

Predikce rizika vzniku přívalové povodně s využitím dat meteorologických radarů

Rapant, P., Kolejka, J., Inspektor, T.: Prediction of Flash Flood Risk Using Weather Radar Data. *Životné prostredie*, 2016, 50, 3, p. 162 – 166.

Flash flooding is a natural phenomenon which receives considerable attention from governments, the professional community, media and general public because of its dramatic short-term effects and devastating consequences. The National Meteorological Organization also closely monitors these events because of their frequent occurrence, and some countries have developed appropriate warning systems. The existing applied predictive flash flood procedures are based on cloudburst forecasts and multiple rainfall-runoff and hydrology models. While these models enable assessment of whether river flows will reach flood level, they also have a great need for input-data. This article presents research results which highlight the possibility of implementing a very simple but effective warning system based solely on weather radar data without reliance on complex rainfall-runoff models. The results proceed from our case study of the rain episode which began on the 24th of June 2009 and culminated in the flash floods which had such disastrous effects on the Jeseník nad Odrou and other communities.

Key words: flash floods, prediction, weather radar, early warning

Bleskové neboli přívalové povodně jsou přírodním fenoménem, jemuž je v široké veřejnosti, médiích, systému státní správy a v odborné komunitě věnována značná pozornost. Důvodem je především krátkodobý dramatický průběh a zpravidla ničivé následky události. Světová meteorologická organizace (WMO) ročně uvádí na 5 000 obětí na lidských životech a velké materiální škody (Grabs, 2010).

Definice bleskové povodně se v základních rysech shodují v tom, že jde o svou podstatou nahodilou přírodní událost „...která nastupuje a ustupuje poměrně rychle, s malým nebo žádným předchozím varováním, obvykle v důsledku intenzivních srážek v relativně malém prostoru“ (Grabs, 2010; Hill et al., 2010). Z geografického hlediska jde o teritoriálně a časově poměrně limitovanou událost trvající řádově několik hodin a zasahující oblasti o rozloze desítek až prvních stovek kilometrů čtverečních.

Zkoumání bleskových povodní probíhá již dlouhou dobu a národní meteorologické organizace jim věnují náležitou pozornost. Jak bylo uvedeno výše, hlavní příčinou přívalových povodní jsou především krátkodobě vydatné srážky (průtrže mračen). Na území České republiky (ČR) je za průtrž mračen považován srážkový úhrn převyšující 45 mm za 30 minut, 55 mm za hodinu nebo 65 mm za 2 hodiny (<http://www.treking.cz/pocasi/prutr-z-mracen.htm>). V rozhodující většině případů (67 %) k intenzivní srážkové činnosti dochází v tzv. polostacionárních středně měřítkových konvektivních systémech. S frontální činností (ovšem rovněž v oblastech intenzivní konvekce) je spojeno 27 % případů enormních srážek. Celkově tedy s intenzivní konvekcí souvisí 94 % případů extrémních srážek (Schumacher,

Johnson, 2008). Kolem 2/3 případů nastává v teplém období roku. S vodní bilancí povodně bezprostředně souvisí vláhová nasycenost povodí před průtrží mračen. Ta je dána množstvím srážek spadlých do oblasti v předcházejícím období. Jde především o nasycenost povrchových horizontů půdy vláhou, které budou nutit spadlé srážky především k rychlému povrchovému odtoku do vodotečí.

Vzhledem k mimořádné úrovni rizika přívalových povodní pro lidské životy a majetek je tomuto fenoménu věnována velká pozornost také v odborné komunitě.

V řadě zemí byl vytvořen a do provozu uveden varovný systém. Přívalové srážky se velice obtížně predikují. Ve světě existuje řada systémů snažících se tento problém překonat. V předpovědních postupech přívalových povodní dominují rozmanité srážko-odtokové modely (Sene, 2013; Vološ, 2007). Část postupů se opírá o specifické meteorologické předpovědi průtrží mračen, na které jsou pak nasazovány vlastní hydrologické modely (Borga et al., 2011). Pomocí nich lze odhadnout, zda průtok v řece dosáhne povodňové úrovně. Nevýhodou těchto postupů je velká náročnost modelů na vstupní data.

Monitorování aktuálního rozložení srážek meteorologickým radarem

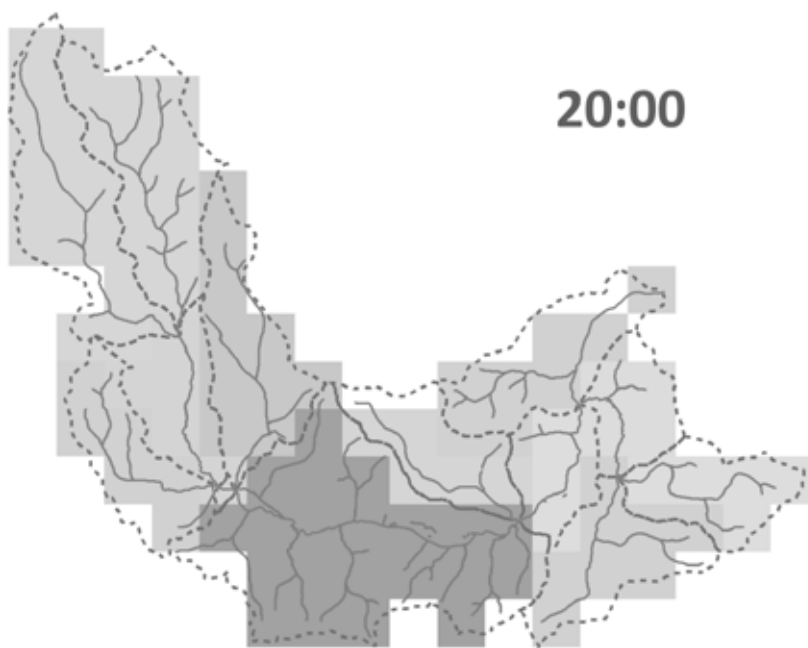
Vznik podezření na přicházející lokální mimořádnou srážkovou událost se může opírat o radarový monitoring atmosféry nad sledovaným územím. Data meteorologického radaru poskytují přehled o aktuálním rozložení srážek ve srážkovém poli s dostatečným pro-

storovým i časovým rozlišením, a jsou tak schopná zaznamenat i lokální srážky, které spadnou do prostoru mimo pozemní srážkoměrné stanice. Meteorologické služby jednotlivých států provozují meteorologické radary, které umožňují monitorovat a vyhodnocovat plošné rozložení srážek, což není standardní síť srážkoměrných stanic v požadované rychlosti a pokrytí schopna zajistit (Zacharov a kol., 2004). V ČR provozuje Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) dva dopplerovské radary umístěné na lokalitách Brdy a Skalka, které pokrývají celé území republiky. Radarová data produkují s krokem 5 minut s horizontálním rozlišením 1 x 1 km do vzdálenosti 256 km od radaru a s rozlišením 256 stupňů intenzit dBZ (od -32dBZ s krokem 0,5 dBZ; CZRAD, 2011).

Nový přístup k predikci rizika vzniku přívalové povodně

Z našeho pohledu je základní nevýhodou stávajících přístupů opírajících se o modely snaha o skutečnou predikci přívalové srážky, její kvantifikaci a následné modelování odezvy území na predikovanou přívalovou srážku. Je všeobecně známo, že vstupní data potřebná pro tyto postupy jsou zatížena vysokou mírou nejistoty (Březková et al., 2011). Naším cílem proto bylo nalézt postup, který bude pracovat s minimem vstupních dat a nebude se opírat o srážko-odtokové modely. Takový postup bude obecně použitelný i pro oblasti ve světě, pro které nejsou k dispozici detailní prostorové informace, a proto pro ně není možné vytvořit srážko-odtokový model.

Navržený postup pracuje s aktuálními daty meteorologického radaru a z nich jen odvozuje (ryze kvalitativně) informace potřebné pro vydání výstrahy pro obce potenciálně zasažené odtékající srážkou. Cílem navrženého postupu tedy není přesné určení rozsahu zaplaveného území, ale spíš včasné vyrozumění obyvatel v ohrožené oblasti tak, aby byli schopni včas opustit ohrožené území a bylo tak zabráněno především ztrátám na lidských životech. Vzhledem k rychlosti, jakou přívalová povodeň nastupuje, jsou ambice z pohledu záchrany majetku minimální. Doba mezi vypadnutím přívalové srážky a nástupem přívalové povodně se pohybuje v řádu desítek minut až prvních hodin, což je doba postačující pouze k záchraně lidských životů. Navíc přívalová povodeň může na-



Obr. 1. Ukázka výsledku přepočtu srážek zaregistrovaných meteorologickým radarem v rámci srážkové epizody z 24. června 2009 na jednotlivá povodí IV. řádu, spadající do povodí řeky Luha. Výstup je vztažen k 20:00 h SELČ. Zdroj: Rapant et al. (2015)

stoupit i v oblastech, v nichž téměř neprší, ale které se nacházejí po proudu podél vodoteče, odvádějící vodu z oblasti postižené přívalovou srážkou. O to je včasné vydání výstrahy pro obyvatele cennější.

Navržený postup se zabývá pouze odtokem srážkových vod v korytě. Povrchový odtok v tuto chvíli neřeší. Z tohoto pohledu může být navržený přístup zjednodušeně popsán jako přímá transformace očekávané přívalové srážky zatím registrované radarem v ovzduší na odtok v korytech říčního systému. Na obr. 1 je ukázka přepočtu radarových srážek na jednotlivá povodí IV. řádu spadající do povodí řeky Luha.

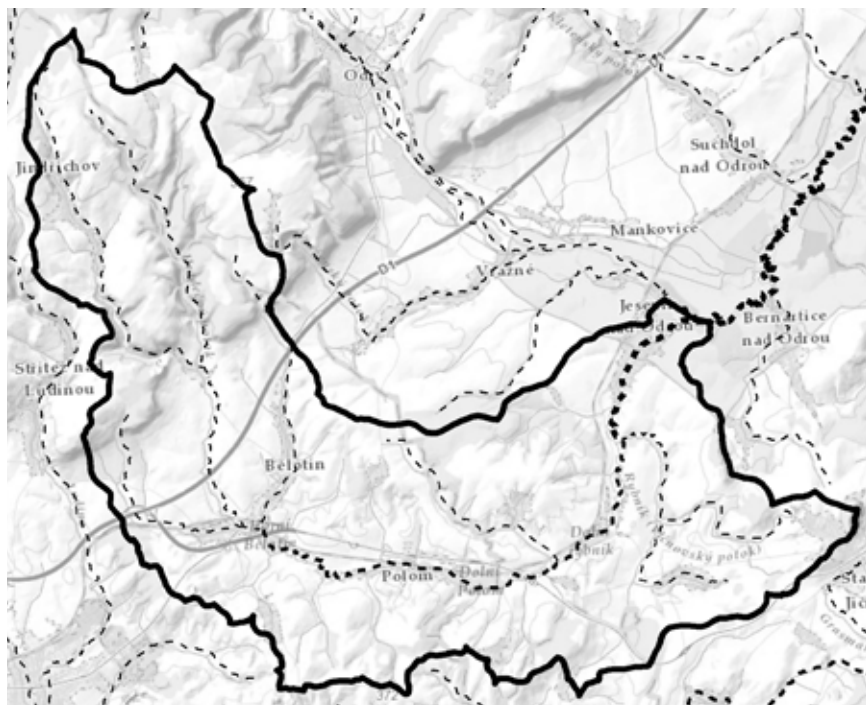
Případová studie v povodí řeky Luha

Pro ověření navrženého postupu predikce rizika vzniku přívalových povodní byla jako první vybrána epizoda z 24. června 2009, kdy proběhla velmi intenzivní přívalová srážka, která nejvíce zasáhla sousedící povodí řek Sedlnice, Jičínka, Luha v povodí Odry a řek Velička, Rožnovská Bečva a Bečva v povodí Dunaje, tedy na hlavním evropském rozvodí, cca 60 km jižně od města Ostravy v severovýchodní části ČR.

Povodí řeky Luha navíc sloužilo jako detailní testovací povodí. Na dolním toku leží obec Jeseník nad Odrou (obr. 2), v níž došlo v rámci zkoumané srážkové epizody ke ztrátám na lidských životech a k rozsáhlým škodám na majetku obce i obyvatel.



Obr. 2. Povodí řeky Luha. Zdroj: OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA



Obr. 3. Vizualizace míry rizika vzniku přívalové povodně na řece Luha ke 20:00 h SELČ (přerušované čáry)

Vysvětlivky: Síla přerušovaných čar je úměrná riziku přívalové povodně na daném úseku toku. Na velkém regionálním toku (zde řeka Odra pod soutokem s Luhou) dojde jen ke zvýšení průtoku bez rozlivu mimo kapacitní koryto.

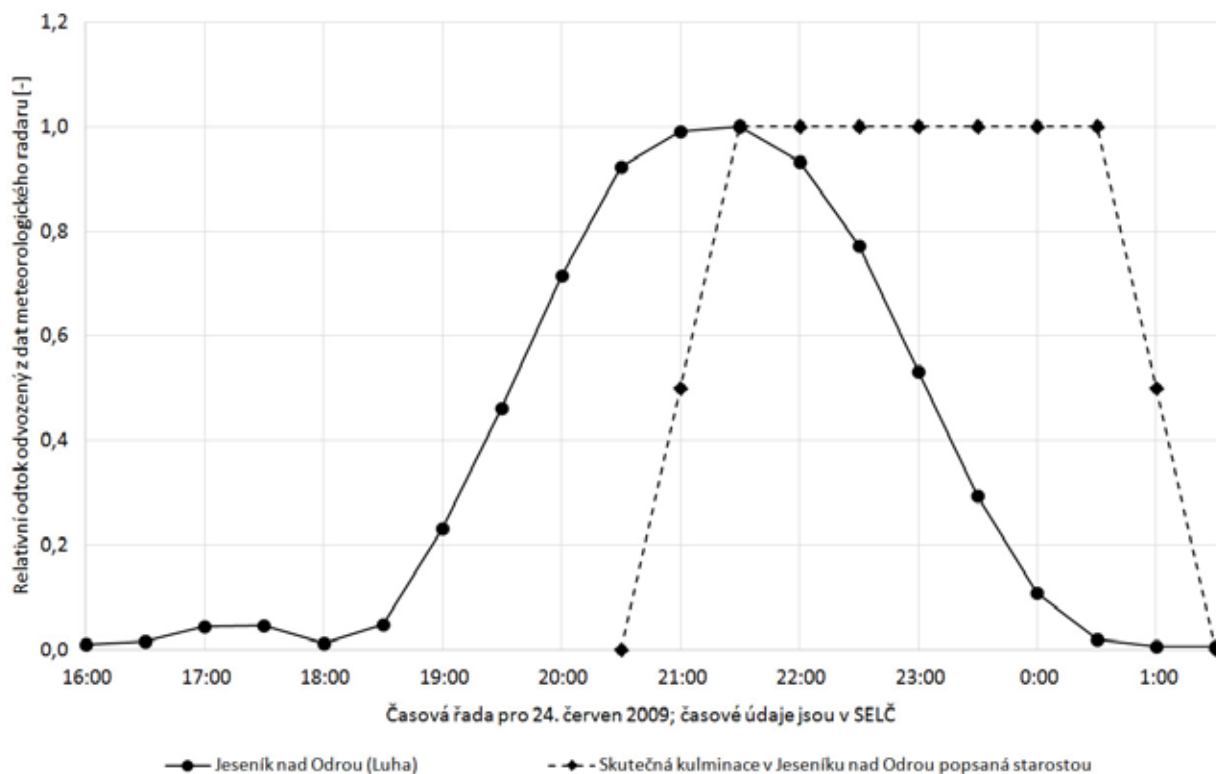
Popis průběhu srážkové epizody v povodí řeky Luha

Extrémní srážková činnost dne 24. června 2009 vznikala v konvektivní buňce, jež byla součástí oblačného pásu probíhajícího od jihozápadu k severovýchodu v délce kolem 300 km a víceméně kopírujícího průběh horstev na západním okraji Západních Karpat. Ve večerních hodinách dne 24. června 2009 zasáhla Novojičínsko série až pěti lokálních bouřek. Šlo o rozměrově malé buňky, které se však seřadily téměř lineárně ve směru postupu fronty (severovýchod – jihozápad) a srážky tak dopadaly do stále stejného území (Kubát a kol., 2009). Ohnisko velmi vydatných srážek se velmi pomalu přesouvalo přes zájmové povodí mezi 19:00 až 21:00 h. Koryta místních vodotečí se poměrně rychle zaplnila. Hladiny řek a potoků velice rychle stouply a po dosažení kulminace opět velice rychle opadly. Mezi 23:00 až 1:00 h následujícího dne srážky doznivaly.

Informace získané při konzultaci se starostou obce Jeseník nad Odrou

Starosta obce Jeseník nad Odrou nám poskytl cenné detailní informace o průběhu události. Blesková povodeň v Jeseníku nad Odrou nikdy dříve nebyla, až 24. června 2009. Při zvládnání krize jednalo vedení obce intuitivně, v prvních (bohužel nejkritičtějších) hodinách bez kontaktu s orgány krizového řízení. Průběh povodně lze shrnout takto (časové údaje v SELČ):

- přšelo i 4 – 6 dní před povodní;
- 17:00 h daného dne ještě nepřšelo;
- 19:30 h začalo přšet – cestou z úřadu starosta svolal spolupracovníky – poslal je na kontrolu mostů – už se nedostali zpět na úřad;
- před 21:00 h stihli vyhlásit stav ohrožení – voda stoupala tak



Obr. 4. Srovnání vývoje predikovaného průtoku na řece Luze v obci Jeseník nad Odrou (predikce na základě dat meteorologického radaru) se skutečnou kulminací, popsanou starostou města

rychle, že do 5 minut bylo centrum obce v okolí řeky Luha zaplaveno;

- Luha se z šířky 2 m a hloubky 50 cm změnila na tok široký 300 m a hluboký 3 m;
- 21:30 – 1:00 h kulminace;
- pak hladina prudce opadla;
- ráno už byly silnice v obci opět sjízdné;
- přívalová povodeň zanechala v obci čtyři mrtvé a rozsáhlé škody na majetku.

Porovnání predikovaného a skutečného vývoje průtoků

Jako první povodí, ve kterém byl ověřován navržený postup, bylo zvoleno povodí řeky Luha z důvodu předchozího získání poměrně podrobných dat o tomto území od starosty obce Jeseník nad Odrou. Na obr. 3 je ukázána vizualizace rizika vzniku přívalové povodně v povodí řeky Luha a přilehlém okolí k 20:00 h SELČ a na obr. 4 je srovnání predikovaného relativního průtoku na řece Luha v obci Jeseník nad Odrou se skutečnou kulminací popsanou starostou města. Z obr. 4 je patrné, že jsou obě křivky v čase vůči sobě posunuté. Na základě tohoto posunu by bylo možné nejspíše ve 20:00 h SELČ konstatovat, že prudce roste riziko vzniku přívalové povodně na dolním toku řeky Luha a vydat na základě toho výstražnou informaci starostovi obce.

Přesný čas příchodu povodňové vlny není možné samozřejmě predikovat, nicméně časový předstih výstrahy je dostatečný na to, aby starosta měl možnost vyzoomět obyvatele obce a zajistit jejich evakuaci do výše položených míst. Na záchranu majetku (snad s výjimkou aut) by čas nebyl.

* * *

V současné době používané nebo vyvíjené postupy predikce přívalových srážek a jimi způsobených přívalových povodní běžně pracují s kvantifikovanými daty, jako je nasycenost území předcházejícími srážkami, radarový odhad srážek v milimetrech vodního sloupce (WMO, 2011), detailní vlastnosti povodí (Vojtek, 2014), a pokud možno průběžnou kontrolou výsledků podle měřicích stanic na drenážní síti (Alfieri et al., 2011). Tyto postupy jsou závislé na velkém množství vstupních dat, která na jednu stranu nemusí být vždy k dispozici a na druhou stranu jejich zpracování může z důvodu časové náročnosti znamenat i určité zpoždění predikce za vývojem situace. Z tohoto pohledu je vyvinutý postup výrazně jednodušší, operativnější, ale je zapotřebí znova zopakovat, že umožňuje generovat jen výstrahu před možným nebezpečím, a to bez jakéhokoliv kvan-

tifikovaného odhadu průtoku a teritoriálního rozsahu (např. vymezení hranice zaplaveného území apod.). Na druhou stranu, vzhledem k rychlosti vývoje situace při přívalové povodni je otázkou, nakolik je kvantifikovaná informace potřebná. Prvořadým zájmem v této situaci je záchrana lidských životů, v tomto případě tedy rychlé vyrozumění obyvatel a jejich rychlé přesunutí (evakuace) do výše položených míst v obci. Na záchranu majetku a hospodářských zvířat již obvykle není čas.

Navržená metodika má své limity. V prvním kroku bylo naším cílem nalézt co nejjednodušší metodiku indikace hrozby přívalové povodně založenou na minimu vstupních údajů a použitelnou téměř v libovolné oblasti. Proto jsme abstrahovali od plošného povrchového odtoku – pozornost se zaměřila pouze na odtok v liniích vodotečí. Toto omezení je na první pohled relativně přísné, ale výsledná metodika prokázala jednoduchou aplikovatelnost a poskytuje zajímavé výsledky. Mimo jiné umožňuje generovat i výstrahy pro oblasti, kde aktuálně neprší, ale které jsou dál po proudu toků opouštějších oblast zasáženou přívalovou srážkou.

Dalšího zlepšení metodiky lze dosáhnout využitím informací o předcházejících srážkách, resp. o nasycenosti území předcházejícími srážkami. Zde by bylo pro území, kde jsou tyto znalosti dostupné, možné využít Indikátor přívalových povodní (*Flash Flood Guidance*; pravidelně publikovaný na webu ČHMÚ; http://hydro.chmi.cz/hpps/main_rain.php?mt=ffg) k posouzení, zda je výstraha generována pro území s vysokou pravděpodobností výskytu přívalových povodní, nebo, naopak, s nízkou pravděpodobností. Podle toho by bylo možné posoudit, zda výstrahu vydat či nikoliv, a redukovat tak počet falešných výstrah.

Tato práce byla podpořena projektem s názvem Scénáře podpory krizového řízení geoinformačními technologiemi č. VG20132015106, Program Bezpečnostního výzkumu Ministerstva vnitra České republiky a Evropským fondem pro regionální rozvoj v rámci projektu Centra excelence IT4Innovations (CZ.1.05 / 1.1.00 / 02,0070).

Literatura

- Alfieri, L., Smith, P. J., Thielen-Del Pozo, J., Beven, K. J.: A Staggered Approach to Flash Flood Forecasting – Case Study in the Cevennes Region. *Advances in Geosciences*, 2011, 29, p. 13 – 20.
- Borga, M., Anagnostou, E. N., Blöschl, G., Creutin, J.-D.: Flash Flood Forecasting, Warning and Risk Management: The HYDRATE Project. *Environmental Science & Policy*, 2011, 14, 7, p. 834 – 844.
- Březková, L., Novák, P., Šálek, M.: Limits of Flash Floods Forecasting in the Conditions of the Czech Republic. In: *Early Warning of Flash Floods*. International Workshop. Praha: CHMI Publishing, 2011, p. 29 – 33.
- CZRAD: Český hydrometeorologický ústav. Radarová síť CZRAD, 2011. (http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteorad/info_czrad/index.html)
- Grabs, W. E.: Regional Flash Flood Guidance and Early Warning System. Training for Trainers. In: *Workshop on Integrated App-*

- roach to Flash Flood and Flood Risk Management. Kathmandu: WMO Climate and Water Department, 2010, p. 24 – 28.
- Hill, Ch. D., Verjee, F., Barrett, C.: *Flash Flood Early Warning System Reference Guide*. Silver Spring: NOAA National Weather Service, 2010, 204 p.
- Kubát, J. a kol.: Vyhodnocení povodní v červnu a červenci 2009 na území České republiky. *Souhrnná zpráva*. Praha: MŽP ČR, ČHMÚ, 2009, 165 s.
- Rapant, P., Inspektor, T., Kolejka, J., Batelková, K., Zapletalová, J., Kirchner, K., Krejčí, T.: Early Warning of Flash Floods Based on the Weather Radar. In: *16th International Carpathian Control Conference (ICCC)*. New York: IEEE, 2015, p. 426 – 430.
- Sene, K.: *Flash Floods. Forecasting and Warning*. Dordrecht – Heidelberg – New York – London: Springer, 2013, 385 p.
- Schumacher, R. S., Johnson, R. H.: Mesoscale Processes Contributing to Extreme Rainfall in a Midlatitude Warm-Season Flash Flood. *Monthly Weather Review*, 2008, 136, p. 3964 – 3986.
- Vojtek, M.: *Povodňová hrozba a povodňové riziko na příklade povodia Vyčomy*. Nitra: Univerzita Konštantína Filozofa, 2014, 238 s.
- Vološ, B.: Odvození extrémních povodňových vln v malých povodích deterministickými nástroji. Nejistoty hydraulických výpočtů na vodních tocích pro extrémní hydrologické jevy. Praha: ČVUT, 2007.
- WMO: *Manual on Flood Forecasting and Warning*. WMO-No. 1072. Geneva: World Meteorological Organization, 2011, 142 p.
- Zacharov, P., Šálek, M., Novák, P.: Porovnání různých metod využívajících radarová a srážkoměrná měření pro odhad srážek. *Meteorologické zprávy*, 2004, 57, 6. s. 157 – 167.

doc. Ing. Petr Rapant, CSc., petr.rapant@vsb.cz
Mgr. Tomáš Inspektor, Ph.D., tomas.inspektor@vsb.cz
IT4Innovations – Národní superpočítačové centrum a Institut geoinformatiky Vysoké školy báňské Technické univerzity Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, Česká republika

doc. RNDr. Jaromír Kolejka, CSc., kolejka@geonika.cz
Ústav geoniky Akademie věd České republiky, v. v. i., Ostrava, oddělení environmentální geografie, Drobného 28, 602 00 Brno, Česká republika