ODVOZENÍ PRŮBĚHU PŘÍVALOVÝCH POVODNÍ V ČERVNU 2013 NA NEPOZOROVANÝCH POVODÍCH A VÝVOJ A TESTOVÁNÍ APLIKACE FFG-CZ

Mgr. Martin Pecha, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4 - Komořany

Povodně v červnu 2013 zasáhly Českou republiku postupně ve třech vlnách a kromě velkých vodních toků byla zasažena také menší povodí s velikostí plochy v řádech desítek až stovek km^2. Velmi často není na tak malých povodích vodoměrné pozorování, a proto je třeba proběhlou povodňovou vlnu vyhodnotit pomocí hydrologických a hydraulických modelů. Srážkoodtokovým modelem HEC-HMS byly odvozené hydrogramy z první a druhé vlny, tedy v období od 8. do 10. června 2013. Systém procedur nazvaný indikátor přívalových povodní (FFG-CZ.) byl uveden do zkušebního provozu v červnu 2010 na pracovišti Centrální předpovědní pracoviště – oddělení hydroprognózy ČHMÚ v Praze. FFG-CZ obsahuje tři základní nástroje (odhad nasycenosti území v denním kroku, odvození potenciálně rizikových srážek určité doby trvání a stanovení rizika výskytu či potencionálního vzniku přívalové povodně). První dva nástroje jsou již k dispozici na webových stránkách hlásné a předpovědní povodňové služby. Třetí nástroj aktuálně prochází intenzivním testováním (na vybraných významných povodňových situacích z let 2010 až 2014 a některé z června 2013 jsou blíže představeny) a vývojem.

KLÍČOVÁ SLOVÁ: srážky, přívalová povodeň, FFG-CZ (Indikátor přívalových povodní), hydrologické modelování

EVALUATION OF FLASH FLOODS IN JUNE 2013 IN UNGAUGED BASINS AND DEVELOPING AND TESTING APLICATION FFG-CZ (FLASH FLOODS INDICATOR). The use of rainfall-runoff model to estimate flow rate is suitable in such a case we are not able to obtain flow rate directly from gauge observation or from a one-dimensional or two-dimensional hydraulic model. In some cases, using rainfall-runoff model is the only way to obtain information about flow rates, sometimes it is possible to use the model results for the verification of values obtained by other calculation methods. Many hydrograms were calculated by the rainfall-runoff model HEC-HMS during the flood in June 2013, for example in the Úpa River basin or in the Čistá River basin. From June 8th to 10th, flash floods occurred throughout the Czech Republic. Flow rates in the most affected regions were also computed by the rainfall-runoff model. The system of procedures "Flash floods indicator (FFG-CZ)" was developed in the years 2008–2011. The trial operation of this system was started up in June 2010 at the Central Forecasting Office of the Czech Hydrometeorological Institute. Among the main outputs belong the current saturation, the potential risk of precipitation of given duration and the estimate of the flash floods occurrence risk within a given territory. Currently, the third tool is intensively tested.

KEY WORDS: precipitation, flash floods, Flash flood guidance, hydrological Modeling,

Úvod

Odtokovou situaci v průběhu června 2013 lze charakterizovat třemi epizodami významných srážek, přičemž u prvních dvou epizod byla velikost odtoku značně ovlivněna předchozím silným nasycením území. Z hlediska plošného rozsahu a extremity byla nejvýznamnější srážková epizoda 1. – 2. června, při které došlo po vypadnutí regionálních a lokálních přívalových srážek na území Čech k rozvodnění jak menších, tak i větších vodních toků v povodí Labe, a doba opakování kulminačních průtoků povodňových vln přesáhla v některých profilech 100 let. V druhé epizodě od 8. do 10. června se vyskytovaly srážky převážně lokálního přívalového charakteru, které způsobily na některých místech (z hlediska četnosti výskytu) významnější přívalové povodně, na hydrologicky pozorovaných větších tocích však jen výjimečně došlo k překročení 5letého průtoku. Protože se jednalo zejména o nepozorovaná povodí, byly hydrogramy povodňových vln ve vybraných lokalitách odvozeny pomocí srážkoodtokového modelu. Na přívalových povodních z června 2013 mohl být také otestován systém procedur FFG-CZ a některé vybrané významné situace jsou představeny v závěru tohoto příspěvku.

Vstupní údaje a metodika výpočtů

Vzhledem k tomu, že při přívalových srážkách bývají často zasažená území o malé ploše, nedojde většinou k zaznamenání události pomocí měřících zařízení staniční sítě ČHMÚ (srážkoměry, vodoměrné stanice). Potom je nezbytné odhadnout průběh povodně pomocí jiných dostupných zdrojů a nástrojů, jakými jsou meteorologické radary (pro podrobný průběh srážek) a srážkoodtokové modely (pro určení průběhu hydrogramu). V tomto případě byl použitý událostní deterministický srážkoodtokový model HEC-HMS hydrologického centra společnosti USACE (US Army Corps of Engineers), umožňující simulovat velikost přímého odtoku v povodí na základě zadaného hyetogramu a počátečního nasycení (USACE, 2000, 2003).
Srážky jsou základním a nezbytným vstupem pro srážkoodtokový model. V případě druhé vlny povodní se však srážky vyskytovaly velmi lokálně, zasahovaly malé plochy povodí a málo nebo vůbec byly zaznamenány okolními srážkoměry (staniční sítí ČHMÚ). Proto bylo velmi těžké korektně odvodit denní sumy srážek pro korekci radarových pozorování. Do modelu vstupovaly srážky opět v 15minutovém kroku jako kombinace radarových odhadů a srážek z pozemního pozorování. Nakonec byly srážky určeny ve dvou různých variantách:

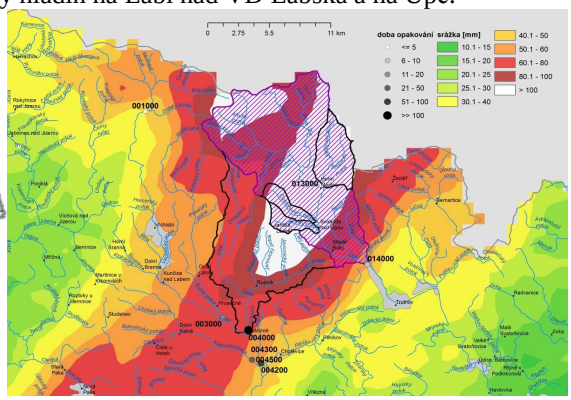
Varianta 1 – Kombinace údajů ze všech dostupných pozemních srážkoměrných stanic, které prošly pečlivou kontrolou, a srážkových odhadů z radarového měření, včetně zahrnutí dat z meteorologických radarů okolních států, tzv. systém INCA-CZ (podrobnější popis je uveden v (Haiden a kol., 2011)). Tento systém se v současné době připravuje k uvedení do provozu ČHMÚ, pro modelování přívalových situací v 2. vlně byly srážky z tohoto výstupu spočítány pracovníky radarového oddělení.
Varianta 2 – Operativní radarová data, tzn. kombinace údajů z vybraných (zhruba 160) srážkoměrných stanic a odhadů srážek z radarů Skalky a Praha (Brdy), tzv. metoda MERGE (podrobnější popis viz (Šálek, 2011)), jejíž výstupy byly do nedávné doby k dispozici na stránkách HPPS ČHMÚ a nyní jsou již nahrazeny novou metodou.

Druhým nezbytným krokem fungování srážkoodtokového modelu je určení velikosti transformace srážky na odtok. Jako transformační funkce povodí byla využita metoda Clarkova dvouparametrického okamžitého jednotkového hydrogramu, ke stanovení odtokových ztrát metoda CN křivek. Pro určení hodnot CN v jednotlivých zasažených povodích byla využita aktuální rastrová data hodnot CN, která se odvozují v denním kroku při běhu Indikátoru přívalových povodní (FFG-CZ, více později), vždy pro den předcházející povodňové epizodě. Fyzickogeografické parametry modelu byly určeny z digitálního modelu terénu v měřítku 1:10000.
Srážkoodtokovým modelováním bylo vyhodnoceno několik vybraných oblastí, které byly výrazně zasaženy přívalovými srážkami a kde byly hlášeny a dokumentovány přívalové povodně. Nelze vyloučit, že v některých dalších lokalitách se mohly vyskytnout kulminační průtoky a povodně podobného nebo i většího významu.
Průtoky byly odvozeny s využitím obou variant vstupních srážek. Je pochopitelné, že přesnější odhady rozložení srážek by měly poskytnout (až na výjimky) výstupy z varianty 1, kde bylo využito všech srážkoměrných pozorování a údajů z radarů sousedních zemí. Pokud však v zasažené oblasti nebyly k dispozici žádné relevantní údaje ze srážkoměrů, je odhad maximálních srážkových intenzit závislý pouze na použité metodě, a proto nelze s určitostí říci, která z použitých metod (INCA-CZ, MERGE) je „správnější“. Data ze srážkoměrů jsou proto neocenitelnou informací a nelze je plně nahradit jinou metodou měření. Průtoky určené srážkoodtokovým modelem je třeba brát jako odhad, vycházející z nejlepšího možného odvození vstupních srážek.

První vlna povodní 1. a 2. června 2013

Významnější vzestupy hladin začaly nejdříve na přítocích Berounky (Klabava, Úslava), a to již během 31. května v důsledku srážek z 30. a 31. května (cca 20–45 mm), které spadly již do velmi nasyceného území (*Obr. 1*). Příčinné srážky započaly nad územím Čech 1. června v ranních a dopoledních hodinách. Déšť byl regionálního charakteru a kromě severozápadních Čech slabé až mírné intenzity. V odpoledních a večerních hodinách intenzita deště, zejména ve středních, jižních a jihozápadních Čechách, zesilovala (místy 5–10 mm.h-1) a lokálně se již začaly vyskytovat i srážky konvekčního charakteru. Odpoledne a večer 1. června vydatně pršelo v hřebenových partiích Krkonoš, což se projevilo vzestupy hladin na Labi nad VD Labská a na Úpě.

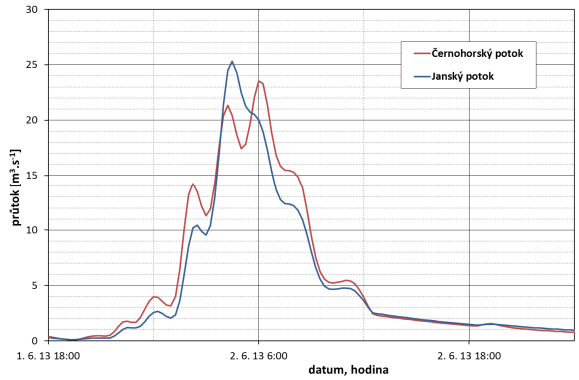




Obr. 1. Ukazatel nasycení území k 1. 6. 2013 8:00 SELČ.
Fig. 1. Territory Saturation Index as of 1 June 2013 8:00 a.m., Central European Summer Time (CEST).
Obr. 2. Plošné rozložení srážek v oblasti Krkonoš a Podkrkonoší od 1. června 15:00 do 2. června 15:00 SELČ.
Fig. 2. Distribution of Rainfall (from 1. 6. 15:00 until 2. 6. 15:00 CEST) with Indication of Affected Catchment Area.

Těsně po půlnoci z 1. na 2. června se začaly ve východních Krkonoších a jejich podhůří vyskytovat místně i velmi intenzivní srážky konvekčního typu, které dále postupovaly v pásu táhnoucím se jihozápadním směrem, přičemž se navíc uplatnil tzv. řetězový efekt (srážky postupovaly po stejné dráze několik hodin). Srážky zasáhly povodí přítoků Úpy mezi Horním Maršovem a Trutnovem (např. Černohorský potok, Janský potok, Lysečinský potok), přítoky Labe nad VD Království (Malé Labe, Čistá). Odtoková odezva byla vzhledem k předchozímu významnému nasycení velmi rychlá. Naprosto výjimečná situace nastala na povodích přítoků Úpy a Labe v podhůří Krkonoš (Obr. 2), kde velmi intenzivní srážky (místy až 45 mm.h-1), kromě přívalových povodní a

lokálního zatopení, způsobily velmi výrazné erozní jevy plošného i lokálního charakteru a vyvolaly rovněž četné svahové sesuvy (Obr. 4). Mezi nejvíce postižená povodí patřila povodí Čisté, která se vlévá do Labe v Hostinném, a povodí drobných přítoků Úpy v okolí Horního Maršova a Svobody nad Úpou (již zmíněné potoky Černohorský, Janský a Lysečinský). Průběh povodně na nejvíce zasažených tocích byl odhadnut pomocí srážko-odtokového modelu, viz Obr. 3. Hladiny toků kulminovaly v ranních hodinách 2. června.



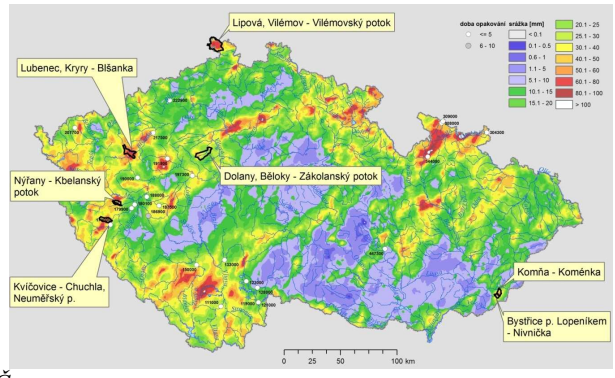


Obr. 3. Srážkoodtokovým modelem odvozený hydrogram povodně na Černohorském a Janském potoce.
Fig. 3. Flood Hydrograph for Černohorský and Jánský Stream, Derived Using the Rainfall-Runoff Model.
Obr. 4. Fluviální eroze na turistické cestě nad Horním Maršovem (foto Martin Pecha).
Fig. 4. Fluvial Erosion on the Hiking Trail above Horni Maršov (photo by Martin Pecha).

Druhá vlna povodní 8. až 10. června

Srážky, které se vyskytovaly 8. až 10. června nad územím České republiky, byly převážně konvekčního charakteru, přičemž na některých místech způsobily lokální zatopení území a přívalové povodně. Půda byla po nedávno proběhlé první vlně stále ještě velmi silně nasycená (*Obr. 5*), a proto významnější povrchový odtok vyvolaly v některých případech i přívalové srážky relativně menší intenzity.
8. června se vyskytovaly jen velmi lokální intenzivnější srážky především v severozápadní polovině Čech. Denní úhrny srážek až na výjimky nepřekročily 40 mm. Přívalové povodně byly zaznamenány v Podkrkonoší, na Plzeňsku a zejména pak na Kladensku, například na Dolanském potoce v obcích Dolany a Běloky.
9. června byly lokální přívalové srážky nejintenzivnější a rovněž plošně rozsáhlejší (denní úhrny až okolo 70 mm), ale převážná většina stále na území Čech. Přívalové povodně byly zaznamenány například na Šluknovsku (Lipová, Vilémov), Plzeňsku, v Podkrkonoší, na Mladoboleslavsku, na Chomutovsku a na Lounsku (Lubenec, Kryry), Domažlicku a Jesenicku.
10. června se lokální přívalové srážky vyskytly kromě Čech i na Moravě a ve Slezsku. Maximální denní úhrny jen výjimečně překročily 50 mm. Přívalové povodně a lokální zatopení byly hlášeny například z okolí Bystřice pod Lopeníkem, ze Šumperska a Plzeňska.
Celková suma srážek za všechny tři dny je na *Obr. 6*. Současně jsou v obrázku vyznačená povodí, pro která byl sestaven srážkoodtokový model.



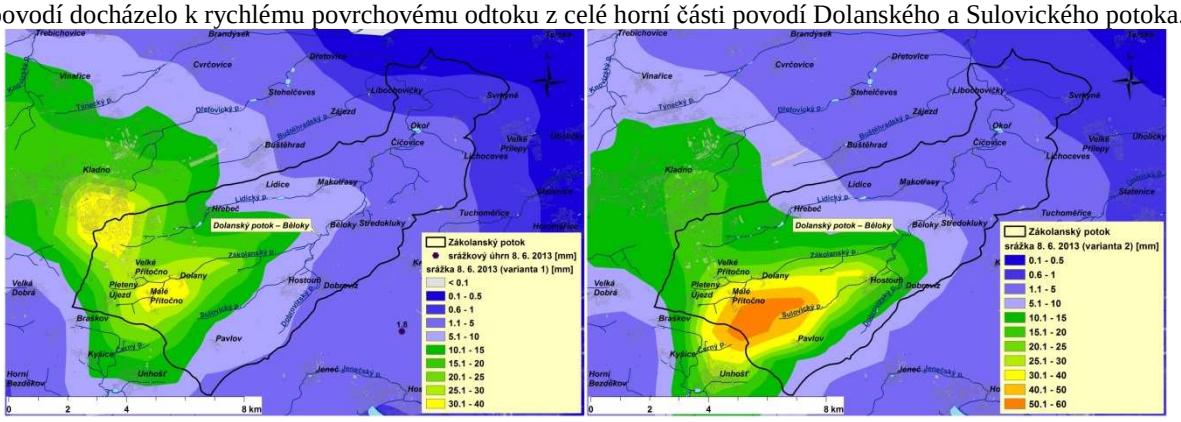


Obr. 5. Ukazatel nasycení území k 8. 6. 2013 8:00 SELČ.
Fig. 5. Territory Saturation Index as of 8 June 2013 8:00 a.m., Central European Summer Time (CEST).
Obr. 6. Plošné rozložení spadlých srážek od 8. Června 8:00 do 11. Června 8:00 SELČ.
Fig. 6. Distribution of Rainfall from 8 June, 08:00 a.m. until 11 June, 08:00 a.m. CEST.

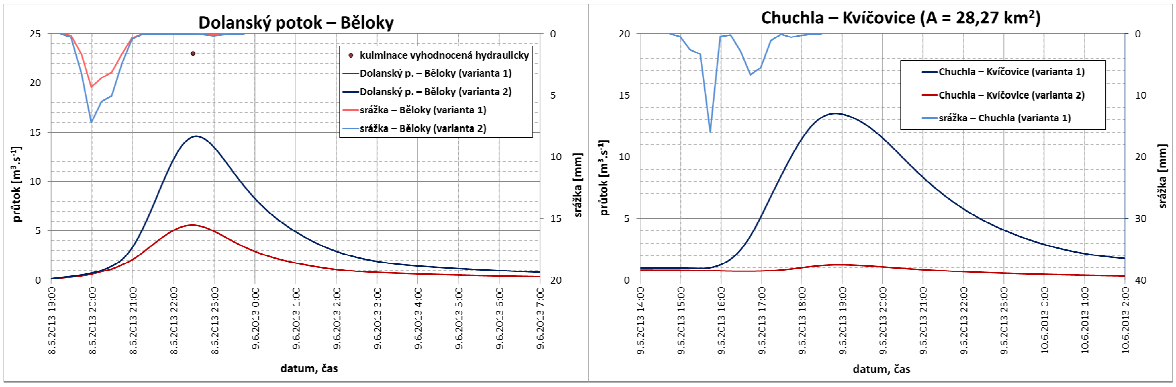
Průběhy přívalových povodní z druhé vlny povodní ve vybraných zasažených lokalitách

Povodí Zákolanského potoka – Dolany, Běloky

Jako první musí být představena událost z večera 8. června, kdy po 19. hodině večer začaly vypadávat velmi lokální přívalové srážky, a to zejména v pramenné části povodí Dolanského (Zákolanského) potoka. Přibližně kolem 21:15 srážky ustaly a později se už vyskytly pouze slabší přeháňky nebo občasný velmi slabý déšť. V nejvíce zasažené části povodí se intenzita srážek pohybovala pravděpodobně od 15 do 20 mm za 15 minut a během jedné hodiny dle radarových odhadů spadlo místy více než 50 mm. Vzhledem k významnému nasycení povodí docházelo k rychlému povrchovému odtoku z celé horní části povodí Dolanského a Sulovického potoka.



Obr. 7. Plošné rozložení srážek (varianta 1 vlevo, varianta 2 vpravo) s vyznačením zasaženého povodí.
Fig. 7. Distribution of Precipitation (Variant 1 on the left, Variant 2 on the right) with Indication of Affected Catchment Area.



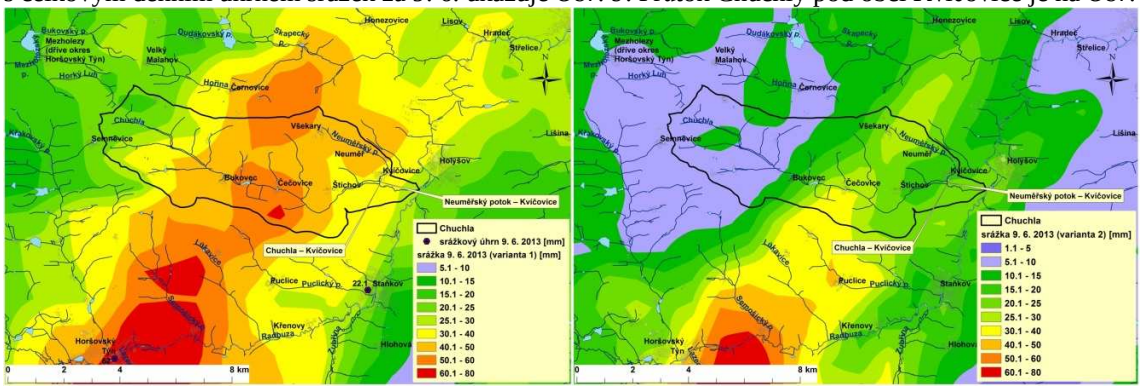
Obr. 8. Srážkoodtokovým modelem odvozený hydrogram povodně na Dolanském potoce v Bělokách (vlevo) a na Chuchle v Kvíčovicích (vpravo).
Fig. 8. Flood Hydrograph for Dolanský Stream in Běloky (on the left) and for Chuchla Stream in Kvíčovice (on the right), Derived Using the Rainfall-Runoff Model.

Oblast zasaženého území společně s plošným rozložením srážek 8. června ukazuje obr. 7. Hodnoty maximálních intenzit srážek jsou však zatíženy velkou nejistotou, protože v jádru srážek se nenachází žádná srážkoměrná stanice, a proto nebylo možné významněji zpřesnit odhad srážek z meteorologického radaru. Naopak velmi nízké srážkové úhrny byly naměřeny v blízkém okolí (na okrajích bouřkového jádra), což mělo za následek to, že varianta 1 nakonec údává v jádru konvekční buňky výrazně nižší úhrn srážek, než varianta 2. Modelované průtoky jsou však v tomto případně výrazně menší než hydraulicky vyhodnocený průtok Dolanského potoka v Bělokách, což potvrzuje domněnku, že v jádru spadlo ještě více srážek a nejblíže realitě se tak v této situaci velmi pravděpodobně jeví suma srážek adjustovaného radaru, která vstupovala do procedur FFG-CZ. (*obr. 12*). Hydrogram průtoků v profilu Běloky na Dolanském potoce je znázorněn na *obr. 8*.

Povodí Chuchly a Neuměřského potoka – Kvíčovice

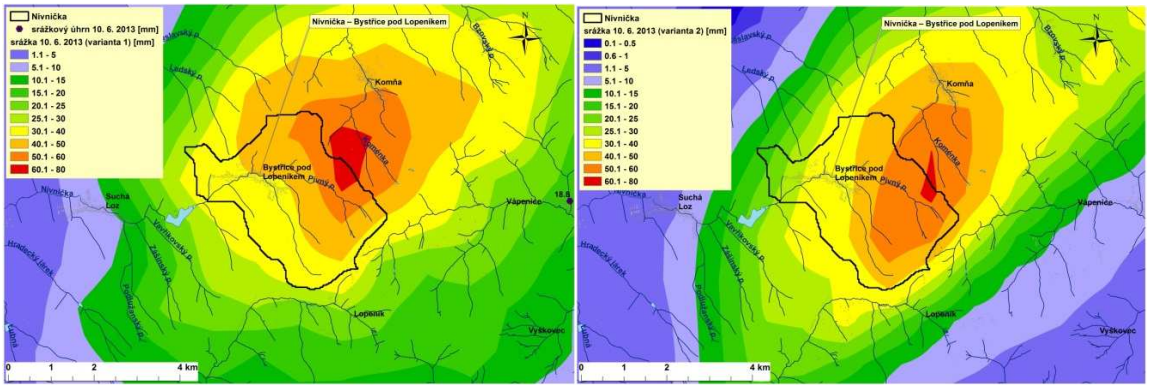
K opačné situaci než v povodí Dolanského potoka došlo hned následující den v povodí Chuchly a Neuměřského potoka. Přívalové srážky zasáhly velkou část povodí Chuchly již kolem 15. hodiny a ustávaly až okolo 18. hodiny. Nejintenzivnější srážky vypadávaly okolo 15:30, a pak mezi 16. a 17. hodinou. Tyto vydatné a intenzivní srážky (15 až 20 mm za 15 minut) v kombinaci s vysokou nasyceností povodí po předchozích srážkách samozřejmě vyvolaly významnou odtokovou odezvu v celém povodí. Vzhledem k tomu, že nedaleko od povodí Chuchly byly naměřeny 2 vysoké srážkové úhrny (Staňkov 22,1 mm a zejména Horšovský Týn 62 mm), které však vstupovaly pouze do první varianty výpočtu, byla v tomto případě varianta srážek číslo 1 mnohem blíže realitě než varianta 2. Dle srážkové varianty 2 se průtok v Chuchle i Neuměřském potoce zvětšil

pouze nepatrně a rozhodně by nezpůsobyl rozlivy mimo koryta těchto toků. Oblast zasaženého území společně s celkovým denním úhrnem srážek za 9. 6. ukazuje *Obr. 9*. Průtok Chuchly pod obcí Kvíčovice je na *Obr. 8*.



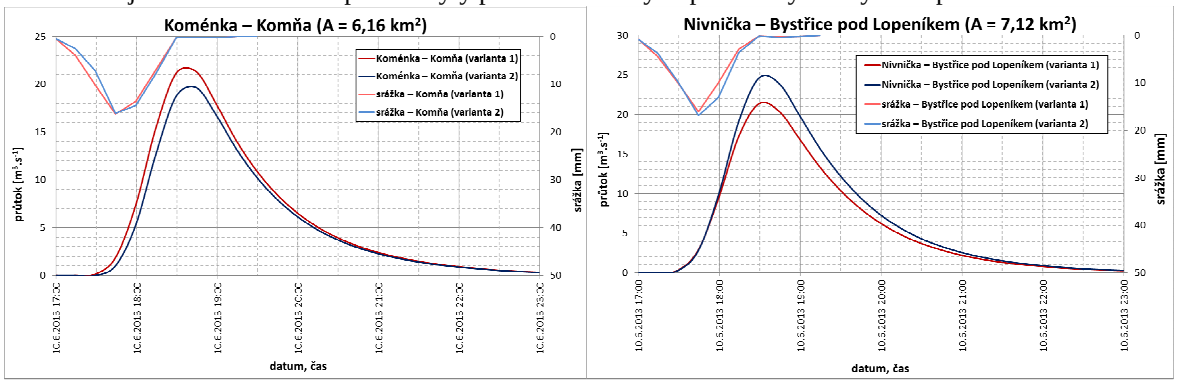
Obr. 9. Plošné rozložení srážek (varianta 1 vlevo, varianta 2 vpravo) s vyznačením zasaženého povodí.
Fig. 9. Areal Distribution of Precipitation (Variant 1 on the left, Variant 2 on the right), with Indication of Affected Catchment Area.

Koménka – Komňa, Nivnička a Pivný potok – Bystřice pod Lopeníkem



Obr. 10. Plošné rozložení srážek (varianta 1 vlevo, varianta 2 vpravo) s vyznačením zasaženého povodí.
Fig. 10. Areal Distribution of Precipitation (Variant 1 on the left, Variant 2 on the right), with Indication of Affected Catchment Area.

Poslední byla vybrána událost z 10. června, která se odehrála na svazích Velkého Lopeníku. První srážky zasáhly pramenné části povodí 8. června, přičemž celkový úhrn se pohyboval kolem 10 mm. Tyto srážky přispěly k lokálnímu zvýšení nasycenosti povodí. Vydatné srážky přívalového charakteru se v povodí Koménky a Nivničky začaly vyskytovat 10. června kolem 17:00 a nejintenzivnější srážky byly zaznamenány zhruba od 17:30 do 18:15. Za více než hodinu tak většinou napršelo v pramenné části povodí od 30 do 50 mm srážek (lokálně i více) a 15 minutová průměrná srážka se zde pohybovala v době nejintenzivnějších srážek až okolo 15 mm. V nejvíce zasažené části povodí byly přívalové srážky doprovázeny i silným krupobitím.



Obr. 11. Srážkoodtokovým modelem odvozený hydrogram povodně na Koménce v Komni (vlevo) a na Nivničce v Bystřici pod Lopeníkem (vpravo).
Fig. 11. Flood Hydrograph for Koménka Stream in Komňa (on the left) and Nivnička Stream in Bystřice pod Lopeníkem (on the right), Determined Using the Rainfall-Runoff Model.

Na tyto srážky začaly velmi rychle reagovat i hladiny toků. Časový výskyt a velikost kulminace na Koménce byla zřejmě ovlivněna retencí a následným protržením požární vodní nádrže nad obcí Komňa. V samotných obcích Komňa a Bystřice pod Lopeníkem došlo k vybřežení toků ze svých koryt, zatopení několika domů, sklepů, přízemních garáží a zahrad, k devastaci zregulovaného koryta, poničení místních chodníků a komunikací a poškození několika obecních mostů. Pod Bystřicí pod Lopeníkem se voda se splávím valila korytem Nivničky a po okolních pozemcích až do nádrže Ordějov, která byla vzhledem k nepříznivé předpovědi srážek částečně vypuštěna. Díky tomu došlo k zachycení povodňové vlny a její transformaci.
V tomto případě si byly srážkové varianty 1 a 2 velmi podobné, a tak i výsledné modelované průtoky byly srovnatelné (*Obr. 11*) a pravděpodobné i velmi blízké realitě. Srážkové varianty 1 a 2 (tudíž i následné modelované průtoky) si byly blízké také na Šluknovsku a Lubenecku, naopak na Plzeňsku se poměrně výrazně rozcházely. Kompletní vyhodnocení přívalových povodní je k nahlédnutí v souhrnné zprávě o červnové povodni 2013 publikované na webových stránkách (ČHMÚ, 2013), případně v článcích (Tyl, 2014; Pecha, 2014).
Je velmi pravděpodobné, že se při lokálních přívalových povodních vyskytly průtoky, které dosáhly či dokonce překročily dobu opakování 100 let. Seznam vyhodnocených nepozorovaných profilů s vybranými parametry povodňové vlny je v Tabulce 1.

Tabulka 1. Odhad velikosti kulminačních průtoků a dob opakování v nepozorovaných profilech
Table 1. Estimated Peak Flows and Return Periods during Floods Episode at Ungauged Basins

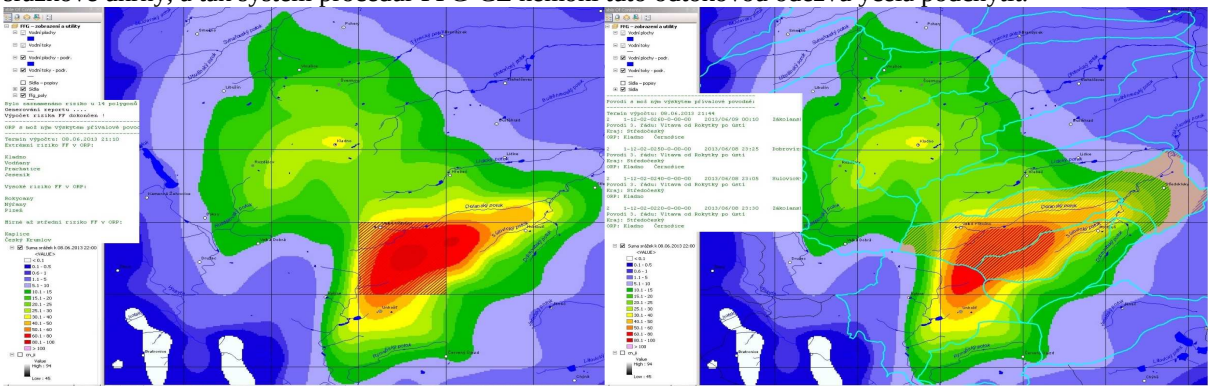
číslo hydrologického pořadí	Tok	Profil	Plocha povodí	Údaje ke kulminačnímu průtoku		
				den	průtok	doba opak.
			[km^2]		[m^3.s^{-1}]	[roky]
1-01-01-0290-0-00	Luční potok	ústí do Čisté, Rudník	38,38	2. 6.	90.2	>> 100
1-01-02-0120-0-00	Lysečinský potok	ústí do Úpy, H. Maršov	18,26	2. 6.	65.0	100
1-01-02-0140-0-00	Černohorský potok	ústí do Úpy, D. Maršov	6,34	2. 6.	23.6	20–50
1-01-02-0160-0-00	Jánský potok	ústí do Úpy, Svoboda n. Ú.	5,34	2. 6.	25.3	50–100
1-12-02-0260-0-00	Dolanský potok	Běloky	26,31	8. 6.	23.0**	100
1-10-01-1940-0-00	Kbelanský potok	Nýřany	22,37	9. 6.	9.50	5–10
1-10-02-0710-0-00	Neuměřský potok	Kvíčovice	4,12*	9. 6.	3.33	2–5
1-10-02-0710-0-00	Chuchla	Kvíčovice	28,27*	9. 6.	13.5	5–10
1-15-01-0230-0-00	Liščí potok	Lipová	10,82*	9. 6.	13.9	100
1-15-01-0260-0-00	Vilémovský potok	Vilémov	53,97*	9. 6.	65.0	100
1-13-03-0490-0-00	Blšanka	nad ústím Ležeckého p.	46,39	9. 6.	36.2	100
4-13-01-0890-0-00	Koménka	Komňa	6,16*	10. 6.	21.3	50–100
4-13-01-1170-1-00	Nivnička	Bystřice pod Lopeníkem	7,12*	10. 6.	21.4	50

** plocha povodí určená z modelu HEC-HMS, ** průtok odvozen hydraulickým modelem*
** Watershed area determined from the HEC-HMS Model, ** Flow rate derived using the Hydraulic Model*

Vývoj a testování Indikátoru přívalových povodní (FFG-CZ)

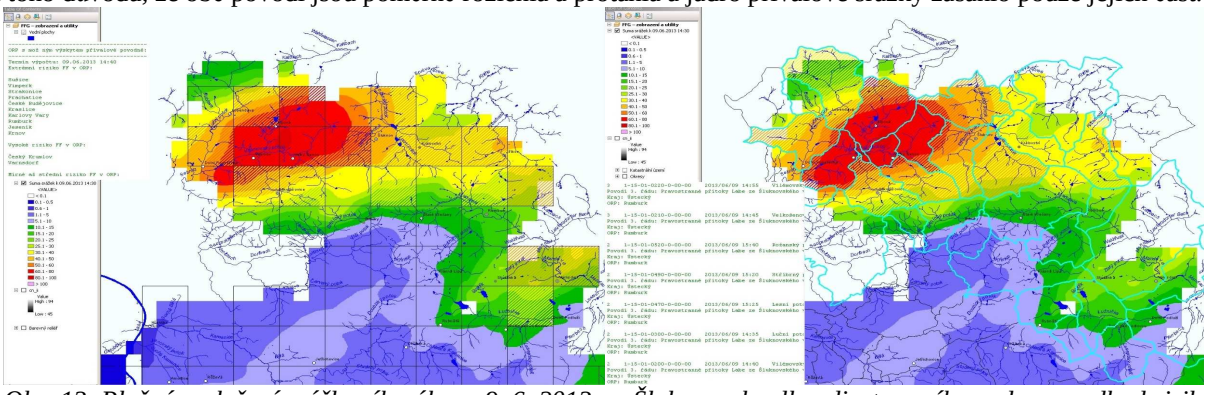
V posledních cca pěti letech neustále dochází k dalšímu vývoji a testování FFG-CZ. Právě přívalové povodně v roce 2013 poskytly celou řadu zajímavých situací k otestování procedur. Hlavním úkolem systému procedur je detekce potenciálního rizika vzniku nebo výskytu přívalové povodně. Systém byl vyvíjen v letech 2008 až 2011, přičemž v červnu 2010 byl uveden do zkušebního provozu a v současné době se skládá z následujících částí:
a) Výpočet aktuální nasycenosti území v denním kroku na základě bilance srážek, odtoku, a aktuální evapotranspirace, viz Obr. 1 a Obr. 5.
b) Výpočet potenciálně rizikových srážek (v rastru 3 x 3 km) o době trvání 1, 3 a 6 hodin (definovaná prahová hodnota), které mohou vyvolat povrchový odtok o periodicitě výskytu cca 2 až 5 let.
c) Odhad aktuálního rizika vzniku nebo výskytu přívalové povodně na základě 15 minutových adjustovaných radarových odhadů srážek, včetně nowcastingu, a definovaných prahových hodnot odtoku (stanovení míry rizika vzniku přívalové povodně, pro základní hydrologická povodí, většinou 5–10 km^2).
Tři úrovně rizika (budou se zřejmě upřesňovat) na základě teoretického q_{100i} a zvolených prahových hodnot, 1) malé až střední riziko, poměr 0,15 * q_{100i} a vyšší, 2) vysoké riziko, poměr 0,4 * q_{100i} a vyšší a 3) extrémní riziko, poměr 0,8 * q_{100i} a vyšší (q_{100i} – hodnota odvozená na základě indexu extremity IE_{100} a velikosti plochy povodí).
Jednotlivé procedury je možné spouštět buď interaktivně, z prostředí GIS, nebo jako naplánované úlohy v systému. Výstupy procedur výpočtu aktuální nasycenosti území a potenciálních srážek jsou již prezentovány na webu ČHMÚ na adrese http://hydro.chmi.cz/hpps/main_rain.php?mt=ffg.
V posledních dvou letech byly procedury FFG-CZ otestovány na významných povodňových situácích, které byly způsobeny přívalovými srážkami. Z roku 2013 byly otestovány všechny případy přívalových povodní z první a i vlny, květnová přívalová povodeň v okolí Bílovce a Studénky a některé další. V roce 2014 se vyskytlo méně případů přívalových povodní, ale některé z nich byly poměrně významné. Zejména údálost z 3. srpna, kdy se přívalové povodně vyskytly v horním povodí Novohradky (nejvíce zasaženo bylo povodí Krounky) a horní Svratky. Na srážkoměrné stanici Svratouch bylo naměřeno 131 mm za 24 hodin (80 mm za 3 hodiny). Další

významná situace se vyskytla 27. 5. večer a v noci, kdy napršelo v okolí Kamýku nad Vltavou cca 100 za 3 hodiny. V blízkém okolí byly zaznamenány sesuvy půdy a rozvodnění malých toků. Přívalové povodně se vyskytly také večer a v noci z 28. na 29. 5. v oblasti severovýchodního návětří Jeseníků. Během několika hodin zde napršelo 60 až 80 mm a výsledkem bylo rozvodnění malých vodních toků, při této situaci však adjustovaný radar podhodnotil srážkové úhrny, a tak systém procedur FFG-CZ nemohl tuto odtokovou odezvu ycela podchytit.

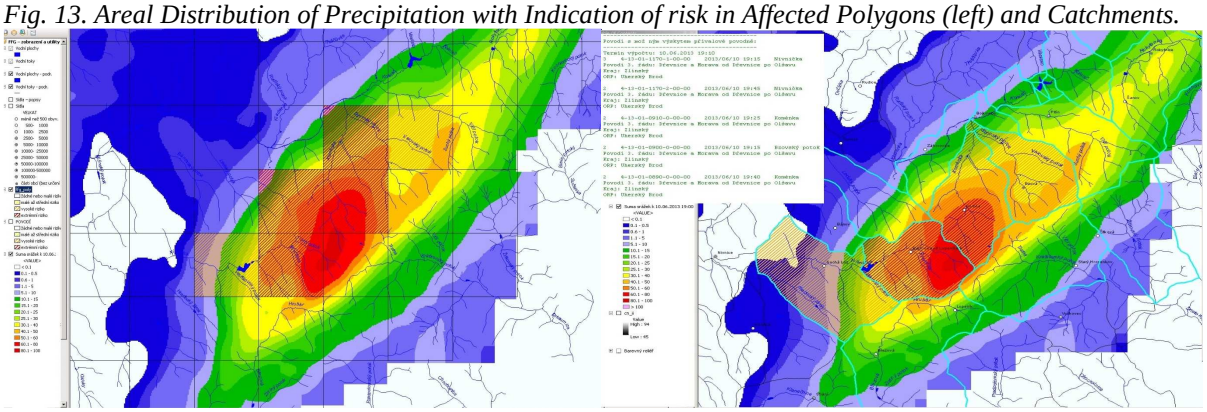


Obr. 12. Plošné rozložení srážkového úhrnu 8. 6. 2013 v povodí Dolanského potoka a okolí dle adjustovaného radaru a odhad rizika přívalové povodně (vpravo gridy 3x3 km, vlevo pro jednotlivá pramenná povodí).
Fig. 12. Areal Distribution of Precipitation with Indication of risk in Affected Polygons (left) and Catchments.

Na výše uvedeném Obr. 12 je zobrazen případ přívalové povodně na Kladensku v povodí Dolanského potoka. Procedury FFG-CZ ohodnotily polygon 3 x 3 km v jádru srážek nejvyšším stupněm 3, tedy extrémním rizikem vzniku přívalové povodně. Pramenná povodí Dolanského potoka byla ohodnocena (pouze) stupněm 2, a to zejména z toho důvodu, že obě povodí jsou poměrně rozlehlá a protáhlá a jádro přívalové srážky zasáhlo pouze jejich část.



Obr. 13. Plošné rozložení srážkového úhrnu 9. 6. 2013 na Šluknovasku dle adjustovaného radaru a odhad rizika přívalové povodně (vpravo gridy 3x3 km, vlevo jednotlivá pramenná povodí).
Fig. 13. Areal Distribution of Precipitation with Indication of risk in Affected Polygons (left) and Catchments.



Obr. 14. Plošné rozložení srážkového úhrnu 9. 6. 2013 na Lopenicku dle adjustovaného radaru a odhad rizika přívalové povodně (vpravo gridy 3x3 km, vlevo pro jednotlivá pramenná povodí).
Fig. 14. Areal Distribution of Precipitation with Indication of risk in Affected Polygons (left) and Catchments.

Také přívalové povodně na Šluknovsku a Lopenicku (při kterých suma srážek z adjustovaného radaru odpovídala realitě) byly podchyceny velmi dobře. Jak polygony, tak pramenná povodí, které se nacházely v jádru přívalové srážky, byly ohodnoceny nejvyšším třetím stupněm rizika možnosti vzniku přívalové povodně.

Shrnutí a diskuze

Na základě hodnocení testovacího provozu v letech 2010 až 2015 lze konstatovat, že je zcela zásadní zabezpečit bezproblémový provoz celého systému procedur na výkonném počítači. Další velmi důležitou věcí jsou důvěryhodná vstupní data, a proto je nutné provádět důslednou kontrolu dat ze srážkoměrů a pokračovat v rozvoji metod adjustace radarových dat, jejichž současná podoba může někdy vést k relativně značnému podhodnocení (v poslední době spíše naopak k nadhodnocení) i velmi významných přívalových srážek. Právě v letošním roce probíhá výměna radarů Brdy a Skalky a je jistá naděje, že po dokončení instalace nových radarů budou větší možnosti filtrování různých falešných odrazů (wi-fi, větrné elektrárny, second trip echo), které v současné době způsobují poměrně velké problémy. Jistě se bude také během následujícího období dolaďovat (korigovat) koeficient adjustace surových radarových dat.
Velmi důležitá je také volba počátečních podmínek nasycenosti území, která má velký vliv na další vývoj hodnot nasycenosti v průběhu roku, a proto z hlediska větší spolehlivosti detekce rizika přívalové povodně je vhodné volit počáteční podmínky stavu nasycenosti na základě důkladné analýzy vyplývající z měření půdní vlhkosti.
Je potřeba brát zřetel také na to, že systém FFG-CZ nemůže adekvátně reagovat na dočasné změny v hospodaření v krajině, které jsou typické zejména pro využívání zemědělských pozemků, kde infiltrační schopnosti půdního povrchu značně závisejí na způsobu obhospodařování a druhu pěstované plodiny.

Závěr a doporučení

Pro vyhodnocení lokálních povodní (zejména přívalového charakteru) na menších nepozorovaných povodích jsou srážkoměrná pozorování ve spojení s měřením meteorologického radaru naprosto nepostradatelnými podklady. Je proto nutné dále rozvíjet síť pozemních srážkoměrných stanic a metody odvození srážkového pole na podkladě radarových dat. K podhodnocení radarové sumy srážek může docházet z mnoha důvodů, např. už samotnou vzdáleností od meteorologického radaru, zastíněním paprsků radaru okolními bouřkovými jádry. Je zřejmé, že právě vstupní srážka je naprosto klíčovým údajem ovlivňujícím správnost velikosti odvozeného průtoku. U přívalových srážek je velmi těžké posoudit kvalitu naměřených úhrnů ve srážkoměrných stanicích. Často jsou srážkou zasažená pouze velmi malá území, kdy sousední srážkoměry vykazují velmi rozdílné hodnoty, což neumožňuje dostatečně přesně korigovat radarová data a odvodit korektní srážku, která by do modelu vstupovala a odpovídala reálné situaci.
Radarové pozorování bylo korigováno pozemními stanicemi ve dvou variantách, proto i průtoky ve vybraných povodích byly odvozeny ve dvou variantách. Vzhledem k výše uvedeným faktorům ovlivňujícím odvození průběhu srážky dochází i k rozdílným výsledkům u průtoků, přičemž průběh hydrogramu je těsně spjatý s průběhem vstupní srážky. Z dosažených výsledků není možné určit, která varianta srážek by z celkového hlediska byla vhodnější pro odvozování průtoků srážkoodtokovým modelem. Záleží také na prostorovém rozložení srážkoměrů vůči spadlé přívalové srážce. Na velikost a časový průběh odvozených průtoků má výrazný vliv také to, jak podrobně (a pokud možno v souladu s prostorovým rozložením vstupní srážky) je v modelu rozděleno zasažené území na jednotlivá dílčí subpovodí.
Po výskytu přívalových povodní na nepozorovaných povodích je nezbytné po opadnutí vody provést fotodokumentaci, zaměřit stopy maximální hladiny a u místních obyvatel zjistit informace o přibližném časovém průběhu povodně, příp. zjistit srážkoměrná pozorování mimo oficiální síť srážkoměrů ČHMÚ. Tyto údaje jsou neocenitelnými zdroji při dalším zpracování a vyhodnocování přívalových povodní. Při vyhodnocení jednotlivých událostí bylo ve velké míře čerpáno z internetových zdrojů (oficiální stránky obcí, regionální deníky, videoservery). Podrobný seznam použitých zdrojů je uvedený v souhrnné zprávě o červnové povodni publikované na stránkách ČHMÚ.
Z hlediska procedur FFG-CZ je do budoucna v plánu přepracovat podobu webových stránek s využitím ArcGIS Server do podoby interaktivní mapové aplikace, kde bude možnost zobrazovat území, ve kterém došlo k aktuálnímu překročení rizikových srážek, případně území, kde bylo detekováno aktuální riziko přívalové povodně a poskytovat potřebné výstupy pro mobilní aplikace. Pokud se týká možností plného zapracování výstupů ze systému FFG-CZ do varovného systému HPPS ČHMÚ, je nutné mít na zřeteli, že čas potřebný k vlastnímu zpracování napozorovaných dat, stanovení odhadu eventuálního rizika a aktualizaci webových stránek je v řádu 15 až 20 minut, což je pro případy opravdu lokálních povodní (kdy jsou zasaženy plochy s rozlohou do 5 km^2) poměrně dlouhý interval. Navíc hodnoty potenciálních rizikových srážek mohou být vzhledem k místním podmínkám i výrazně nižší, a to zvláště na povodích s významným podílem zemědělsky obhospodařovaných pozemků, kde dochází ke změnám infiltračních podmínek v závislosti na druhu aktuálně pěstovaných plodin.

Literatura

ČHMÚ (2013): Vyhodnocení povodní v červnu 2013. Hydrologický průběh povodní. Dílčí zpráva. Dostupné z: http://voda.chmi.cz/pov13/DilciZprava_DU_1_2_Hydrologie.pdf.

Danhelka, J., a kol. (2015): Možnosti predikce přívalových povodní v podmínkách české republiky. In: Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu. Svazek 60, 50 s, Praha.
Haiden, a kol. (2011): The Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA) System and Its Validation over the Eastern Alpine Region. In: Weather and Forecasting. Volume 26, Issue 2, 166-183.
Pecha, M.,Tyl, R. (2014): Odvození průběhu přívalových povodní v červnu 2013 na nepozorovaných povodích. In: Hydrologie malého povodí 2014. Praha.
Šálek, M. (2011): Kombinace údajů meteorologických radiolokátorů a srážkoměrů pro odhad srážek. Doktorská disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny.
Šercl, P. (2004): Projekt QD1368 Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní. Postup odvození fyzicko-geografických charakteristik povodí v GIS a parametrů srážkoodtokového modelu HEC-HMS. Uživatelský manuál. ČHMÚ, Praha.
Tyl, R., Pecha, M. (2014): Využití srážkoodtokového modelu při přívalových povodních v červnu 2013. Vodní hospodářství, ročník 64, číslo 7. Praha.
USACE (2000): Hydrologic modeling system HEC-HMS. Technical reference manual. Davis, CA.
USACE (2003): Geospatial hydrologic modeling extension HEC-GeoHMS. User's manual. Davis, CA.

EVALUATION OF FLASH FLOODS IN JUNE 2013 IN UNGAUGED BASINS AND THE DEVELOPMENT OF A TESTING APLICATION FFG-CZ (FLASH FLOODS INDICATOR).

Since torrential rainfall and thunderstorms often hit small areas, the relevant events are not mostly recorded by measuring equipment of the Czech Hydrometeorological Institute station network (precipitation gauges, water gauges). It is then necessary to estimate the flood development and peak using other available sources and tools, such as weather radar precipitation estimates to determine a detailed time-course of precipitation and rainfall-runoff models in order to derive the hydrograph. In our case, the HEC-HMS deterministic event-based rainfall-runoff model of the Hydrologic Engineering Center of USACE (US Army Corps of Engineers) was used to simulate the direct runoff in the catchment area based on an input time series of precipitation and initial soil saturation. To determine the volume of direct runoff, the Curve Number Method was used, and to transform the runoff, the method of Clark Unit. Hydrograph was used, where its parameters were estimated from the physical-geographic characteristics of the catchment area. Precipitation data entered into the model in 15-min time steps as a combination of radar precipitation estimates and precipitation from ground observations in two variants:

Variant 1 − combination of data from all available ground rain gauge stations and precipitation estimates from weather radar measurement, including data from weather radars of the surrounding countries.

Variant 2 − combination of data from selected approx. 160 rain gauge stations and precipitation estimates from the Skalky and Praha (Brdy) radars, using the so-called MERGE method

By rainfall-runoff modelling, we evaluated several areas that were significantly affected by torrential rains and where flash floods were reported and documented. It is not possible to exclude that peak flows and floods of the same or even greater importance could occur at some other locations but remained unreported. The flow rates were derived using both variants of input precipitation. It is understandable that more accurate estimates of the rainfall distribution and thus probably also a more accurate estimate of the runoff response should be provided by Variant 1 outputs, where all the rain gauge observations and radar data from the neighbouring countries were used. The last section shortly summarizes the results of the research project. It deals with current capabilities of a determination of the risk of origin of flash floods. This is based on the fact that more accurate prediction of torrential rain localization and thus the flash floods is very difficult. However, it is possible to identify areas where the occurrence of intense rainfall due to the physical-geographical characteristics and previous saturation means greater risk of flash floods. Estimates of precipitation using weather radar adjusted on the basis of ground observations and nowcasting methods can be used to detect the current risk of flash floods. For this purpose it is possible to use simple available methods for rainfall-runoff modelling (CN method, the unit hydrograph) and to use the data of antecedent saturation together with the physical-geographical characteristics of a watershed. The system of procedures (FFG-CZ) was developed, which contains and tries to solve the issues outlined above, using GIS tools. The trial operation of this system was started up in June 2010 at the Central Forecasting Office of the Czech Hydrometeorological Institute. Its main outputs are the current saturation, the potential risk precipitation of given duration (outputs are available on the Czech Hydrometeorological Institute Flood Forecasting Service website) and estimate the risk of flash floods occurrence within a given territory. Currently, the third tool is intensively tested (on selected flood events from the period 2010–2014 and some from June of 2013 are shortly presented) and developed. In the last section several flash floods from June 2013 were introduced and they were evaluated from the perspective of the system of procedures FFG-CZ.

Informace o autorovi:
Mgr. Martin Pecha
Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4 – Komořany
Tel.: +420244032325 E-mail: martin.pecha@chmi.cz