MOŽNOSTI PREDPOVEDE PRÍVALOVÝCH POVODNÍ NA ZÁKLADE PREDPOVEDE PRÍVALOVÝCH DAŽĎOV

Michal Hazlinger[1], Marcel Zvolenský [2]

Abstrakt

Prívalové povodne možno zaradiť medzi prírodné hrozby, ktorých výskyt a intenzita sú veľmi ťažko predpovedateľné aj dokumentovateľné. Možnosť vzniku prívalových povodní je totiž priamo závislá od výskytu vstupného faktora v podobe inej prírodnej hrozby - prívalového dažďa. Napriek používaniu meteorologických predpovedných modelov ako je systém INCA a dištančných spôsobov sledovania vývoja meteorologických prvkov, možno s istotou predpovedať iba meteorologické podmienky vedúce k vzniku búrkovej činnosti, ale už nie presnú lokalitu a intenzitu výskytu tohto javu. Presnú lokalizáciu aj intenzitu nám umožňuje určiť sledovanie pohybu zrážkovej činnosti pomocou meteorologického radaru. Táto metodika však neumožňuje dlhodobú predpoveď a dáva priestor iba na hydrologickú výstrahu s krátkym časovým úsekom nástupu platnosti.

Komplikovanosť predpovede prívalových povodní zvyšuje aj prítomnosť druhého faktora – citlivosti povodí na prívalové zrážky spolu s okamžitou retenčnou kapacitou povodia spojenou s predchádzajúcim dažďom. Citlivosť povodia je podmienená súborom vlastností povodia od vlastností prírodného prostredia až po zásahy do krajiny podmienené činnosťou človeka.

V príspevku sa snažíme charakterizovať možnosti predpovede prívalových zrážok a identifikovať oblasti najviac ohrozené prívalovými zrážkami na základe vlastností jednotlivých povodí.

Kľúčové slová: prívalové zrážky, prívalová povodeň, nowcasting, INCA -CE

1. Úvod

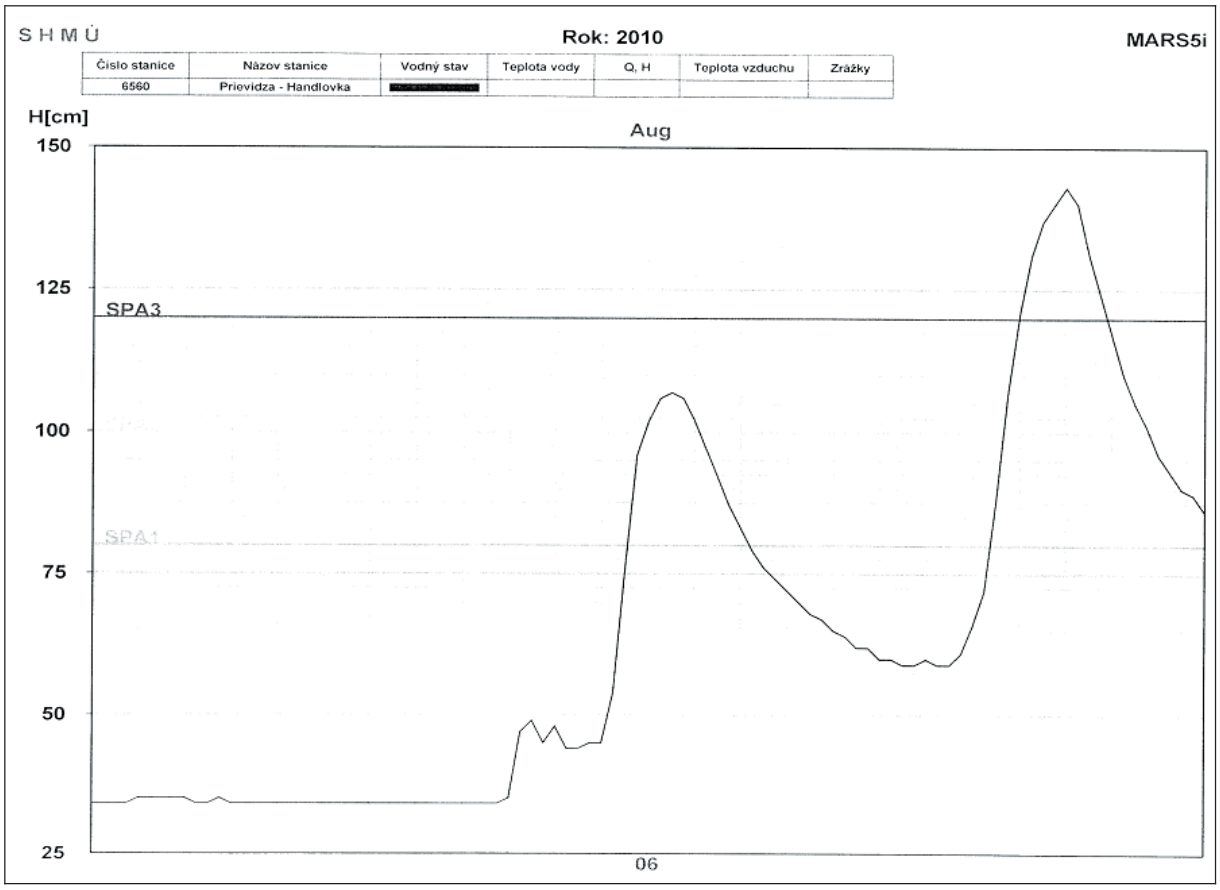
Každoročne nás príroda poučuje o svojej nevyspytateľnosti a sile prostredníctvom rôznych prírodných hrozieb. Povodeň patrí medzi prírodné javy, pred ktorými sa dá utiecť aj sa do istej miery chrániť, v prípade dobre fungujúcej predpovednej hydrologickej služby. Prívalové povodne sú však veľmi ťažko predpovedateľným druhom povodne. Kvôli svojej ťažkej predpovedateľnosti a rýchlemu priebehu sú to práve prívalové povodne, ktoré si ročne vyžiadajú v našich končinách najviac obetí na ľudských životoch, čo nám dokazuje aj nedávny príklad z Liberecka.

Je teda prirodzené, že je snahou hydrologickej a meteorologickej predpovednej služby vyvinúť nástroje, ktoré nám umožnia lepšiu predpovedateľnosť intenzity a lokality výskytu prívalových zrážok a následne nám umožnia predpovedať aj možnosť výskytu a potenciálnu intenzitu prívalovej povodne.

2. Prívalové zrážky a prívalové povodne

Prívalový dážď sa dá najjednoduchšie definovať ako dážď veľkej intenzity, krátkeho trvania a malého plošného rozsahu. Na stanovenie toho, či ide o prívalový dážď neexistujú jednotné kritériá, všeobecne sa však udáva intenzita 10 – 80 mm v priebehu max. 180 minút. [2].

V nadväznosti na túto definíciu prívalového dažďa je potom prívalová povodeň povodňou zapríčinenou prívalovým dažďom [4], s veľmi rýchlym vývojom, kedy v priebehu niekoľkých desiatok minút, prípadne niekoľko mála hodín dochádza k výraznému vzostupu vodných hladín a vzápätí aj k ich výraznému poklesu [4]. Hydrogram typický pre prívalovú povodeň je na Obr. 1.



Obr.1: Hydrogram prívalovej povodne – Prievidza – Handlovka (6. 8. 2010).

Nebezpečenstvo prívalových povodní spočíva vo viacerých faktoroch. Škody spôsobuje nielen samotná masa prúdiacej vody a účinky zatopenia, ale aj dynamika prúdiacej vody, ktorá býva práve pri prívalových povodniach značná. S veľkou dynamikou priamo súvisí aj malá možnosť predpovede a krátka doba nástupu povodne.

Prívalové zrážky bývajú zväčša spojené s výskytom búrkových situácií v letnom období. Konvekciu, a s ňou spojené búrky, spôsobuje rozdielne zahrievanie zemského povrchu, výstupné prúdy na orografických prekážkach alebo strih vetra. Dochádza k nej aj na studených frontoch, kedy je konvekcia zapríčinená vytláčaním ľahšieho teplého vzduchu chladnejším studeným [4]. V našich podmienkach sú prívalové povodne spravidla spôsobené zrážkami veľkej intenzity s úhrnmi často nad 100 mm v priebehu jednej až troch hodín. V roku 1998 bola prívalová povodeň v povodí Malej Svinky spôsobená zrážkami, ktorých intenzita dosahovala 3 $mm.min^{-1}$ a celkové zrážkové úhrny dosahovali 60 – 100 mm, pričom priemerná intenzita dažďa počas celej zrážkovej udalosti bola asi 50 $mm.h^{-1}$ [8]. Keďže takéto množstvo zrážok málokedy vypadne z jednej búrky, sú prívalové zrážky podmienené javom nazývaným „train effect“, čo je líniové zoskupenie búrok a ich postup cez približne rovnaké územie.

Vznik prívalových povodní je okrem zrážok podmienený aj ďalšími faktormi. Najväčší vplyv majú georeliéf a vlastnosti krajiny, spolu s nasýtenosťou povodia predchádzajúcou zrážkovou činnosťou (IPZ – Index predchádzajúcich zrážok). Prívalové povodne sa najčastejšie vyskytujú v oblastiach s väčším sklonom reliéfu. Väčší sklon nielen zvyšuje rýchlosť koncentrácie zrážok, ale aj znižuje retenčný potenciál krajiny. Z vlastností krajiny majú najväčší vplyv infiltračné a drenážne vlastnosti pôd a substrátu a retenčné vlastnosti krajinnej pokrývky [6]. Pri extrémnej intenzite zrážok a väčšom sklone povodia však vlastnosti povodia ustupujú do pozadia kvôli extrémne rýchlemu odtoku vody z povodia do recipientu.

Na základe vyššie spomenutého by sa dali za najcitlivejšie oblasti označiť flyšové oblasti karpatského oblúka. Je to však príliš veľké zovšeobecnenie, keďže napríklad v roku 1998 sa vyskytlo viacero prívalových povodní aj v povodiach na úpätiach Malých Karpát, čo je pohorie tvorené prevažne kryštalinikom [1]. V podstate by sa teda dalo povedať, že jednotné kritérium na určenie citlivejšej oblasti neexistuje a určenie najviac zraniteľných oblastí bude jednou z úloh projektu INCA – CE, ktorý spomíname nižšie.

3. Predpovede prívalových zrážok a prívalových povodní

Všeobecne platí tvrdenie, že čím je meteorologický jav kratší a na čím menšej ploche sa vyskytne, tým je ťažšie predpovedateľný. Keďže je životnosť konvektívnych buniek len rádovo desiatky minút, či niekoľko hodín a ich priestorový dosah je v rádoch kilometrov, patria medzi najťažšie predpovedateľné meteorologické javy [4]. Meteorologické modely síce dokážu predpovedať miesta s výskytom „optimálnych“ podmienok na vznik konvencie a prívalových zrážok, ale nedokážu určiť presnú lokalitu výskytu ani intenzitu, či úhrn zrážok. Pri predpovedí búrok sa dá použiť viacero parametrov ako sú napríklad CAPE (Convective Available Potential Energy), či KO Index, popisujúce potenciál atmosféry na vznik vertikálnych pohybov konvektívneho typu. Tieto indexy sú však časovo a priestorovo veľmi premenlivé a nedokážeme na základe nich určiť presnú lokalitu vzniku búrkovej činnosti. Východiskom pri trasovaní pohybu vznikajúcich a existujúcich búrok sú metódy nowcastingu, ako je napríklad ďalej popisovaný systém INCA.

Úspešnosť predpovede prívalových povodní priamo úmerne závisí od úspešnosti predpovede prívalových dažďov. Hydrológ však musí pracovať s dvojitou mierou neistoty, kedy je okrem výskytu prívalových zrážok neistá aj konkrétna reakcia zasiahnutého povodia. Značnú úlohu tu zohráva aj nasýtenosť povodia predchádzajúcou zrážkovou činnosťou, či presný rozsah lokality zasiahnutej zrážkovou činnosťou. Čím viac údajov o priestorovom rozšírení a intenzite zrážok má hydrológ k dispozícii, tým presnejšiu predpoveď prívalovej povodne dokáže vytvoriť. Problém pri prívalových zrážkach však spôsobuje často aj fakt, že zrážkomerné stanice nemusia byť zrážkami zasiahnuté a jedinou informáciou o aktuálnom stave zrážkového poľa sú radarové merania.

4. Hydrologické modelovanie a možnosť použitia hydrologických modelov pri predikcii prívalových povodní

Hydrologické modelovanie prináša dobré výsledky pri simulovaní odtoku vody z povodia pri dlho trvajúcich zrážkach. Pri prívalových zrážkach sa však znižuje vplyv primárneho retenčného potenciálu povodia a stúpa vplyv svahovitosti reliéfu spolu s výskytom útvarov spomaľujúcich odtok vody z povodia (priehradky, poldery atď.). Následkom tohto je oslabená možnosť uspokojujúcej simulácie odtoku, keďže väčšina komplexných komerčných hydrologických modelov je nastavená na určitý retenčný potenciál krajiny na základe jej pokryvu a využitia. Východiskom je použitie špeciálne upravených hydrologických modelov, prípadne špeciálnych modelov určených práve na simulovanie odtoku z povodia pri prívalových zrážkach.

V rámci riešenia projektu HYDRATE boli autormi z jednotlivých krajín vrátane SR používané hydrologické modely na spätnú simuláciu odtoku vody z koryta [3]. Bola použitá kombinácia metódy CSN kriviek a modulu prerátavajúceho odtok vody zo svahov a v riečnych korytách na základe aproximácie kynetickej vlny [3].

Iný prístup predstavuje použitie konceptuálneho modelu sústavy lineárnych nádrží [5]. V tomto prípade bolo potrebné výrazne upravovať niektoré parametre vstupujúce do modelu a aj napriek tomu neboli výsledku na požadovanej úrovni kvality.

5. INCA (Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis)

Nowcastingový systém INCA je vyvíjaný v rakúskom stredisku ZAMG (ZentralAnstalt fur Meteorologie und Geodynamik) od roku 2006. Od roku 2007 je do vývoja systému zapojený aj SHMÚ. Hlavným cieľom tohto systému je zlepšenie krátkodobej predpovede počasia (0-6 h). Systém pracuje s veľkým vertikálnym (200 m) aj horizontálnym rozlíšením (1x1 km) a s malým časovým krokom, čo je nutné kvôli zložitosti a dobrej rozlíšiteľnosti procesov v atmosfére [7].

INCA je modulárny systém a jeho špecifickou vlastnosťou je, že okrem nameraných údajov berie do úvahy aj výstupy z numerického modelu ALADIN. Analyzuje a predpovedá meteorologické polia teploty (3D), atmosferických zrážok (2D), vetra (3D), vlhkosti (3D), oblačnosti (2D) a globálneho žiarenia (2D). Snahou systému INCA je použiť pri analýze aktuálneho stavu všetky momentálne dostupné údaje nielen z automatických meteorologických a hydrologických staníc, radarov, družíc ale aj napr. zo systému na detekciu bleskov SAFIR.

Do analýzy a predpovede poľa atmosférických zrážok vstupujú údaje z 30 profesionálnych meteorologických staníc (AWS), 74 automatických zrážkomerných staníc APS, približne 200 hydrologických staníc MARS5i (AHS), z 2 meteorologických radarov a spolu s nimi aj vyššie spomenuté produkty numerických modelov ALADIN. Analýza atmosférických zrážok je vykonaná zlúčením interpolovaného poľa staničných a radarových údajov. Údaje mimo Slovenskej republiky nám zabezpečujú iba radarové pozorovania spolu s minimálnou interpoláciou zrážok [7]. Pred samotnou analýzou je potrebná kontrola dát kvôli vylúčení chybných meraní z automatických staníc.

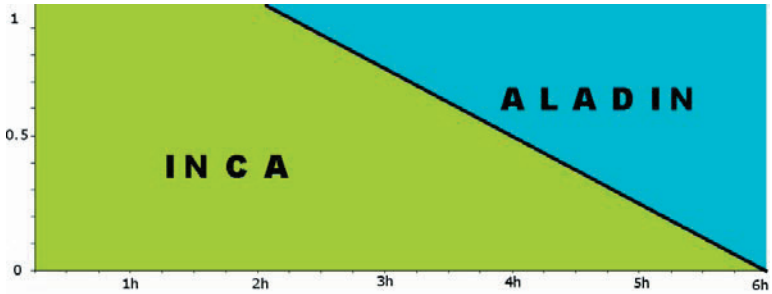
Keďže staničná sieť nie je kompatibilná s pravidelnou sieťou 1*1 km, s ktorou pracuje INCA, musia byť merania nainterpolované do siete pomocou metódy váhovania inverznou vzdialenosťou (IDW - inverse distance weighting). Zrážkové polia získané radarovým meraním netreba interpolovať do siete, ale aj tu sa vyskytujú nepresnosti spôsobené závislosťou radarovej odrazivosti od aktuálneho stavu atmosféry a vzdialenosti od radaru.

Zlúčenie polí atmosférických zrážok $P^{STAT}(i,j)$ a radarov $P^{**RAD}(i,j)$ do výsledného poľa $P^{INCA}(i,j)$ je zabezpečené pomocou váhovej funkcie „v“.

$$P^{INCA}(i,j) = (1-v)P^{STAT}(i,j) + vP^{**RAD}(i,j) \tag{1}$$

$$v(i,j) = 1 - \exp\left(-\left(C\frac{P^{**RAD}(i,j) - P^{**RADSTAT}(i,j)}{\max\left(P^{**RADSTAT}(i,j), 0.1\right)}\right)^2\right) \quad , \ C=2$$

Predpovede atmosférických zrážok v modeli INCA pozostávajú z extrapolácie pozorovaní z predchádzajúcich 4 analýz zrážkových polí a predpovedi modelu ALADIN. Na extrapoláciu pozorovaní bolo testovaných niekoľko rôznych druhov vektorov. Prechod medzi extrapolovanými meraniami a numerickou predpoveďou je zabezpečený pomocou váhovej funkcie znázornenej na Obr. 2.



Obr. 2: Váhová funkcia použitá systémom INCA pri predpovedi na 6 h, zdroj Nestiak, 2007 [7].

Ako aj z obrázku vyplýva, systém INCA dáva v prvých hodinách lepšie predpovede ako numerický model. Potom už jeho váha klesá až k hraničnej hodnote šiestich hodín. Vzhľadom k plánovanému požitiu systému INCA (detekcia a predpoveď prívalových zrážok) sú 2 hodiny postačujúci čas s ohľadom na rýchlosť vývoja konvektívnej oblačnosti a zrážkových jadier.

6. INCA-CE

Systém INCA je hlavným pracovným nástrojom pri realizovaní projektu INCA-CE (CE-Central Europe). Hlavným cieľom tohto projektu je minimalizovať škody spôsobené prírodnými silami založenými na vplyve počasia ako sú povodne, búrky, či suchá. Vďaka tomuto projektu sa systém, pôvodne určený len ako pomocný nástroj pre krátkodobú predpoveď počasia pre presnú lokalitu, stane aj zdrojom vstupných údajov pre systém hydrologických výstrah a následne aj pre systém civilnej ochrany a pomôže tak priamo zachraňovať ľudské životy a majetok.
Do realizácie projektu INCA-CE je zapojených 16 projektových partnerov z 8 stredoeurópskych krajín. Okrem hydrometeorologických servisov a vývojových stredísk sa partnermi stali aj inštitúcie zastupujúce civilnú ochranu a správu ciest jednotlivých krajín, čo by malo zabezpečiť priame praktické využitie výsledkov projektu. Projekt odštartoval v roku 2010 a trvať by mal do roku 2013.
Slovensko je na projekte zastúpené SHMÚ a ministerstvom vnútra (civilnou ochranou). Úlohou SHMÚ bude vyvinúť nástroje, ktoré budú slúžiť najmä na krátkodobú predpoveď prívalových zrážok a na ne nadväzujúcich prívalových povodní. Dané nástroje budú priamo napojené na systém hydrologických výstrah. V tomto systéme sú aj v súčasnosti zahrnuté výstrahy na prívalové povodne. Tieto výstrahy sú však vydávané len na základe meteorologických výstrah na búrky a na základe znalosti empirickej citlivosti jednotlivých oblastí na prívalové povodne. Cieľom projektu INCA-CE bude tento systém vydávania výstrahy zautomatizovať pomocou jednoduchých hydrologických modelov.
Bližšie informácie o projekte INCA-CE sú dostupné na stránke http://www.inca-ce.eu

7. Záver

Na detekciu a predpoveď prívalových zrážok, a za nimi nasledujúcich prívalových povodní, bolo za ostatné roky vyvinutých viacero nástrojov. Z oblasti meteorológie sú to zdokonaľujúce sa meteorologické numerické modely typu ALADIN, ktoré dokážu predpovedať podmienky vhodné na tvorbu konvektívnych zrážok. Na presné trasovanie a odhad intenzity prívalových zrážok slúžia systémy nowcastingu. Na Slovensku sa používa systém INCA, ktorý bude vo svojej finálnej verzii schopný presnejšie odhadnúť vývoj konvektívnej oblačnosti a s ňou spojenej intenzívnej zrážkovej činnosti v časovom horizonte 0 až 6 h.
V oblasti hydrológie je veľa práce sústredenej do napĺňania cieľov projektu INCA – CE. V prvom rade to bude presné určenie oblastí náchylných na tvorbu prívalových povodní pri intenzívnej zrážkovej činnosti. Druhá fáza práce už bude priamo napojená na produkty systému INCA pomocou jednoduchých zrážkovo odtokových modelov, kde bude dôraz kladený na svahovitosť terénu a rýchlosť odtekania vody na úkor retenčných vlastností povodia, ktoré sú samotným charakterom tvorby odtoku z prívalových zrážok zatláčané do pozadia.

Poďakovanie
Táto práca bola podporovaná projektom INCA-CE, spolufinancovaným EÚ.

Literatúra

[1] ABAFFY, D., 2006. Povodne v Slovenskej republike v rokoch 1996 – 2005 a ich následky. In: *Vodohospodársky spravodajca, roč. XLIX, č. 3-4., s. 12-17.*

[2] BEDNÁŘ, J. a kol., 1993. Meteorologický slovník výkladový & terminologický. Academia, Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha.

[3] BORGA, M. (project coordinator), 2010. Post flood event analyses. Methods and case studies in post flood event data collection and analyses – project report. [V digitálnej forme].

[4] DAŇHELKA, J., – KUBÁT, J., 2009. Přívalové povodně na území České republiky v červnu a červenci 2009. MŽP ČR, ČHMÚ, Praha. ISBN 978-80-86690-75-9

[5] HEŘMANOVSKÝ, M., 1997. Srážko-odtokové modelování na malých povodích. Zborník súťažných prác mladých odborníkov (Bratislava, 14. 11. 2007). SHMÚ, Bratislava. *ISBN 978-80-88907-59-6.*

[6] MINÁR, J. – TRIZNA, M. – BARKA, I. – BONK, R., 2005. Povodňový potenciál na území Slovenska. Geografika Bratislava, Bratislava, 2005, ISBN 80-968146-5-6

[7] NEŠTIAK, M., 2007. INCA (Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis). Zborník súťažných prác mladých odborníkov (Bratislava, 14. 11. 2007). SHMÚ, Bratislava. ISBN 978-80-88907-59-6.

[8] NOVÁK, J. – ŠKODA, P., 2002. Povodeň na severovýchodnom Slovensku v júli 1998. In: *Zborník prác SHMÚ*, zv. 43. SHMÚ Bratislava, 1998, s. 12-24., ISBN80-88 907-05-5

[9] SINGH, V. P., 1995. Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications, Littleton, Colorado.186 pp.

[10] SUN, X. – MEIN, R. G. – KEENAN, T. D. – ELLIOTT, J. F., 2000. Flood estimation using radar and raingauge data. In: *Journal of Hydrology,* č. 239, pp 4–18.

Kontakty na autora

1 Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, e-mail: michal.hazlinger@shmu.sk,

2 Slovenský hydrometeorologický ústav, Žilina, e-mail: marcel.zvolenský@shmu.sk,