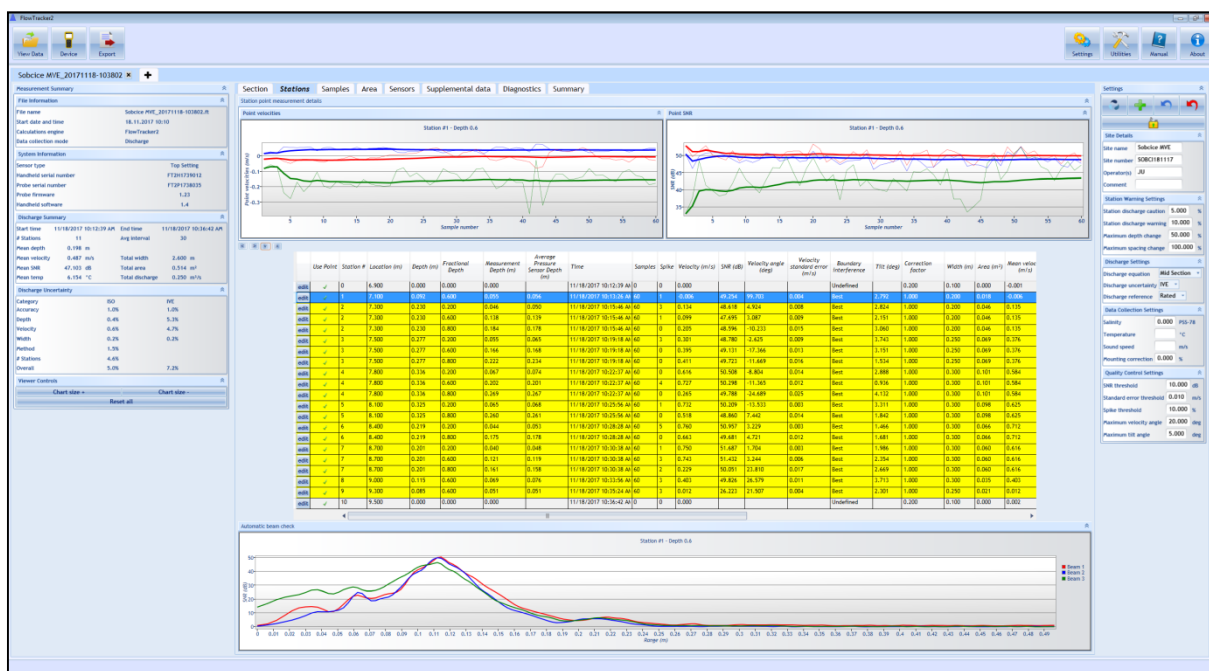
Hlavním cílem studie je posouzení hydrologického významu a případných rizik vybraných objektů na níže popsaných pilotních lokalitách. Hydrologický význam je posuzován a uvažován zejména z hlediska převodů vody během extrémních odtokových fází. Během povodní to představuje zejména účinnost náhonu a přidružených technických zařízení z hlediska převodu části povodňových vod mimo hlavní koryto a následného snížení hladiny a zmenšení případných rozlivů při vybřežení. Tento efekt je dán zejména hydraulickými (např. kapacita a sklon koryta, parametry hlavního rozdělovacího objektu) a provozními (manipulační řád, technický stav objektů) atributy objektu. Během malých vodností se projevují podobné příčinné faktory, výsledným efektem je opět převod vody, který však za takových situací slouží k redistribuci vody v daném území, částečnému ovlivnění podpovrchové vody v pásmu aerace i saturace, zásobování vodou pro socioekonomické aktivity člověka, zdroje vody pro okolní flóru a faunu a konečně i fungování ekosystému jako takového. Po této analytické a inventarizační části je dalším cílem vytvoření odvozených geodat a jednotné geodatabáze těchto objektů, mj. pro možnosti vzájemného srovnání geograficky a časově oddělených, ale funkčních a stavem příbuzných objektů. Z toho logicky vyplývají následné cíle, jako je tvorba map rizik území a formulace doporučení pro lokální samosprávu včetně krizového plánování a řízení, ochranu přírody a památkovou péči. Další cíle lze spatřovat v otestování hydrometrických přístrojů různých typů ve v určitém ohledu specifických podmínkách (např. kolísání hladin z důvodu aktuálního proměnného výkonu MVE, odrazy paprsků akustických přístrojů od vertikálních stěn náhonů) a porovnání výsledků měření u jednotlivých přístrojů či typů (mechanické, indukční, akustické). Konečně posledním cílem je obdobné srovnání výsledků simulací ve srážkoodtokových a hydraulických modelech a nástrojů pro analýzy geodat v jednotlivých programových prostředcích GIS.

POUŽITÁ METODIKA A NÁSTROJE

Úvodní GIS analýzy pilotních území byly zaměřeny na vybrané morfometrické parametry DMR (sklonové poměry, hloubka a šířka údolí, hustota údolní sítě ad.) za využití DMR 5G ČÚZK. Z programových prostředků GIS byly pro tyto analýzy DMR využity nástroje ESRI ArcGIS s extenzemi Spatial Analyst, 3D Analyst, Network Analyst a ArcHydro, dále pak GRASS GIS a SAGA GIS. Dále byly pomocí extenzí HEC-GeoHMS a GeoHMS-AddIn provedeny schematizace pro srážkoodtokový model HEC-HMS, v němž se provádí bilanční výpočty a scénáře ovlivnění odtokových poměrů.

Geodetické zaměření objektů všech pilotních lokalit proběhlo s využitím GNSS technologií. Použita byla dvoufrekvenční měřická GNSS aparatura, která umožňuje zaměřit objekty s velmi vysokou polohovou přesností. Tato přesnost je ovlivněna kvalitou přijímaného signálu dostupných družic a signálu mobilních operátorů pro přijímání korekčních dat z referenčních stanic CZEPOS, což je síť permanentních stanic GNSS, kterou spravuje a provozuje Zeměměřický úřad. Jelikož, jak již bylo zmíněno, většina zájmových objektů leží na zalesněném území, probíhalo měření na těchto lokalitách v měsících mimo hlavní vegetační sezónu, aby byla zajištěna co možná nejvyšší kvalita signálu a tím dosaženo nejvyšší možné přesnosti. Nově naměřenými daty byly doplněny a upřesněny stávající polohopisné a výškopisné údaje jednotlivých náhonů a zároveň lokalizovány partie s viditelnými průsaky, pakliže se takové na pilotním objektu vyskytovaly. Pomocí GNSS a ADCP (viz dále v textu) technologií byly zaměřeny i příčné profily náhonů, přičemž takto získaná výsledná data sloužila jako další podklad pro schematizaci hydraulických modelů HEC-RAS a MIKE 11 pomocí extenzí HEC-GeoRAS a MIKE 11 GIS.

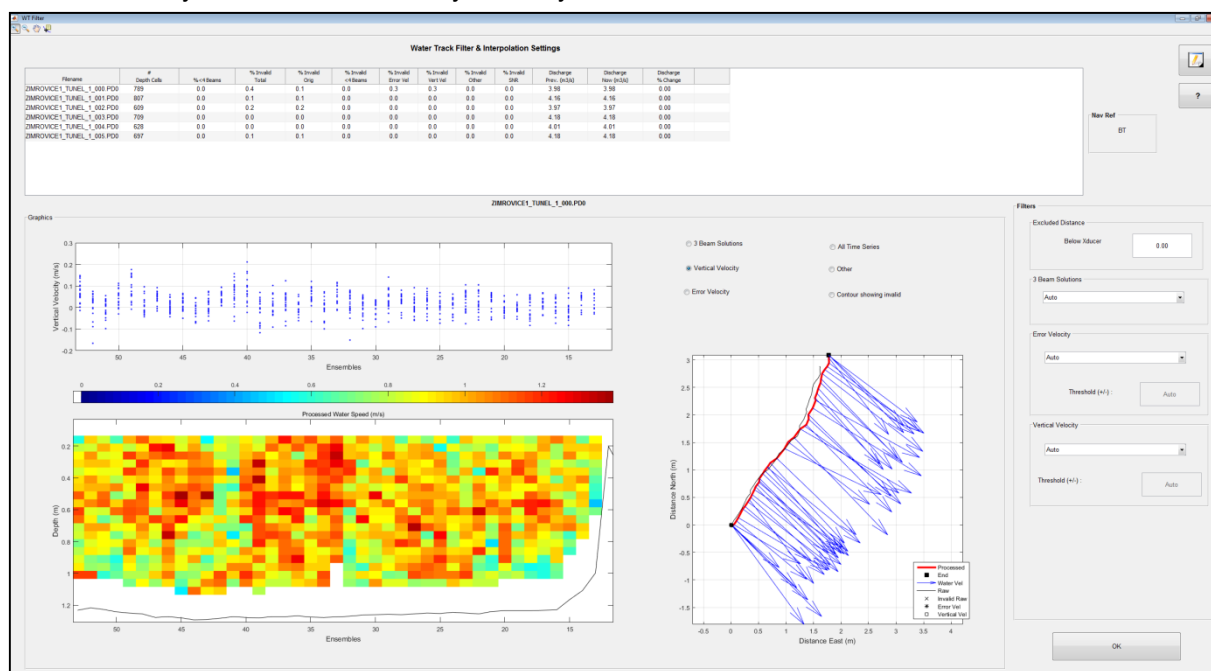
Hydrometrická měření proběhla a nadále probíhají za využití konvenčních hydrometrických vrtulí (OTT 31 a OTT C-2), indukčních přístrojů OTT Nautilus 2000 a OTT MF-Pro, akustických přístrojů ADV YSI/SonTek FlowTracker1 a FlowTracker2 a konečně ADCP RDI Teledyne StreamPro a SonTek RiverSurveyor M9. Vybraná batygrafická a geometrická data z ADCP měření byla importována do schematizací hydraulických modelů pomocí vlastní vyvinuté aplikace (Unucka 2017). Průsaky byly měřeny přístrojem na měření objemové půdní vlhkosti Decagon ProCheck. Měření profilových rychlostí a Q výše uvedenými přístroji sloužilo pro následné parametrizace a kalibrace hydraulických modelů HEC-RAS a MIKE 11 a následné konstrukce parametrické i hydraulickými výpočty odvozené měrné křivky průtoků (dále jen MKP). Měřicí pořady pomocí ADCP pak postupně analyzovaly pokles Q, pakliže k němu docházelo kvůli průsakům či jiným ovlivňujícím faktorům. Měření pomocí ADCP má v takových typech objektů svá specifika, protože signál v krajních polohách u břehů je odrážen nejen ode dna, ale i od kolmých stěn náhonu. Z tohoto důvodu hraje poměrně velkou roli přesné nastavení měřicího přístroje a to především parametrů typu měření a extrapolace pole rychlostí v těchto okrajových segmentech. Z tohoto důvodu byla v některých případech prováděna srovnávací měření pomocí obou ADCP přístrojů, tzn. SonTek River Surveyor M9 a Teledyne RDI StreamPro. Vyhodnocení všech měření probíhala dle platných metodických pokynů pro hydrometrická měření a primární zpracování hydrologických dat a výsledky, které nešly zahrnout do požadovaných tříd přesnosti, byly z dalšího zpracování vyřazeny (Boiten 2008). Finální primární zpracování hydrometrických dat bylo provedeno v programových balících výrobců (tzn. TRDI WinRiver II, SonTek RiverSurveyor Live, YSI/SonTek FlowTracker2 a OTT Q-Review) a komplexních nástrojích pro zpracování bodových měření (Vrtule) nebo ADCP měření (Agila a USGS QRev), viz obrázky 1 a 2.



Obr. 1. Vyhodnocení měření z 18. 11. 2018 na pilotní lokalitě Sobčice v programu FlowTracker2.

U tvorby srážkoodtokových a hydraulických modelů bylo jednoznačným kritériem využití takových nástrojů, které jsou schopny simulace vlivu rozdělovacích objektů, samotné hydrauliky umělých koryt včetně vlivu technických objektů a manipulací a následného návratu vody do hlavního toku. Dalším kritériem bylo využití průmyslových standardů FEMA/NFIP či software, který je operativně používán v rámci Hlásné a předpovědní povodňové služby ČR (dále HPPS ČR). Ze srážkoodtokových modelů byl využity nástroje HYDROG, HEC-HMS a MIKE SHE, přičemž poslední dva jmenované v současnosti patří bezesporu mezi nejrozšířenější nástroje pro srážkoodtokové modelování, a jejich validace proběhla a probíhá bez nadsázky v celosvětovém měřítku (Beven 2009, Mujumdar, P. et Kumar, N. 2012). Dalším argumentem pro volbu konkrétního modelovacího nástroje je dobrá konektivita na GIS

systemy (HEC-HMS, MIKE SHE), rutinní využívání v rámci praxe ČHMÚ (HYDROG) a samotná podpora schematizace a simulace rozdělovacích objektů a náhonů jako takových (Unucka 2014). Z hydraulických modelů byly využity HEC-RAS a MIKE 11 coby opět průmyslové standardy FEMA/NFIP a v podstatě etalony 1D hydraulického modelování celosvětového významu (Bedient, Huber et Vieux 2013, Di Baldassare 2012, Dyhouse et al. 2003). Jsou opět využívány v praxi ČHMÚ pro hydraulické studie (např. stanovení SPA či výpočet MKP). Software HYDROG a HEC-HMS umožňují schematizaci a simulaci technických objektů na tocích, včetně rozdělovacích objektů, pomocí několika metod a také simulaci provozních poruch těchto objektů (např. nevhodná manipulace, protřžení hráze apod.). Srážkoodtokový model MIKE SHE hydraulickou část transformace ovzdušné srážky neřeší v takovém detailu, pro tyto účely se využívá hlavní přidané hodnoty platformy DHI MIKE, a sice kombinace a operativního propojení srážkoodtokového modelu MIKE SHE s hydraulickým modelem MIKE 11 a konečně modelem proudění v nasycené zóně MODFLOW (Unucka 2014). Podobnou integrační snahu reflektuje i nová platforma USACE HEC-WAT (*Watershed Analysis Tool*), která krom jiného integruje srážkoodtokový model HEC-HMS a hydraulický model HEC-RAS.



Obr. 2. Vyhodnocení ADCP měření z 18. 11. 2018 na pilotní lokalitě Žimrovice v programu QRev.

Mezi metody simulace lze zahrnout simulaci dle hladiny či Q v hlavním toku nebo pomocí časových řad manipulací. Pro takto komplexní řešení hydraulických podmínek ještě lokálně komplikovaných náhony a rozdělovacími objekty s manipulacemi byla u modelu HEC-RAS použita Bernoulliho rovnice v 1D a pro MIKE 11 dynamická vlnová aproximace vyššího řádu, které umožňuje simulovat vlivy zpětného vzdutí. Pro simulaci 1D proudění v přirozených a umělých korytech ve srážkoodtokových modelech HEC-HMS a HYDROG byla použita kinematická vlnová aproximace, kterou můžeme bez nadsázky opět nazvat etalonem v rámci srážkoodtokového modelování (Unucka 2014). Průsaky byly řešeny pomocí ztrátových koeficientů „*Groundwater Leakage*“ a „*Gaining / Losing Reach*“, které jsou u hydraulických modelů HEC-RAS a MIKE 11 sofistikovanější s možností napojení na hydrogeologické modely MODFLOW / FEFLOW, u srážkoodtokového modelu HEC-HMS pak parametricky pomocí metody „*Channel Loss / Gain*“ pomocí perkolačních parametrů, popř. konstanty. Pro funkci a proudění v rozdělovacích a vzdouvacích objektech byly použity různé varianty rovnic, nejčastěji Honma (viz [2]).

Difuzní vlnovou aproximaci v 1D lze vyjádřit následujícím vztahem:

$$\left(\frac{1}{A}\right) \frac{\partial Q}{\partial t} + \left(\frac{1}{A}\right) \frac{\partial \left(\frac{Q^2}{A}\right)}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_0 - S_f) = 0 \quad (1)$$

, kde:

Q ... průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

A ... průtočná plocha [m^2]

q ... boční přítok na jednotku délky [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} / \text{m}$]

x ... vzdálenost ve směru podélného profilu a proudění [m]

y ... hloubka [m]

g ... gravitační zrychlení [$9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$]

S_0 ... sklon dna [$\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$]

S_f ... sklon vodní hladiny [$\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$]

Rovnice Honma 1 pro simulaci proudění na jezích a rozdělovacích objektech má následující tvar:

$$Q = \begin{cases} C_1 W (H_{us} - H_w) \sqrt{(H_{us} - H_w)} \\ C_2 W (H_{ds} - H_w) \sqrt{(H_{us} - H_{ds})} \end{cases} \quad (2)$$

W ... šířka koruny jezu [m]

C_1 a C_2 ... koeficienty jezu

H_{us} ... hladina vody nad jezem [m]

H_{ds} ... hladina vody pod jezem [m]

H_w ... hladina vody na jezu [m]

MIKE 11 umožňuje ještě aplikaci rozšířené Honma rovnice pro tři varianty poměru hladin nad a pod jezem či rozdělovacím objektem, popř. Villemonteho vztah. HEC-RAS používá mj. základní rovnici pro jez $Q = C \cdot W \cdot H^{3/2}$ [3] (Dyhouse 2003). Pokud hladinu vzdouvá mostní či jiná konstrukce, používají modely HEC-RAS i MIKE 11 osvědčený numericko-analytický řešič WSPRO. Pro další aspekty matematického řešení transformace Q a hladin na technických objektech s manipulacemi v hydraulických modelech lze odkázat na referenční manuály k software HEC-RAS a MIKE 11, popř. monografie Dyhouse (2003) a Di Baldassare (2012).

Srážkoodtokové modely byly schematizovány na podobné úrovni detailu, která je u semidistribovaných modelů dána velikostí subpovodí. Ta byla u HEC-HMS i HYDROG v řádu jednotek km^2 či menší. Jako příklad lze uvést varianty schematizace povodí Osoblaha, které při velikosti 201 km^2 k závěrovému profilu se stanicí Osoblaha / Osoblaha (DBČ 304000) je rozděleno na 59 dílčích povodí u modelu HEC-HMS a 30 schematizovaných úseků vodních toků včetně náhonu, u srážkoodtokového modelu HYDROG je dělení ještě detailnější, dílčích subpovodí je 141 dílčích povodí a 75 úseků vodních toků včetně náhonu. Míra detailu plně distribuovaného modelu MIKE SHE je určena primárně rozlišením rastrů, ty nepřekročily hodnotu 15 m na jakémkoliv pilotním povodí. Hydraulické modely HEC-RAS a MIKE11 mají identický počet výpočetních uzlů a příčných profilů, neboť schematizace mezi těmito programovými prostředky jsou zčásti konvertibilní. Jako příklad lze opět uvést schematizaci systému náhonů v Hanušovicích, která zahrnuje u modelů HEC-RAS a MIKE 11 8 schematizovaných vodních

toků včetně náhonu a odlehčovacích kanálů a 333 výpočetních uzlů (tj. příčných profilů a technických objektů s manipulacemi nebo bez manipulací).

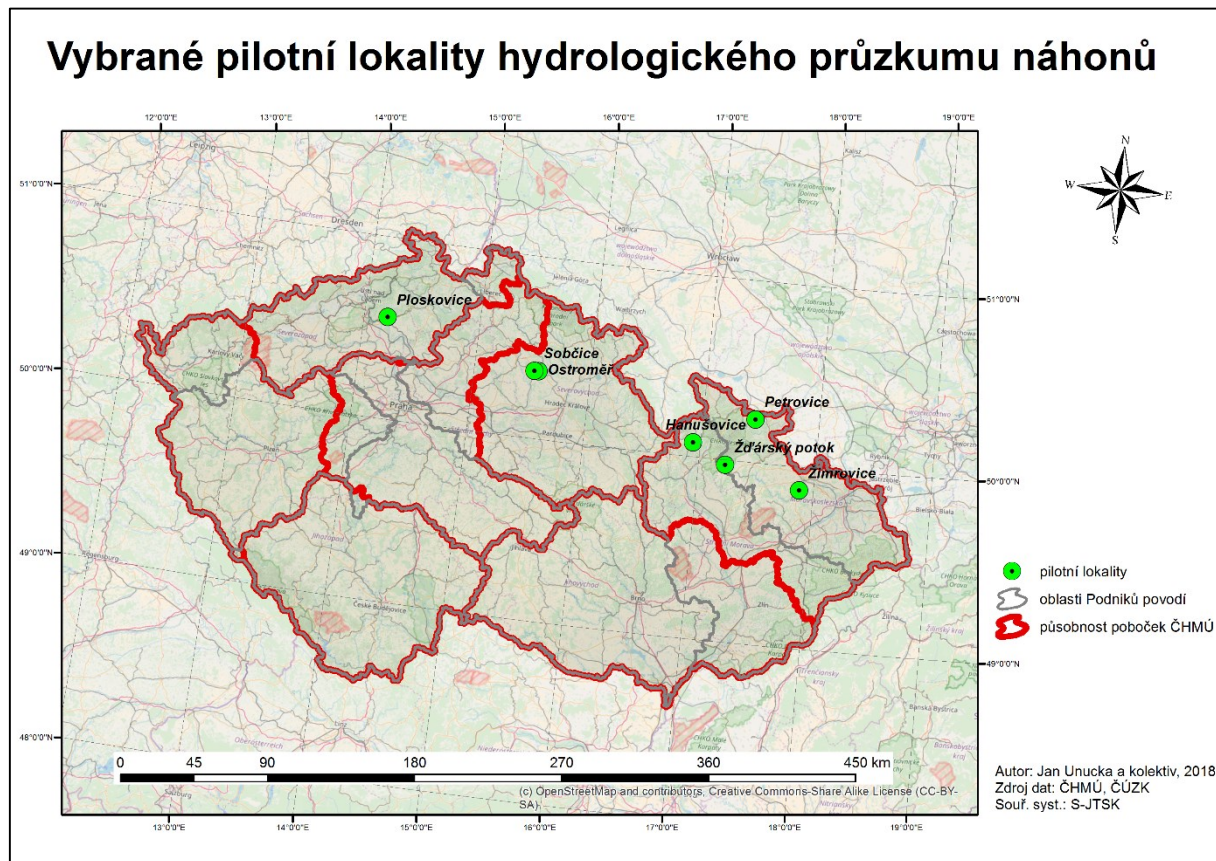


Obr. 3. ADCP přístroje SonTek RiverSurveyor M9 a Teledyne RDI StreamPro během měření v Hanušovickém náhonu.

POPIS PILOTNÍCH LOKALIT

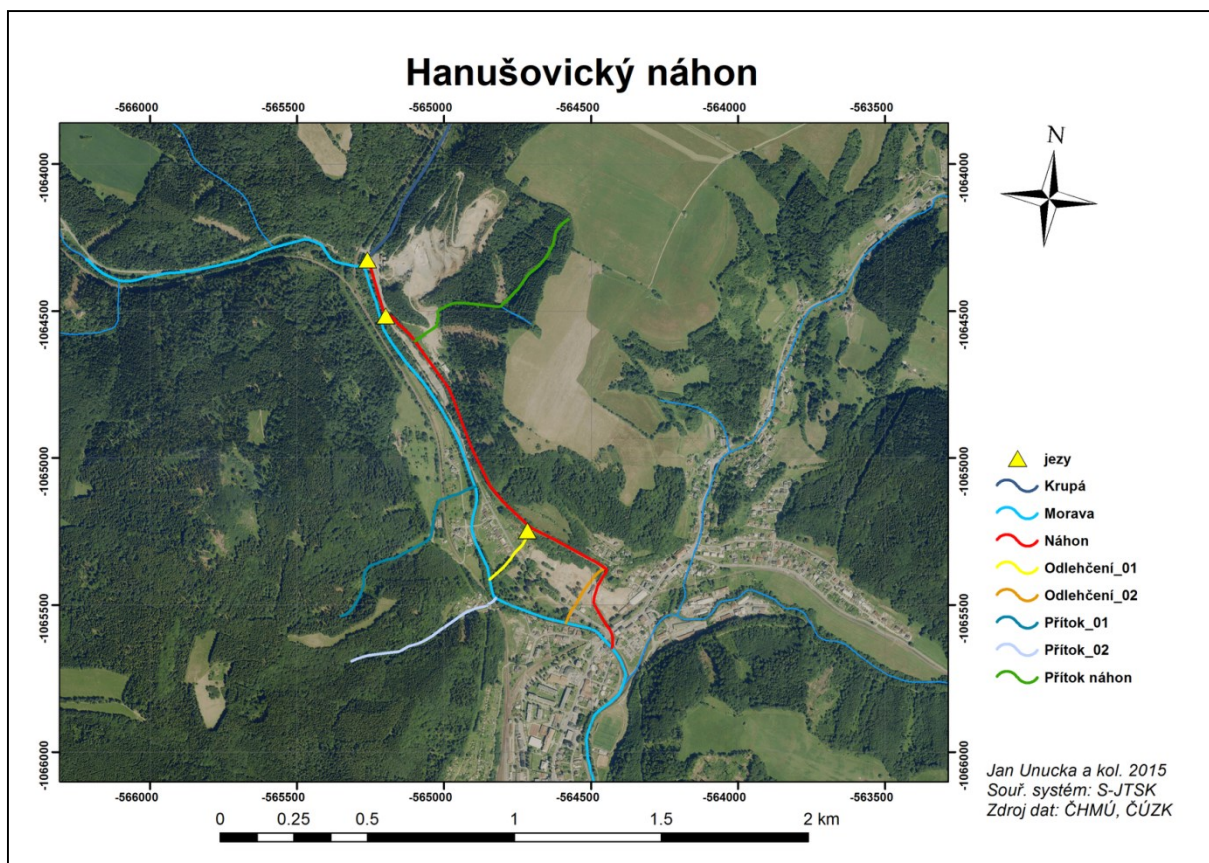
Žimrovický (Weissshuhnův) náhon nebo také Papírenský náhon u Žimrovic a Hradce nad Moravicí patří do povodí Moravice. Číslo hydrologického pořadí je 2-02-02-0710. Z hlediska hydrogeologické rajonizace náleží do oblasti 6611 - Kulm nízkého Jeseníku v povodí Odry a na S hraničí s rajonem 1520 - Kvartér Opavy. Okolní terén vystupuje do výšky 400 - 450 m (např. Kozí hřbety u Papírenského splavu, Bradlo ad.). Dno Moravice má u soutoku nadmořskou výšku 287 m. Stavbu náhonu v roce 1890 inicioval a financoval místní podnikatel německého původu Carl Weissshuhn, dědeček známé Joy Adamsonové. Smyslem stavby bylo zajistit dostatek vody a elektrické energie pro chod plánované papírny v Žimrovicích. Náhon postavili italští dělníci budující silniční a vodní stavby v Alpách firmy Baugesellschaft Migliarina (nazývání obecně Barabové), kteří měli bohaté zkušenosti s ražením tunelů i v horských terénech ze své země, za neuvěřitelný necelý jeden rok. Přes určité komplikace, kdy byl např. čerstvě proražený tunel pod Kozím hřbetem zanesen sedimenty a kamením během povodňové události, byl náhon již v roce 1891 dokončen a uveden do provozu. Rozdělovací objekt je součástí, tzv. Papírenského splavu na levém břehu řeky Moravice (Brosch 2005, Křivánek, Němec et al. 2014). Náhon se před Žimrovicemi odděluje z řeky Moravice ve staničení 18,92 km ve výšce 318, 5 m n. m. Původně sloužil jez ke vzduť vody pro již díky stavbě Weissshuhnova náhonu zrušený Albrechtický mlýn (<http://vodnimlyny.cz/en/mlyny/estates/detail/571-albrechticky-mlyn>), který byl díky tomu přebudován na hájenku. Trasa náhonu začíná Papírenským splavem, je 3,5 km dlouhý, jeho stavba zahrnuje dva akvadukty a tři vodní tunely (ten nejdelší hned u papírenského splavu je 45 m dlouhý, z původních čtyř tunelů se jeden zřítíl). Krom využití vodní energie pro papírnu pomocí Francisovy horizontální turbíny (která je v provozu dodnes) a dodávky provozní vody pro výrobu papíru byl od prvopočátku náhon používán také k plavení dřeva a to až do r. 1966. Na svém konci při ústí do Žimrovické papírny je náhon převýšen oproti korytu řeky Moravice o 22 m, což jen umocňuje pozoruhodnost tohoto díla nehledě na fakt, že bylo budováno v dosti svažitém a nepřístupném terénu. Výpust' náhonu z papírny je zakončena tzv. Žimrovickým vodopádem, který je turistickou atrakcí a jedním z největších umělých vodních vodopádů v ČR. Vzniká vypouštěním vody bočním přepadem a následnou kaskádou zpět do Moravice.

Jeho výška se pohybuje kolem 20 metrů a průtok dosahuje stovek litrů za sekundu. Nejbližšími vodoměrnými profily kategorie A jsou Moravice / Kružberk pod VD (DBČ 273000, http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307101) a Moravice / Branka (DBČ 274000, http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307318).



Obr. 4. Přehled pilotních lokalit s náhony, na kterých byla provedena měření a schematizace hydrologických modelů.

Hanušovický náhon je situován v SZ části katastrálního území Hanušovice, na levém břehu řeky Moravy. Rozdělovací objekt je umístěn na soutoku Moravy (4-00-00-0011) a Krupé (4-00-00-0026) u lomu a železničního mostu vedoucího přes řeku Moravu. Jeho celková délka činí 2.7 km. U rozdělovacího objektu je výška dna 404 m n. m., u konce pak 391 m n. m. Z hlediska hydrogeologické rajonizace náleží do rajonu 6432 - Krystalinikum jižní části Východních Sudet (Demek, Novák et al. 1992). U malé vodní elektrárny v bývalém objektu textilky je převýšen oproti samotné Moravě o 22 m, což je prakticky stejná hodnota i podobný sklon jako v případě Žimrovického náhonu. Náhon byl součástí výstavby textilních provozů v Hanušovicích a tehdejší samostatné osadě Holba. Výstavbu inicioval šumperský textilní továrník německého původu Eduard Oberleithner a roku 1857 zde byla otevřena mechanická přádelna lnu, která dodávala přízi tkalcovně v Šumperku. Rodina Oberleithnerů byla také původcem výstavby známého pivovaru. Levobřežní mlýnský náhon ústí zpět do řeky Moravy splavem za železničním mostem. Situační přehled lokality a schematizací hydraulických modelů HEC-RAS a MIKE 11 znázorňuje obrázek č. 5. Nejbližšími vodoměrnými profily kategorií A a B jsou Morava / Vlaské (A, DBČ 341000, http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=2586296) a Krupá / Habartice (B, DBČ 343000, http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=20267515).



Obr. 5. Přehledová mapa Hanušovického náhonu se zaznačením bodů s probíhajícími hydrometrickými měřeními a schematizace hydraulických modelů MIKE 11 a HEC-RAS.

Náhon ve Žďárském potoce u Rýmařova se nachází na Stříbrném potoce nad soutokem s Podolským potokem. V současnosti se jedná již jen o torzo rozsáhlejší víceúčelové soustavy náhonů a vodních nádrží v povodí Podolského potoka a jeho přítoků, která sloužila k splavování dříví (odtud i německý název jednoho z přítoků Klautzenbach), pohonu pily (do roku 1885, kdy byl instalován parní stroj) a mlýna níže po toku a konečně i turbíny v rámci Anenské huti, ve které byla v letech 1885 až 1955 v provozu Girardotova turbína (Karel 2008). Mezi technické zajímavosti Žďárského potoka (tehdejšího Brandseifenu) můžeme zařadit i lesní úzkokolejnou železnici s rozchodem 700 mm, z níž se dochovaly jen naprostá rezidua převážně ve formě zbytků terénních úprav (náspy, terénní zářezy apod.) než samotného železničního svršku. Samotný náhon je v současnosti dlouhý 0,88 km, rozdělovací objekt je situován na Stříbrném potoce (2-02-02-0150) v nadmořské výšce 691 m n. m. Končí pak soustavou výrazně zasedimentovaných nádrží a přivaděčem na zbořený akvadukt přes silnici ve výšce 684 m n. m. Převýšení oproti korytu Podolského potoka v místě bývalého ústí činí zhruba 11 m. Z druhé strany do vyrovnávacích nádrží dodával vodu Podolský potok tunelem dlouhým cca 0,8 km, který byl zbudován během 1. světové války, přičemž se jedná o pozoruhodné technické dílo. Samotná Anenská huť byla významným dodavatelem železa na Moravě, postupně však díky silicímu vlivu Vítkovických železáren docházelo k útlumu, takže v roce 1881 došlo k odstavení pece a v roce 1955 pak k úplnému zániku hutí včetně částečných demoličních prací. Z hlediska hydrogeologické rajonizace patří celé území k rájonu 6431 - Krystalinikum severní části Východních Sudet - jihovýchodní část. Situační přehled lokality a schematizací hydraulických modelů HEC-RAS a MIKE 11 znázorňuje obrázek č. 5. Nejblíže vodoměrným profilem kategorie ČHMÚ je Podolský potok / Rýmařov (DBČ 269000).

Ostroměřský náhon je situován na rovinatém terénu severovýchodní části obce Ostroměř, přičemž křížuje silnici III. třídy vedoucí mezi touto obcí a Šárovcovou Lhotou a další dvě místní komunikace. Voda na náhon je odváděna z Javorky (číslo hydrologického pořadí je 1-04-02-0024) v části jejího středního toku, přičemž rozdělovací objekt je situován ve staničení 16,85 Javorky ve výšce 262,54 m n.

m. Po zhruba 800 metrech vtéká zpět do Javorky v 261,63 m n. m. Náhon se nachází na území hydrologického rajónu 4250 - Hořicko-miletínská křída. V další části náhonu (355 m od vtoku náhonu) je umístěn betonový akvadukt, kde se kříží koryto náhonu a meliorační odpad, který je veden 9 m dlouhým, betonovým potrubím. Délka náhonu k samotné strojovně MVE činí 0,80 km a průtočný profil má lichoběžníkový a místy obdélníkový tvar. Na strojovnu navazuje odpadní kanál v délce cca 22 m a šířce 4,1 m (Svobodová 2016). Dále ústí zpět do řeky Javorky ve staničení 15,61 km. Nejbližším vodoměrným profilem kategorie B HPPS ČR a stanicí ČHMÚ je Javorka / Lázně Bělohrad (DBČ 069000, http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307017), což platí i pro níže uvedený Sobčický náhon. Současná MVE je umístěna v budově Vobořilova mlýna, který byl zbudován kolem roku 1530 (<http://vodnimlyny.cz/en/mlyny/estates/detail/1221-voboriluv-mlyn>).

Sobčický náhon se nachází mezi dvěma obcemi Ostroměří a Sobčicemi. Vyúsťuje z Javorky (hydrologické pořadí 1-04-02-024) ve výšce 275,5 m n. m. ve staničení 17,94 km. Prvních 280 m náhonu připadá pod katastrální území Ostroměře a zbytek trasy pod k. ú. Sobčice. Po 0,86 km své délky prostupuje do intravilánu Sobčic a svým korytem křížuje železnici, jednu místní komunikaci a polní cestu vedoucí k MVE Sobčice. Náhon spadá pod hydrogeologický rajón 4250 Hořicko-miletínská křída, jenž má svoji západní hranici těsně za koncem náhonu. Celkově náhon s odpadním kanálem dosahuje délky zhruba 1,70 km a ústí zpět do toku ve staničení 13, 81 km. Toto vodní dílo v současnosti slouží pro vzduť hladiny vody pro energetické využití, stabilizace spádových poměrů na toku a také kvůli odběru vody na závlahu, dle otisků map stabilního katastru a dalších zdrojů náhon přiváděl vodu na bývalý Šanderův mlýn (přičemž první zmínka o objektu se objevuje v kronikách roku 1577, <http://vodnimlyny.cz/en/mlyny/estates/detail/2058-sanderuv-zamecky-mlyn>), jež byl součástí původního sobčického zámeckého komplexu a který je v současnosti v dezolátním stavu a nepřístupný. V současnosti je MVE umístěno v areálu bývalého JZD.

Petrovický náhon je z části zachovalý původní vodní náhon na povodí Osoblahy (popř. pomístně či ve vybrané literatuře Petrovického potoka) v centru katastru obce Petrovice (hydrologické pořadí 2-04-02-001). Náhon byl zbudován zřejmě v období rekonstrukce toku bývalé „Ossy“ (kolem roku 1910), za účelem zásobování jednotlivých hospodářství vodou a rovněž jako energetický zdroj pro mlýn. Dalším neméně významným účelem byla regulace odtoku srážkových vod. Na trase náhonu se nacházelo několik hospodářských stavení, jeden zájezdní hostinec a jeden mlýn. Odběr vody z Osoblahy na staničení 7,16 km ve výšce 474,3 m n. m. je řešen vtokovým otvorem v původním kamenném opevnění a železobetonovým stavidlem, kde docházelo k regulaci množství napouštěné vody. Těleso náhonu je vyhloubeno v úrovni povrchu, bez hrází a po celé délce je uvnitř opevněno suchou kamennou zdí z místního štípaného kamene, dno je vyloženo velkými plotnami (až 50 x 60 cm), ze kterých jsou zhotoveny i přemostění (Kmínková 2017). Délka celého náhonu byla dle zjištěných údajů z dostupných podkladů přibližně 0,55 km. Těleso náhonu končilo u mlýnského kola, kde bylo vyústění přepadem do bezejmenného levostranného přítoku Osoblahy. Současná podoba a funkce vodního náhonu byla poznamenána značnou antropogenní činností a změnou způsobu hospodaření, jako takového v obci. Větší část tělesa náhonu je dnes zatrubněná s povrchovou úpravou (zatravnění). V oblasti vodohospodářství plní funkci při svádění srážkových a povrchových vod. Vzhledem k zařazení obce do vesnické památkové zóny a zachování původního vesnického rázu je aktuálně uvažováno o částečné revitalizaci původního objektu vodního náhonu, jako dokladu jednoho z možných způsobů hospodaření s vodou.

VÝSLEDKY

Rozsah článku a úhrn již provedených prací neumožňují publikovat veškeré výsledky ze všech pilotních lokalit, proto jsou v tomto článku akcentovány výsledky naplňující následující základní cíle:

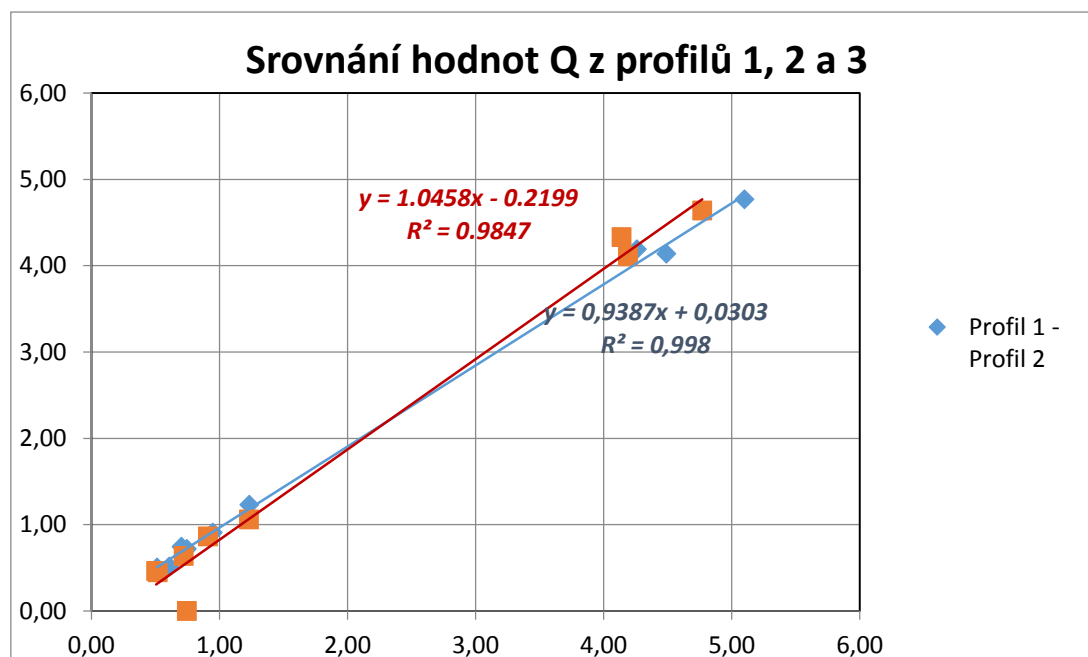
1. Srovnání výsledků měření pomocí různých přístrojů na pilotních lokalitách a posouzení vhodnosti přístrojů pro měření v obdobných hydraulických podmínkách.

2. Srovnání výsledků modelování v rámci jednotlivých programových balíčků a srovnání simulací s měřeními, posouzení vhodnosti modelů a výpočetních metod pro zvolený typ objektů a simulací.
3. Zhodnocení stavu, významu a případných hydrologických rizik na jednotlivých pilotních lokalitách.

Tab. 1. Srovnání hodnot Q a jejich postupných poklesů z ADCP a bodových měření na pilotní lokalitě Žimrovice.

Číslo měření	Datum	Profil 1				Profil 2				Profil 3			
		F [m ²]	v [m.s ⁻¹]	Q [m ³ .s ⁻¹]	Q [%]	F [m ²]	v [m.s ⁻¹]	Q [m ³ .s ⁻¹]	Q [%]	F [m ²]	v [m.s ⁻¹]	Q [m ³ .s ⁻¹]	Q [%]
1	13. 11. 2014	2.10	0.59	1.23	100.0	2.51	0.49	1.23	99.84	5.62	0.19	1.06	86.04
2	30. 4. 2015	4.87	0.92	4.49	100.0	4.31	0.96	4.14	92.20	6.78	0.64	4.33	96.44
3	2. 7. 2015	1.57	0.39	0.61	100.0	1.78	0.29	0.52	84.87	1.22	0.39	0.450	74.01
4	16. 12. 2015	1.50	0.34	0.51	100.0	1.80	0.29	0.505	98.83	2.10	0.22	0.464	90.80
5	9. 3. 2016	5.55	0.93	5.10	100.0	4.50	1.06	4.77	93.53	6.75	0.69	4.64	90.98
6	7. 4. 2017	2.09	0.45	0.946	100.0	1.34	0.68	0.910	96.19	2.94	0.29	0.866	91.54
7	9. 8. 2017	1.73	0.43	0.74	100.0	2.01	0.36	0.719	96.64	1.26	0.51	0.638	85.75
8	15. 8. 2017	1.64	0.43	0.70	100.0	1.97	0.38	0.745	105.97	-	-	-	-
10	9. 1. 2018	4.77	0.83	4.26	100.0	4.21	1.04	4.19	98.40	6.79	0.67	4.11	96.52
Průměr	-	2.87	0.59	2.07	100.0	2.71	0.62	1.97	96.28	4.18	0.45	2.07	89.01

Jak znázorňuje tabulka č. 1 srovnávající výsledky měření pro pilotní lokalitu Žimrovice, je zřejmé, že v souladu se vstupní hypotézou dochází k postupnému poklesu Q vlivem ztrát vody z průsaků. Pakliže došlo během měření k manipulacím na MVE a následkem toho k výraznějšímu kolísání hladin a Q, výsledky nebyly zahrnuty do srovnání (např. měření č. 8). Pokles mezi profilem č. 1 (lávka za tunelem a prvním odlehčením) a profilem č. 2 (akvadukt) činí v průměru 4 %. Pokles mezi profilem č. 2 a profilem č. 3 (most u kůlny nad vodočtem) činí 7 % a pokles mezi profily 1 a 3 pak 11 %. To představuje průměrnou hodnotu průsaků 170 vteřinových litrů, což je vzhledem ke stáří díla a jeho technickým parametrům úctyhodná hodnota. Maximální naměřená hodnota poklesu Q činila 460 vteřinových litrů (měření č. 5), v ostatních měření se hodnota poklesu Q pohybovala mezi 80 a 170 vteřinovými litry. Korelační vztahy mezi profily 1 a 2 a 2 a 3 znázorňuje graf na obr. č. 6.



Obr. 6. Korelační vztahy hodnot Q a jejich poklesů mezi profily 1, 2 a 3 na pilotní lokalitě Žimrovce.

V tabulce č. 2 jsou porovnány výsledky měření a simulací v hydraulických modelech MIKE 11 a HEC-RAS pro pilotní lokality Žimrovce a Hanušovice, na kterých bylo provedeno doposud nejvíce hydrometrických měření a simulací proudění a průsaků.

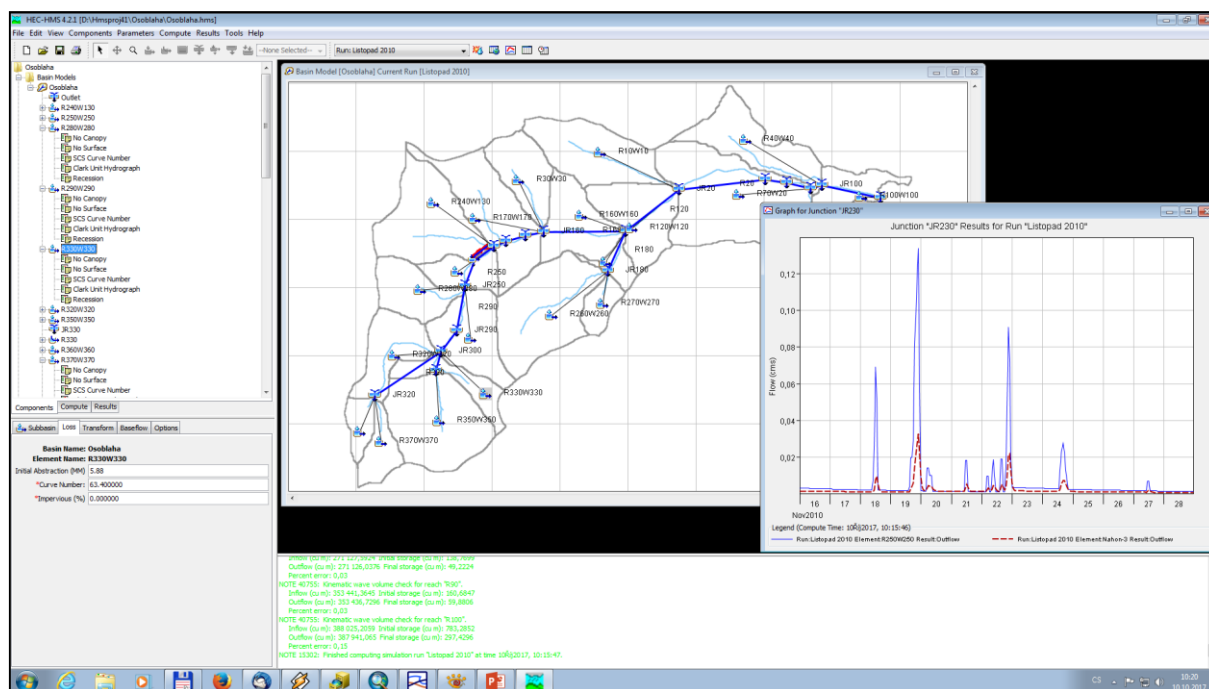
Tab. 2. Srovnání hodnot měřených Q se simulovanými Q v hydraulických modelech MIKE 11 a HEC-RAS pro pilotní lokality Žimrovce a Hanušovice.

Hanušovice		Q Profil 1			Q Profil 2			Q Profil 3		
Číslo měření	Datum	měření	MIKE 11	HEC-RAS	měření	MIKE 11	HEC-RAS	měření	MIKE 11	HEC-RAS
1	14. 11. 2014	2.00	1.99	1.99	-	1.89	1.92	-	1.69	1.73
2	19. 12. 2014	2.20	2.14	2.16	-	2.05	2.07	-	1.92	1.93
3	17. 7. 2015	0.82	0.82	0.82	0.70	0.63	0.67	0.67	0.52	0.57
4	16. 12. 2015	1.26	1.25	1.25	1.24	1.19	1.21	-	1.15	1.17
5	16. 3. 2016	3.18	3.17	3.17	-	3.04	3.06	-	2.93	2.98
6	29. 11. 2016	0.304	0.299	0.301	-	0.272	0.282	-	0.243	0.252
7	17. 3. 2017	2.58	2.57	2.57	2.75	2.44	2.46	-	2.38	2.41
8	25. 7. 2017	3.58	3.55	3.57	3.41	3.33	3.36	-	3.26	3.28
9	19. 9. 2017	1.01	1.00	1.01	1.11	1.02	1.04	0.859	0.742	0.781

Žimrovce		Q Profil 1			Q Profil 2			Q Profil 3		
Číslo měření	Datum	měření	MIKE 11	HEC-RAS	měření	MIKE 11	HEC-RAS	měření	MIKE 11	HEC-RAS
1	13. 11. 2014	1.23	1.22	1.22	1.23	1.18	1.19	1.06	0.995	1.01
2	30. 4. 2015	4.49	4.47	4.48	4.14	4.14	4.16	4.33	4.14	4.18
3	2. 7. 2015	0.608	0.603	0.607	0.516	0.498	0.499	0.45	0.418	0.422
4	16. 12. 2015	0.511	0.501	0.508	0.505	0.488	0.491	0.46	0.427	0.435

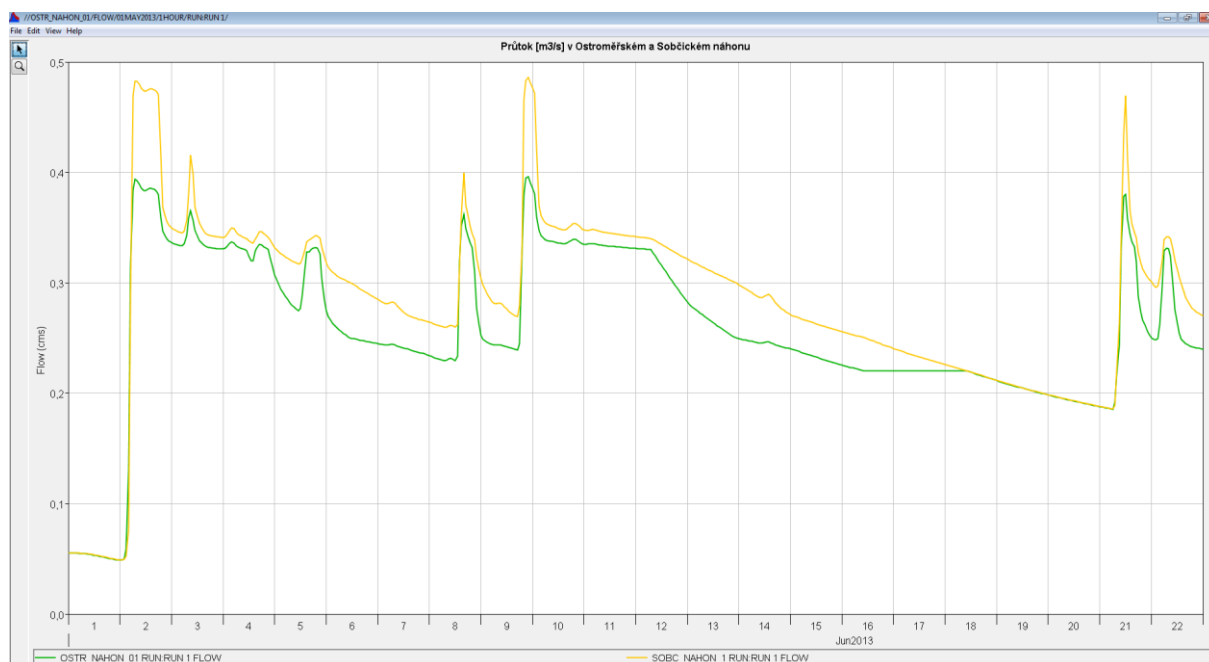
5	9. 3. 2016	5.10	5.08	5.09	4.77	4.74	4.75	4.64	4.58	4.60
6	7. 4. 2017	0.946	0.941	0.942	0.910	0.903	0.907	0.866	0.845	0.859
7	9. 8. 2017	0.744	0.730	0.735	0.719	0.707	0.712	0.638	0.622	0.629
8	15. 8. 2017	0.703	0.695	0.699	0.745	0.722	0.730	-	0.715	0.721
9	9. 1. 2018	4.26	4.23	4.24	4.19	4.06	4.11	4.11	4.01	4.03

Z tabulky č. 2 je patrné, že simulované hodnoty Q dosáhly vysokých hodnot korelací mezi jednotlivými 1D modely a také měřeným Q. K odchylkám opět dochází při kolísání hladin a hodnot Q během manipulací, které nevstupují do hydraulických modelů formou okrajových podmínek, pakliže tyto hodnoty neneviduje a neposkytl provozovatel vodního díla a MVE. Přesto lze konstatovat, že oba průmyslové standardy MIKE 11 a HEC-RAS s napojením na model proudění podzemních vod MODFLOW dosahují vysokých hodnot shody s měřeními Q a jsou plně použitelné pro tento typ simulací s přihlédnutím k faktoru nejistoty vstupních dat. Průsaky a ztráty jsou nastaveny pomocí adekvátních parametrů ve schematizacích z měřených či odvozených hodnot, takže je možné je kalibrovat tak, aby bylo možné simulovat i situace a scénáře, pro které nedisponujeme hodnotami měřených Q, vodních stavů či hladin. Výsledky simulací byly použity i pro konstrukce MKP odvozených hydrotechnickým výpočtem nebo MKP v parametrickém tvaru odvozených z interpolací jednotlivých měření.



Obr. 7. Simulace hypotetického vlivu náhonu na převody vody z Osoblahy na k. ú. Petrovice pro hodnoty průtoku na úrovni Q1 ve srážkovém modelu HEC-HMS.

Obrázky č. 6 a 7 ilustrují bilanční výpočty a vliv náhonů při různých vodnostech na pilotních územích Petrovického a Sobčického náhonu. Z doposud provedených výpočtů je patrné, že snížení hladin ve zdrojové hlavní vodoteči pomocí náhonu je efektivní zhruba do hodnoty Q2. Poté se již projevuje vliv omezené kapacity náhonu a snížení hladiny v hlavním vodním toku je zanedbatelné. Tento efekt se samozřejmě ještě markantněji projevuje u případných rozlivů, které se na pilotních územích uplatňují většinou nad úrovní Q2.



Obr. 8. Výsledek simulace HEC-HMS. Průtok v Ostroměřském (zelená křivka) a Sobčickém (oranžová křivka) náhonu v závislosti na Q v Javorce a manipulačním řádu.

ZÁVĚR

Doposud provedená hydrometrická měření, analýzy v GIS a konečně simulace v hydrologických modelech poukazují na fakt, že historické náhony zasluhují pozornost nejen z hlediska památkové péče, ale i z hlediska hydrologie a ochrany přírody. Omezíme-li se na technické (zejména stavební a provozní), hydrologické a hydraulické aspekty, zjistíme, že pakliže není konkrétní vodní dílo zcela dysfunkční vlivem stavebních či jiných změn v území, představuje poměrně efektivní nástroj pro převody vody v dané části povodí. V režimu velkých vodností je nasnadě, že rozhodujícím omezením je kapacita náhonu a potažmo manipulace na rozdělovacích objektech. Ta je v relaci ke kapacitě koryt řek Moravy, Moravice, Osoblahy nebo Javorky omezená a nelze čekat razantní omezení hodnot Q či rozlivů nad úrovní Q1. Přesto lze očekávat, že dochází alespoň k lokálnímu snížení povodňových škod v přilehlých částech katastrálních území. Naprosto diametrálním způsobem však vzrůstá vliv náhonů během režimu malých vodností, kdy tyto soustavy převádí část vody z jiného toku a povodí (např. Žďárský potok) anebo přivádí vodu do jiné části povodí a zajišťují tak sanitární Q pro okolní ekosystémy. Opět je však nasnadě, že rozhodující vliv má vodoprávní rozhodnutí a manipulační řád, který definuje i minimální zůstatkové Q v hlavním toku pod rozdělovacím objektem. Z hlediska dalších rizik dosavadní měření a simulace prokázaly, že průsaky a ztráty jsou na pilotních územích vzhledem ke stáří objektů a lokálním hydrologickým podmínkám přijatelné či zanedbatelné. Důsledný monitoring těchto objektů a změn jejich technických a hydraulických parametrů je mechanismem, který poskytuje dlouhodobé zajištění takto nízkých hodnot průsaků. Pozitivní stav objektů byl potvrzen i terénním průzkumem pilotních území s fotodokumentací. V neposlední řadě lze konstatovat, že jak použitá přístrojová technika, tak i infrastruktura využitých matematických modelů, poukázaly na vhodnost výběrů těchto nástrojů. U hydrometrických přístrojů je nutné dodržet metodické pokyny pro bodová a kontinuální měření a respektovat omezení konkrétních přístrojů a následně věnovat pozornost primárnímu zpracování hydrometrických dat. U matematických modelů je klíčovým momentem výběr konkrétního simulačního nástroje (zde je vodítkem i seznam průmyslových standardů FEMA / NFIP, potažmo dostupné případové studie). Nezanedbatelný vliv u této infrastruktury má však i kvalita vstupních dat (geodata, hydrometeorologická data) a volba metod simulace, např. kinematická versus dynamická vlnová aproximace v rámci hydraulických modelů. Z hlediska vstupních geodat je klíčovým faktorem polohová a výšková přesnost DMR. Použitý DMR 5G je pro tento typ simulací dostatečně přesným zdrojem výškových dat s tím, že tato data je v případě potřeby nutné kombinovat s geodetickými zaměřenými

příčných profilů, a to zvláště v okolí technických objektů a samotných měřících profilů. V ideálních podmínkách (RTK měření a aktuální hydraulické podmínky) lze s geodetickou přesností získávat data o příčných profilech i z ADCP měření, v tomto ohledu se osvědčil zejména přístroj SonTek RiverSurveyor M9. Závěrem lze tedy konstatovat, že chceme-li analyzovat, simulovat a predikovat vodní režim krajiny v podmínkách změn klimatu a změn využití půdy, nelze zanedbávat i vliv historických vodních děl. Chceme-li jejich význam rekonstruovat, kvantifikovat a navrhnout optimalizaci z hlediska ovlivnění odtoku z území a případných hydrologických rizik, nástroje hydrometrie, geoinformatiky a hydroinformatiky se jeví jako nejvhodnější infrastruktura pro naplnění těchto cílů. Uvedená případová studie autorského kolektivu se koneckonců toto snažila demonstrovat.



Obr. 9. Suché koryto Žimrovického náhonu u hydrometrického profilu č. 1.

POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE

- Augustinková, L., Fárek, V. et al. (2017) Utilization of the Geoinformatics and Mathematical Modelling Tools for the Analyses of Importance and Risks of the Historic Water Works. In: The Rise of Big Spatial Data. Dordrecht, Springer. 289-306. ISBN 978-3-319-45123-7. ISSN 1863-2351
- Bedient, P.B., Huber, W.C., Vieux, B.C. (2013) Hydrology and Floodplain Analysis. 4th ed. London, Prentice Hall: 795 p. ISBN: 978-0-273-77427-3
- Bárta, M., Kovář, M. (2013) Civilizace a dějiny: historie světa pohledem dvaceti českých vědců. Vyd. 1. Praha, Academia. 557 p. ISBN 978-80-200-2301-8.
- Belisová, N. (2014) Tulákům Jetřichovicka. Jetřichovice, Občanské sdružení pro záchranu a konzervaci Dolského mlýna, 2014, 672 s. ISBN 978-80-260-7010-8.
- Beven K.J. (2009) Environmental Modelling: An Uncertain Future? London, Routledge, 310 p. ISBN: 978-0-415-46302-7
- Boiten, W. (2008) Hydrometry: a comprehensive introduction to the measurement of flow in open channels. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2008. ISBN 978-0415-46763-6.
- Brosch, O. (2005) Povodí Odry. Ostrava, Anagram. 323 p. ISBN 80-7342-048-1.

- Demek, J., Novák, V. et al. (1992) Neživá příroda. 1. vyd. Brno, Muzejní a vlastivědná společnost. 242 p., Vlastivěda moravská, sv. 1. ISBN 80-85048-30-2.
- Di Baldassarre, G. (2012) Floods in a changing climate. Inundation modelling. Cambridge, Cambridge University Press. 105 p. ISBN 11-070-1875-7.
- Dyhouse, G. R. et al. (2003) Floodplain Modelling Using HEC-RAS. Watertown, Bentley Institute Press. 696 p. ISBN 978-1-934493-02-1
- Jodas, Z. (2015) Vodní díla v povodí Mohelky a Zábrdky. Liberec: RK, 2015. ISBN 978-80-87100-30-1.
- Karel J. (2008) Příběh lesů a lidí Rýmařovska. Dějiny lesů a jejich užívání. 316 p. Moravská Expedice, Rýmařov. ISBN: 80-86511-33-2
- Klepek, J (2017) Analýza hydraulických a hydrogeologických poměrů náhonů s využitím. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/119986>. Diplomová práce. 76 p. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- Kmínková, V. (2017). Analýza odtokových poměrů Osoblahy s pomocí GIS a matematických modelů. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/119985>. 64 p. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- Kolka, M. (2012) Technická zařízení na vodní pohon na Cvikovsku: zařízení na vodní pohon : katalog staveb A-Z. Liberec: Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště v Liberci. ISBN 978-80-904852-9-7.
- Kolka, M. (2014) Technická zařízení na vodní pohon v Dubé, Doksech a okolí: vodní díla mlýnů, pil, textilních podniků a vodárenských zařízení: katalog staveb A-Z. Liberec: Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště v Liberci. ISBN 978-80-87810-03-3.
- Kožaná B., Štěrbá O., Unucka J. et al. (2014) Příspěvek k možnostem stanovení vlivu lužního lesa na tlumení povodňových vln s využitím 1D a 2D hydraulických modelů a GIS. 7 p. In Zprávy lesnického výzkumu vol. 59, 2/2014. ISSN: 0322-9688
- Křivánek J., Němec, J. et al. (2014) Drobné vodní toky v ČR. Praha, Consult. 295 p. ISBN 978-80-905159-0-1.
- Mujumdar, P., Kumar, N. (2012) Floods in a changing climate. Hydrologic modeling. New York, Cambridge University Press. 177 p. ISBN 978-110-701876-1.
- Solnický, P. (2007) Vodní mlýny na Moravě a ve Slezsku. 1. vyd. Praha, Libri. 221 p. ISBN 978-80-7277-244-5.
- Pavelková, R., Frajer, J. et al. (2014) Historické rybníky České republiky: srovnání současnosti se stavem v 2. polovině 19. století. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka. ISBN 978-80-87402-32-0
- Squatriti, P. ed. (2000) Working with water in medieval Europe: technology and resource-use. Boston, Brill. 446 p. ISBN 9004106804.
- Štěpán, L., Urbánek, R., Klimešová, H. et al. (2008) Dílo mlýnářů a sekerníků v Čechách II. Vyd. 1. Praha, Argo. 316 p. ISBN 978-80-257-0015-0.
- Svoboda, F., Homola, A. et al. (2016) Krajina jako dílo: barokní krajinou od Mikulova po Znojmo. Brno: Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště v Brně, ve spolupráci s Vysokým učením technickým v Brně, Fakultou architektury a Masarykovou univerzitou, Ekonomicko-správní a Filozofickou fakultou. 347 p. ISBN 978-80-87967-08-9.
- Svobodová, E. (2016) Staré náhony a jejich funkce v krajině v minulosti a v současnosti. Diplomová práce. 86 p. Přírodovědecká fakulta, MU Brno.

Tainter, J. A. (2009) Kolapsy složitých společností. Praha, Dokořán, 2009, 319 s. ISBN 978-80-7363-248-9.

Unucka, J. (2014) Environmentální modelování 1. Skriptum PřF OU. 209 p. Ostrava, SVZZ CZ.1.07/2.3.00/35.0053 & PřF OU.

Unucka, J. et al. (2016): Výzkum Weissshuhnova náhonu z vodohospodářského a hydrologického hlediska. In Vlastivědné listy, ročník 42. 1/2016. Matice Slezská Opava, 4 s. ISSN 1213-3140