

PP v hydrologickej predpovednej službe

Eva Kopáčiková

1 Úvod

Podľa strategického dokumentu Medzinárodnej komisie na ochranu rieky Dunaj ICPDR (2018), ktorý analyzuje všetky publikované dokumenty týkajúce sa klimatickej zmeny v Dunajskom regióne, môžeme na našom území v budúcnosti očakávať okrem stáleho otepľovania a dosahovania nových teplotných rekordov aj posúvanie ročných období, predlžovanie leta a zmenu zrážkového režimu. S klimatickou zmenou bude podľa odborníkov, na našom území súvisieť najmä prehlbovanie extrémov a vyššia frekvencia výskytu extrémne intenzívnych zrážkových udalostí. Tento rok bude podľa klimatológov v súvislosti s celkovým padnutým objemom označený ako priemerný. V povedomí väčšiny obyvateľstva je však skôr považovaný za suchý. Dôvodom je už prebiehajúca zmena režimu zrážok, ktoré tento rok padali zriedka, v krátkych, ale intenzívnych epizódach. Aj podľa ICPDR by sme si na dlhé obdobia sucha prerušované intenzívnymi búrkami s krátkou dobou trvania mali na Slovensku čoraz viac zvykať. Na extrémny v počasí a najmä v zrážkovom režime je priamo napojená aj hydrologická odozva v tokoch. Takéto prognózy poukazujú na to, že sa na našom území môžu prehĺbiť problémy so suchom a škodami po prítalových povodniach (ďalej len PP). Tie patria podľa WMO (2016) medzi prírodné katastrofy, ktoré zapríčiňujú vo svete stratu viac ako 5000 životov ročne. Zároveň tvoria až 85% všetkých povodní. Podľa klimatológa J. Pecha (2018) môžeme na našom území v súvislosti s klimatickou zmenou pri uvažovaní pesimistickejších klimatických scenárov očakávať podnebie na aké sme zvyknutí z krajín okolo Stredozemného mora, kde spôsobujú PP každoročne obrovské škody. Gaume et al. (2009) analyzoval PP z celej Európy, ktoré sa vyskytli v rokoch 1946 až 2007. Pri porovnaní lokality ich výskytu konštatoval, že PP v Stredomorskej oblasti mali väčšiu intenzitu, dobu trvania a priestorové pokrytie ako tie v kontinentálnej časti Európy. Z pohľadu predpovednej a varovnej služby je tiež PP už kvôli podstate ich vzniku veľmi ťažké predpovedať. Hydrometeorologické ústavy a varovné služby po celom svete pristupujú k tejto problematike rôznymi spôsobmi. Kvôli rozdielnym fyzicko-geografickým a klimatickým charakteristikám každej krajiny, zodpovedné inštitúcie pristupujú inak k samotnej definícii PP, k spôsobu ich predpovedania ako aj varovania. Tento príspevok poskytne súhrn definícii PP, ich charakteristiky budú porovnané pomocou analýzy dvoch zrážkových situácií v povodí Myjavy a na záver poskytne prehľad o spôsobe ich predpovedania a varovania v rôznych krajinách sveta.

2 Definície prítalových povodní

V akademickej hydrológii je definícia prítalovej povodne pomerne jasná. Väčšina vedeckých článkov a inštitúcií ju definuje ako povodeň krátkeho trvania vysokej intenzity, ktorá väčšinou vzniká z konvektívnych zrážok na území malej rozlohy. Pre predpovednú a varovnú službu je však takáto definícia nedostatočná a príliš neurčitá. Ako napísal Borga et al. (2011), PP sú kvôli mechanizmu ich vzniku ťažko monitorovateľné a z pohľadu predpovede slabo preskúmané. Každá hydrometeorologická služba, vodohospodársky orgán, či vodárenská spoločnosť vníma tento problém individuálne. V tejto časti práce budú zhrnuté vybrané definície PP z pohľadu vedeckých, ale i odborných inštitúcií ako aj príčiny vzniku PP.

Medzinárodná asociácia hydrologických vied **IAHS** zadefinovala po sympóziu v Paríži 1974 PP ako: “Extrémna povodeň vyvolaná silnou statickou zrážkovou činnosťou”. “Vo všeobecnosti, búrky

vyvolávajúce PP vznikajú z lokálnej akumulácie zrážok presahujúcej 100 mm za niekoľko hodín a majú dopad na limitovanú plochu desiatok až stoviek kilometrov štvorcových.”

Vo výkladovom slovníku Svetovej meteorologickej organizácie **WMO** (2012) je PP vysvetlená ako „povodeň krátkeho trvania s relatívne vysokým kulminačným prietokom“. WMO (2016) ich ďalej špecifikuje podľa času vzniku od minút po hodiny podľa charakteru zasiahnutého regiónu.

Lin et al. (1999) za **UNESCO** definuje ako najvhodnejšie charakteristiky PP prívlastky „ostré a nepredvídateľné“, v anglickom origináli “Sharp and unexpected”. Ďalej sa v ich správe dodáva, že z hľadiska včasného varovania „by mohli byť PP definované ako tie, ktoré sa odohrávajú veľmi náhle a sú zvyčajne ťažko predpovedateľné, pretože ich trvanie po kulminácii je veľmi krátke a gradient vzostupu príliš veľký.“

Americká meteorologická spoločnosť **ASM** (2018) udáva nasledovnú definíciu: „PP je povodeň, vyvolaná rýchlym vzostupom vodnej hladiny v bystrinách, potokoch, riekach a iných vodných cestách, v obvykle suchých korytách alebo v mestských oblastiach, ktoré sú zvyčajne vyvolané intenzívnou zrážkovou činnosťou na relatívne malej ploche alebo stredne silnou či intenzívnou zrážkovou činnosťou na veľmi saturovanom alebo úplne nepriepustnom podloží, a ktoré zvyčajne vznikajú v priebehu minút až niekoľkých hodín od zrážkovej udalosti.“

Americká národná meteorologická služba **NWS** vo svojom výkladovom slovníku (web: NWS) uvádza definíciu: „Povodeň, ktorá prebehne počas niekoľkých hodín (zvyčajne menej ako 6 hodín) po silných alebo menej intenzívnych, neinfiltrovaných zrážkach, po poruche priehrady alebo hrádze alebo po náhlom uvoľnení vody zadržanej ľadovou zápchou“. Podobné definície používajú tiež v Austrálii (web: Victoria), v Európe (GWP, 2007) alebo Ázii (Hapuarachchi et al., 2011). Marchi et al. (2010) upresňuje, že v Európskych podmienkach platí zväčša trvanie prívalovej povodne rovnajúci sa ôsmim hodinám. O čosi špecifickejšiu definíciu, doplnenú o empirickú veličinu používajú Francúzi. Vo výkladovom slovníku (web: georisques) uvádzajú: „Záplavy z PP sú naviazané na svahovité povodia, pre ktoré je čas koncentrácie odtoku vo všeobecnosti nižší ako 12 hodín“.

Slovenská definícia podľa terminologického výkladového slovníka **MŽP SR** (Makel, 2002) udáva, že „prívalová povodeň je prietoková vlna krátkeho trvania s relatívne veľkým kulminačným prietokom, ktorá sa spravidla vyskytuje na menších tokoch“.

Vo všetkých vyššie uvedených definíciách, okrem jednej, je spomenuté, že prívalovú povodeň zapríčiňujú prívalové zrážky (ak neuvažujeme málo časté javy akými sú technické poruchy a ľadové bariéry). Len v jednej, od AMS, je uvedená aj možnosť vzniku PP za iných podmienok. Napríklad ak stredne silné zrážky dopadnú na vopred saturované podložie alebo je toto podložie úplne nepriepustné.

2.1 Hydrometeorologický jav

Ako píše Doswell (2015) PP sú jednoznačne výsledkom spojenia meteorologických a hydrologických okolností. Väčšinu definícií, ktoré vzťahujú PP len na intenzívne zrážky možno označiť za nedostatočné. V tejto časti budú bližšie špecifikované podmienky vzniku PP ako hydrometeorologického javu, na príklade analýzy dvoch podobných zrážkových udalostí v povodí Myjavy, z ktorých jedna spôsobila stúpnutie hladín v niektorých profiloch aj na 2. stupeň povodňovej aktivity (2. SPA) a druhá nespôsobila takmer žiadne zvýšenie vodných hladín.

Americký národný výskumný výbor NRC (2005) uvádza, že prívalové povodne sú následkom komplexnej interakcie meteorologických, hydrologických a hydraulických procesov v rozličných priestorových a časových škálach. Medzi príčinné meteorologické procesy uvádza: **trvanie zrážkovej udalosti, jej intenzitu, trvanie najvyššej intenzity dažďa a smer pohybu búrkovej činnosti**. Z meteorologického hľadiska vznikajú PP z individuálnych búrok na malých plochách do niekoľko desiatok km² alebo zo súboru búrok na väčšej ploche v stovkách km². NRC (2005) definuje ako hlavné podmienky pre vznik búrok vyvolávajúcich prívalové povodne: 1. výdatný a trvalý prísun vodných

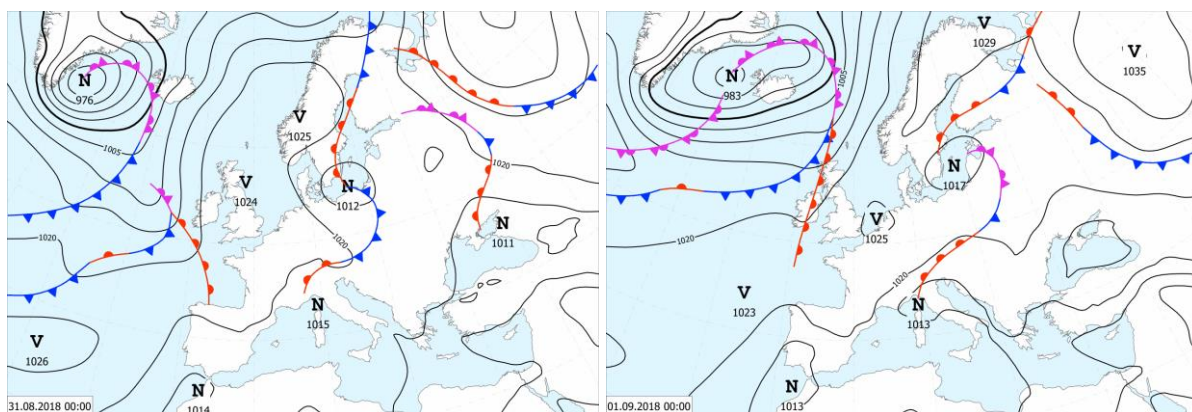
pár, 2. mechanizmus spôsobujúci zdvih vlhkej vzdušnej hmoty a 3. mechanizmus, ktorý spôsobuje, že zrážky padajú kontinuálne a opakovane na to isté územie. Najničivejšími sú pritom intenzívne búrky, ktoré sa pohybujú pomaly alebo sú stojaté alebo tie, ktoré sa opakovane tvoria alebo hýbu nad tým istým povodím či subpovodím, pričom rizikovým je najmä pohyb búrky od prameňa k uzáverovému profilu. Preto je z meteorologického hľadiska kľúčovým faktorom určiť nielen výskyt búrkovej činnosti, ale najmä jej intenzitu a smer pohybu (Davis, 2001 v Hardy, 2016).

Z hydrologického hľadiska vzniká prívalová povodeň z povrchového odtoku, teda z najrýchlejšej zložky celkového odtoku vody z povodia. Povrchový odtok vzniká za dvoch podmienok: 1. ak je prekročený koeficient infiltrácie pôdy, teda podložie absorbovať vodu nestíha alebo 2. ak je prekročená kapacita nasýtenia pôdy, teda povodie je vopred saturované a ďalšiu vodu absorbovať nedokáže. Obe príčiny sú úzko späté s **predošlými podmienkami na povodí, s typom pôdy a jej vlastnosťami, ale aj s využitím územia, typom vegetácie či stupňa urbanizácie**. Rýchlosť a ničivosť PP tiež úzko súvisí s **topografiou** povodia a **sklonom svahov**. Napríklad na strmom skalnatom podloží alebo v husto urbanizovaných oblastiach môže PP vyvolať aj relatívne nízky úhrn zrážok (Doswell, 2015). Vo všeobecnosti sa PP vyskytujú častejšie v mestách, keďže tu je väčšina plôch spevnených takmer nepriepustnými materiálmi (NRC, 2005).

2.2 Prívalové povodne v povodí Myjavy

Pri sérii konvektívnych zrážok na začiatku septembra tohto roka, ktoré sa prehнали celým naším územím bola odozva na tokoch v povodí Myjavy minimálna. Naproti tomu, v septembri roku 2014 spôsobili z hľadiska denných úhrnov podobné zrážky dosiahnutie druhých a tretích stupňov povodňovej aktivity na viacerých staniciach v dotknutom povodí. V tejto časti bude uvedený príklad ilustrujúci dôležitosť prepojenia meteorológie a hydrológie pri problematike prívalových povodní. Pre porovnanie dvoch vybraných situácií budem sledovať prvky vytýčené v NRC (2005) ako najdôležitejšie pre vznik PP, a to najprv z meteorologického a následne z hydrologického hľadiska.

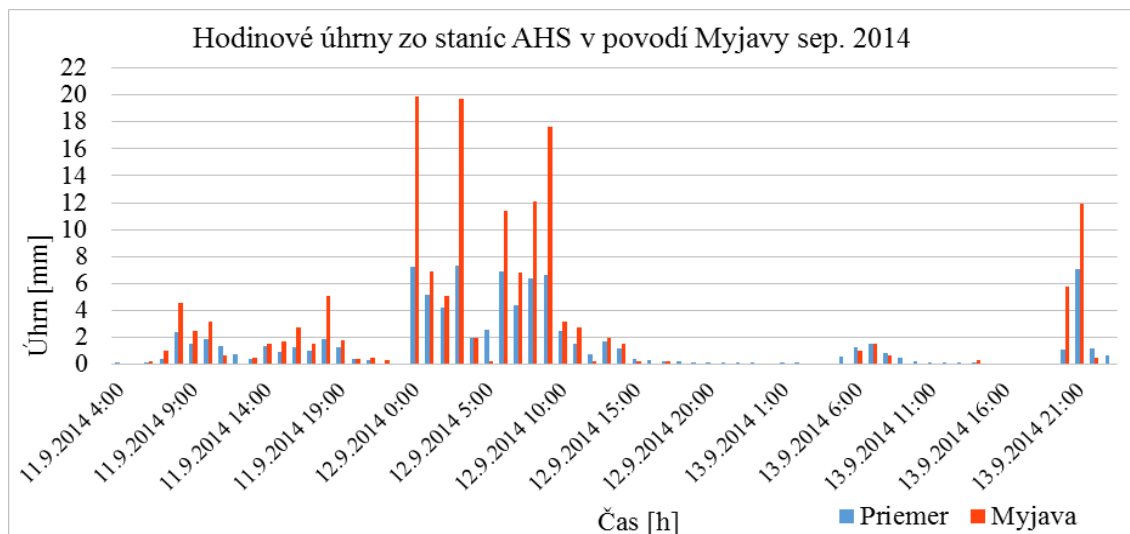
Podľa synoptickej situácie bol smer búrok v roku 2014 a 2018 (rok 2018 na Obr. 1) veľmi podobný. Studený front prichádzal spočiatku od severo-západu, priniesol prvú vlnu slabých zrážok a neskôr sa začal nad naším územím stáčať späť na západ až severo-západ. Nad povodím Myjavy prinášal zrážky len s malými prestávkami počas troch dní.



Obr.1: Synoptická situácia nad strednou Európou v dňoch 31.8.2018 naľavo a 1.9.2018 napravo.

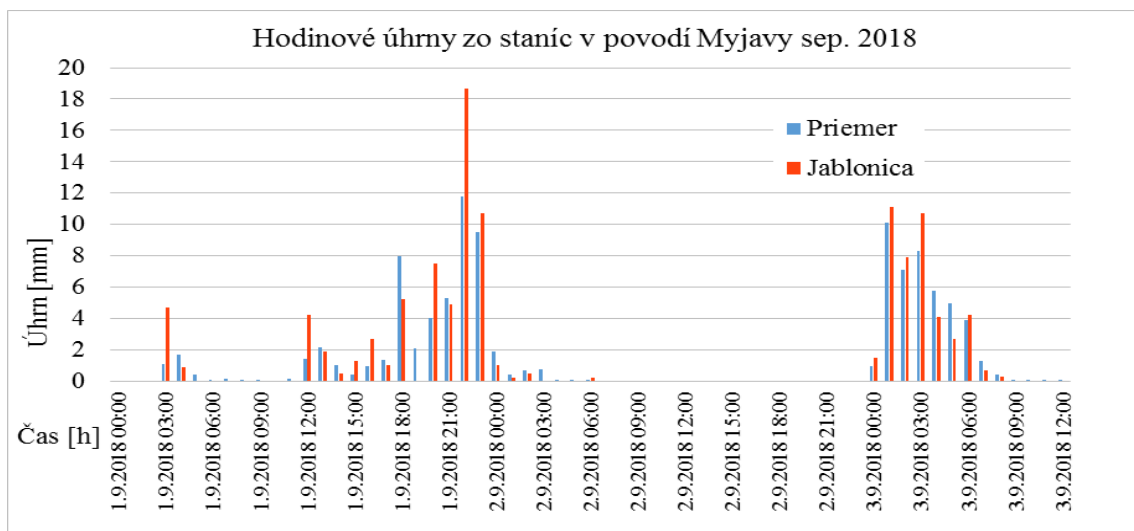
Pri oboch situáciách išlo o niekoľko zrážkových udalostí konvektívneho charakteru za sebou. V roku 2014 sa prvá vlna zrážok odohrala 11.9. od cca 7:00 a druhá sa začala 12.9. o polnoci. Obe udalosti trvali približne 19 hodín. Najvyšší hodinový úhrn bol podľa operatívnych údajov pri prvej situácii 5,1 mm, čo indikuje slabé zrážky, ktoré však v celkovom súčte vyústili v priemere zo všetkých dostupných staníc v povodí Myjavy do 17,6 mm za prvú zrážkovú udalosť. Druhá vlna zrážok bola omnoho intenzívnejšia. Priemerný celkový súčet zo staníc činil 61,5 mm (Obr. 2), pričom však na stanici Myjava bol nameraný od 12.9. 0:00 do 12.9. 19:00 úhrn až 111,7 mm. Maximálny hodinový

úhrn bol nameraný taktiež na stanici Myjava 19,9 mm. Maximálna intenzita dažďa bola pri tejto epizóde 11,3 mm/ 15 min. Trvanie zrážok podobnej intenzity bolo približne tri krát po jednej hodine.



Obr.2: Hodinové úhrny zrážok zo staníc AHS v povodí Myjavy. Modrou je zobrazený priemer zo všetkých dostupných staníc a červenou stanica Myjava v meste Myjava za september 2014.

V roku 2018 začala prvá zrážková činnosť 1.9. približne o 3:00 (Obr. 3), za nasledujúcich 15 hodín, do začiatku búrok, spadlo na povodie v priemere 10,8 mm zrážok. Počas búrky tu spadlo v priemere zo všetkých dostupných staníc 44,25 mm za 10 hodín, pričom bodovo najviac padlo na stanici Vrbovce, a to 54,4 mm. Maximálny hodinový úhrn bol zaznamenaný na stanici Jablonica 18,7 mm, trvanie zrážok s intenzitou viac ako 15 mm/h nebolo viac ako 1 hodinu na žiadnej zo staníc. Maximálna 15 minútová intenzita bola 10,8 mm, teda porovnateľná s rokom 2014. V roku 2018 nasledovala po spomenutých, aj ďalšia zrážková epizóda v trvaní približne 9 hodín s priemerným celkovým úhrnom 42,8 mm, čo bolo oproti roku 2018 značne viac. Ani tieto zrážky však nemali za následok stúpnutie hladín na SPA.



Obr.3: Hodinové úhrny zrážok zo staníc v povodí Myjavy. Modrou je zobrazený priemer zo všetkých dostupných staníc a červenou stanica Jablonica za september 2018.

Po hlbšej analýze zrážkovej činnosti vo vybraných situáciách je teda možné povedať, že zrážkové udalosti z roku 2014 a 2018 sa od seba značne líšia, a to najmä v ich plošnom prerozdelení. Dokazuje to aj rozdiel v hodnotách na Obr. 3 a Obr.4, pri znázornení priemeru povodia ku stanici s najvyššími

hodinovými úhrnmi (rok 2014-Myjava, rok 2018-Jablonica). Kým v roku 2014 pršalo najmä nad subpovodiím po stanicu Brestovec a Myjava, v roku 2018 boli na všetkých staniách zrážky rozložené rovnomernejšie. Rozdiel medzi situáciami sa prehľbuje, ak uvažíme aj celkový spadnutý úhrn za celú udalosť. Kým na stanici Myjava v roku 2014 spadlo za 34 hodín až 139,5 mm, v Jablonici roku 2018 bolo celkovo nameraných len 65,9 mm za 25 hodín. Súhrnné porovnanie zrážkovej činnosti v rokoch 2014 a 2018 podľa najdôležitejších príčinných procesov je uvedené v Tab. 1. Pridané sú stĺpce s prepočtom celkových spadnutých úhrnov zo staníc a z priemeru povodia za 24 hodín. Pomocou nich je zvýraznená dôležitosť sledovania malých priestorových plôch a čo najmenších časových intervalov.

Tab.1: Súhrn charakteristík dôležitých pre vznik PP za vybrané zrážkové udalosti.

Rok	Celk. trvanie zr. [h]	Najvyššia intenzita [mm/x min]	Trvanie najvyššej intenzity [h]	Smer pohybu zrážok	Celk. úhrn povodie [mm]	Celk. úhrn stanica [mm]	Prepočet za 24 h povodie	Prepočet za 24 h stanice	2.vlna povodie
2014	34	11.3 / 15 min	3h s pauzami	Z - SZ	78.5	139.5	55.41176	98.47059	10
2018	25	10.8 / 15 min	1h	Z - SZ	55.04	65.9	52.8384	63.264	42

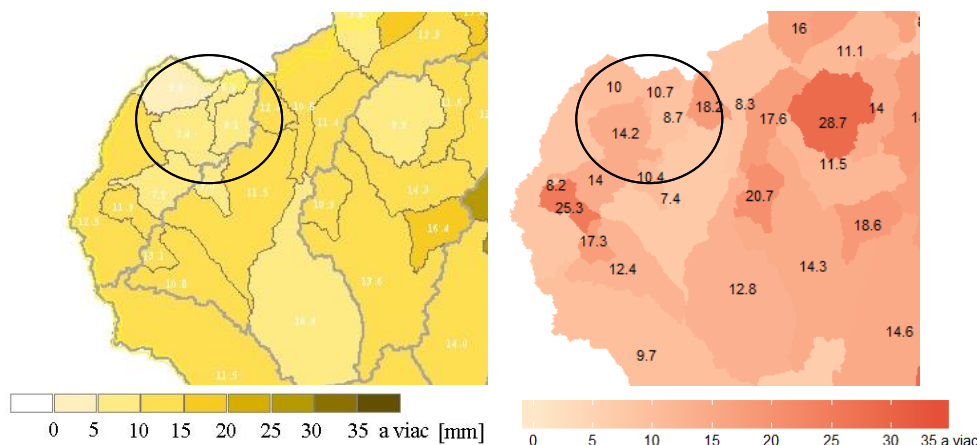
Z hydrologického hľadiska je väčšina dôležitých parametrov pre vznik prívalových povodní daná prírodnými podmienkami v dotknutej oblasti. Povodie Myjavy má celkovú plochu 806,36 km². Rieka Myjava má dĺžku 84 km, pramení pod Šibeničným vrchom (707,5 m n. m.) v Českej republike a ústi do rieky Morava ako jej ľavostranný prítok (web:myjava). Povodie sa nachádza väčšinou vo flyšovom a bradlovom pásme hornín a prevláda tu hlinitá až ílovito-hlinitá pôda, čo je z hľadiska infiltrácie zrážok nepriaznivé (MŽP, 2011). Slabo priepustné podložie spôsobuje, že väčšina prameňov podzemnej vody tu má veľmi rozkolísanú, malú výdatnosť. Len vrty na náplavom pásme medzi Osuským a Kuklovom, kde sa pod 8-12 m hrubou vrstvou ílov nachádzajú štrkopiesky, majú výdatnosť miestami až 10 či 12 l/s. Navyše v povodí prevládajú dubovo-bukové lesy, ktoré boli výrazne ovplyvnené antropogénnou činnosťou, čo spôsobuje plošnú a výmoľovú eróziu.

Keďže boli pre analýzu vybrané situácie z rovnakej oblasti a z rovnakého ročného obdobia, hydrologické faktory ako: typ pôdy, jej vlastnosti, ale aj využitie územia, typ vegetácie či stupeň urbanizácie môžeme uvažovať počas 4 rokov za nezmenený. Porovnávať je teda možné len predošlú nasýtenosť povodia a topografiu územia okolo najviac zasiahnutej zrážkomernej stanice. Nasýtenosť povodia sledujeme na hydroprognóze pomocou indexu predchádzajúcich zrážok (IPZ). Index je počítaný ako súčet padnutých denných úhrnov za posledných 10 dní, pričom má každý predchádzajúci deň menšiu váhu. IPZ sa počíta podľa vzorca:

$$IPZ = \sum_{i=1}^{10} Z_i * 0,9^i$$

,kde i je poradové číslo dňa od aktuálneho dátumu späť od 1 - ho až do 10 – ho dňa a Z_i je priemerný úhrn zrážok v povodí v príslušnom dni i.

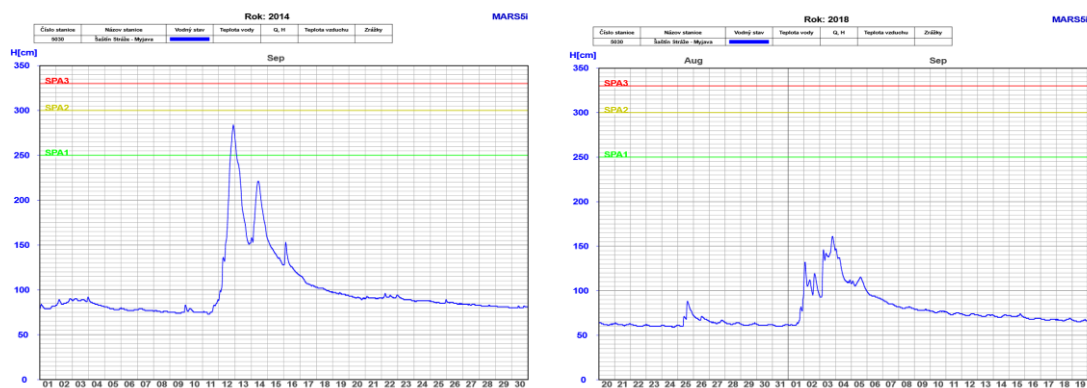
Na Obr. 4 sú znázornené IPZ pre príchodom frontu, ku 6:00. Z grafického znázornenia je možné vidieť, že v roku 2014 bolo pred príchodom frontu IPZ v povodí Myjavy od 6,5 po 9,6 a v roku 2018 bolo povodie o čosi nasýtenejšie. Pred prvou vlnou zrážok sa pohybovalo IPZ v hodnotách 8,7 až 14,2. Znamená to, že v oboch povodiach za predchádzajúcich 10 dní pršalo, povodie nebolo úplne vysušené. Takéto podmienky sa dajú označiť ako vhodné pre infiltráciu ďalších zrážok. Sklonitosť územia bola stanovená z digitálneho modelu terénu v GIS. Priemerný sklon subpovodia po profil Myjava, ktoré bolo najviac zasiahnuté zrážkami v roku 2014, bol stanovený na 11,54% a priemerný sklon medzipovodia od profilu Myjava po profil Jablonica, zasiahnuté v roku 2018 bol vypočítaný na 11,4%. Rozdiel v sklonitosti územia je teda možné vylúčiť. V oblasti taktiež neboli medzi rokmi 2014 a 2018 realizované žiadne významné protipovodňové opatrenia.

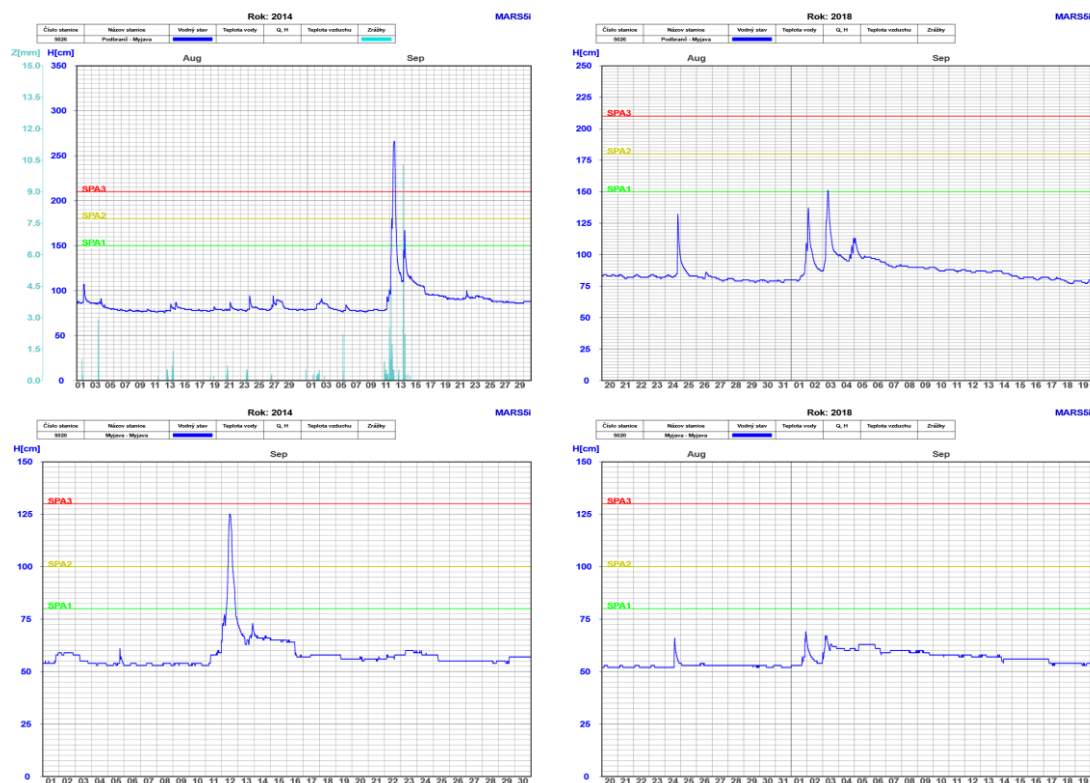


Obr.4: Mapa predošlého nasýtenia povodí prostredníctvom IPZ ku 11.9.2014 6:00 naľavo a ku 31.8.2018 6:00 napravo. Oblasť povodia Myjavy po profil Šaštín-Stráže je zobrazený v elipse a zahŕňa supovodia po stanice Jablonica, Sobotište a Šaštín-Stráže.

Odozva tokov bola v roku 2014 podľa SHMÚ (2015) nasledovná: „Hladina Myjavy vo vodomernej stanici Myjava dosiahla úroveň zodpovedajúcej 2. SPA ..., pričom zaznamenaný kulminačný prietok dosiahol úroveň 2 až 5-ročného prietoku. Hladina Myjavy v profile Šaštín-Stráže dosiahla úroveň zodpovedajúcej 1. SPA, pričom kulminačný prietok dosiahol úroveň 1 až 2-ročného maximálneho prietoku. Výrazné vzostupy vodných hladín sme zaznamenali aj na Teplici vo Vrbovciach, na Brestoveckom potoku v Brestovci a na Brezoveckom potoku v Brezovej pod Bradlom. Pre tieto vodomerné stanice však zatiaľ nie sú schválené SPA, a preto im nie je možné priradiť dosiahnutý stupeň PA. V Brestovci na Brestoveckom potoku ... mal kulminačný prietok hodnotu 5-ročného maximálneho prietoku.“. Grafický priebeh povodňových vln na vybraných profiloch Šaštín- Stráže a Podbranč je zobrazený na Obr.5 vľavo.

Po analyzovanej situácii v roku 2018 neboli dosiahnuté žiadne stupne povodňovej aktivity okrem 1.SPA na stanici Podbranč, ktorý bol však prekročený len o 1 cm (Obr.5 vpravo dole). Na ostatných vodomerných staniciach boli vzostupy vodných hladín len minimálne. Výraznejšie vzostupy neboli zaznamenané ani po druhej vlne zrážok v noci 3.9. Pri obhliadke terénu na začiatku októbra nám tiež miestni pracovníci SVP oznámili, že v oblasti boli toky vyschnuté počas celého leta, z malých vodných nádrží je dlhodobo vypúšťaný len minimálny požadovaný prietok a počas analyzovanej situácie nebol suchý polder, ktorý sa nachádza priamo v meste Myjava vôbec použitý. Voda vôbec nevystúpila z koryta. Je však potrebné podotknúť, že v médiách sa vyskytla zmienka o povodni v dotknutej oblasti (Web: Záhorák). Fotografie z článku dokumentujú bahno na cestnej komunikácii a tiež koryto miestneho potoka so stopami po vybrežení. O PP teda môžeme hovoriť aj v roku 2018, ale skôr na úrovni mestskej povodne.





Obr.5: Priebeh vodných hladín pri vybraných situáciách na profiloch Šaštín-Stráže, Podbranč a Myjava (v riadkoch) a v rokoch 2014 a 2018 (v stĺpcoch).

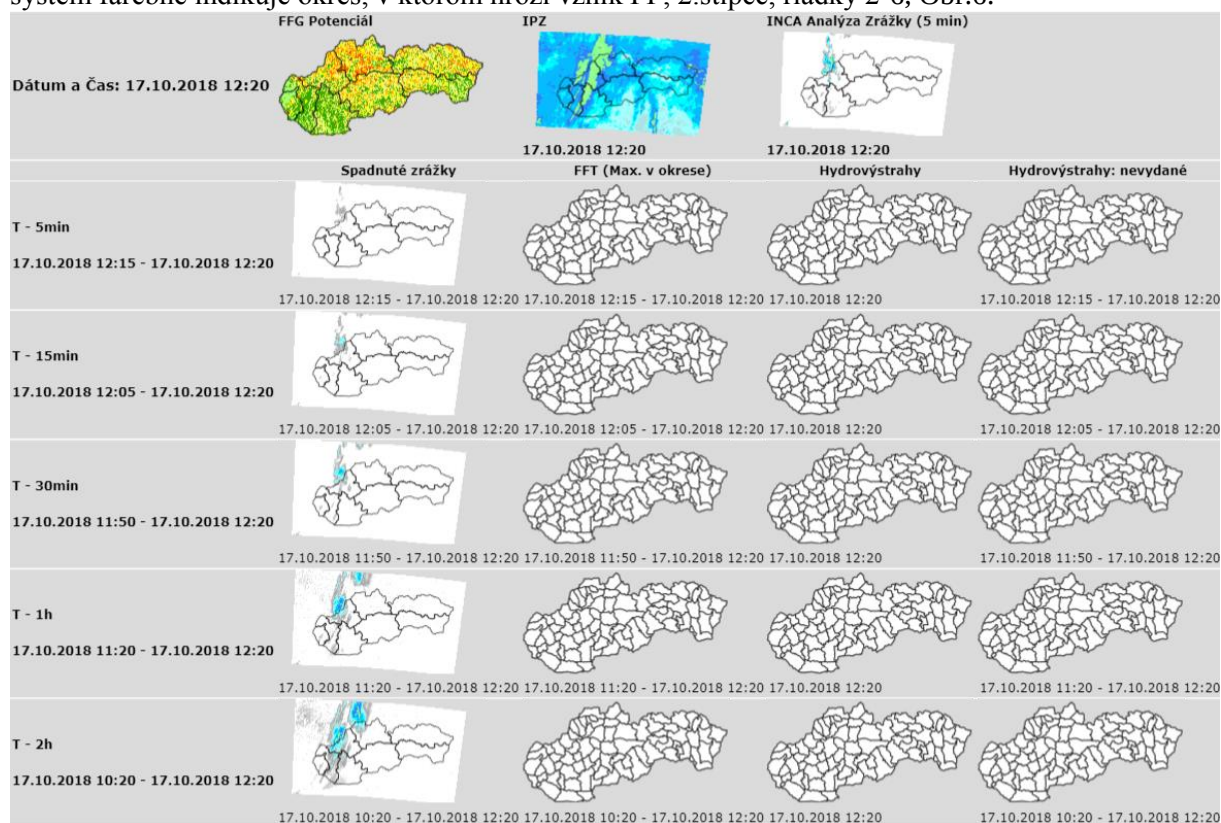
Pri výbere situácií na analýzu som postupovala porovnávaním denných úhrnov v povodí Myjavy, v rovnakom ročnom období. Vybrané boli dve septembrové udalosti v rokoch 2014 a 2018, pri ktorých sa celkový denný úhrn blížil 50 mm a odozva tokov bola úplne odlišná. Počas analýzy bolo zistené, že hydrologické charakteristiky boli v oboch prípadoch veľmi podobné. Najviac sa líšili v hodnote počiatočného nasýtenia pôdy. V oboch prípadoch dosahovalo IPZ hodnoty okolo 10 mm, čo naznačuje mierne nasýtenie, no o niečo viac bolo povodie nasýtené v roku 2018. Dá sa teda predpokladať, že daná hodnota nasýtenia bola pre infiltráciu zrážok vhodnejšia ako v roku 2014. Po bližšom rozanalizovaní zrážkovej činnosti bolo zistené, že smer postupu zrážok, ako aj ich maximálna bodová intenzita boli v oboch rokoch porovnateľné. Najväčšie rozdiely boli v trvaní zrážok s najväčšou intenzitou, v celkovom spadnutom úhrne za udalosť a tiež vo veľkosti zasiahnutej plochy. PP s dosiahnutými SPA vznikla pri situácii, kedy spadlo veľké množstvo zrážok, s tromi hodinovými epizódami o maximálnej intenzite 11,3 mm/ 15 min, a to na veľmi malej ploche. Z analýzy je jasne vidieť, že pri PP nemožno uvažovať klasické určovanie denného úhrnu, ale celkové spadnuté množstvo zrážok za udalosť. Taktiež je potrebné sledovať bodové maximá namiesto plošných priemerov. Z médií vieme, že PP vznikla aj v roku 2018, no bola slabšieho rozsahu. Preto je možné konštatovať, že významná povodeň pozdĺž celého toku Myjavy z roku 2014 vznikla po zasiahnutí len malého subpovodia po obec Myjava dlhším trvaním zrážok vysokej intenzity.

3 Predpovedné prístupy

V práci prognostika je analýza situácií z minulosti nevyhnutnou pomôckou pre hodnotenie závažnosti aktuálnych situácií. No aj napriek analýze všetkých minulých situácií, každá súčasná je niečím špecifická. Toto tvrdenie platí obzvlášť pre PP, ktorých predpoveď je v praxi veľmi náročná. UNESCO (1999) dokonca zahrnilo do svojej definície, že PP sú tie, ktoré sa kvôli rýchlosti ich vzniku dajú len ťažko predpovedať. Všeobecné platný postup predpovede PP sa uvádza v NRC (2005).

Najskôr je potrebné určiť množstvo zrážok, ich miesto a čas výskytu a ich intenzitu a následne túto informáciu zlúčiť s vedomosťami o predchádzajúcom nasýtení pôdy v povodí a s aktuálnou výškou hladín v tokoch. Keďže PP vznikajú lokálne a pre ich predpoveď je potrebné poznať lokálne charakteristiky subpovodí ako aj ich aktuálny stav, každá krajina má pre ich predpoveď a vydávanie výstrah vlastný prístup. V tejto časti budú zhrnuté predpovedné prístupy a spôsoby varovania obyvateľstva v rôznych krajinách ako aj jeden nadnárodný prístup systému EFAS.

Na SHMÚ bol pre predpovedanie PP vypracovaný systém nazývaný FFG, podľa podkladu originálneho Flash Flood Guidance System (FFGS) spísaného vo WMO (2015) (voľne možno preložiť ako Poradný systém pre PP). Systém je založený na porovnávaní pozorovaného alebo predpovedaného úhrnu zrážok pri aktuálnych podmienkach ku takým, aké by podľa modelových simulácií spôsobili naplnenie koryta toku. Ako vstupné údaje sa využívajú všetky dostupné produkty merania zrážok (radary, pozemné stanice, satelity), ktoré sú pre redukciu odchýlky zlučované do jedného dokonalejšieho produktu. Výsledný odhad zrážok ďalej vstupuje do snehového modelu, z ktorého sa vypočíta časť tekutých zrážok a tá ďalej pokračuje do modelu pôdnej vlhkosti. Výsledkom modelu pôdy je jej aktuálna nasýtenosť, ktorá stanovuje aktuálne podmienky povodia. Nakoniec sú porovnané zrážky (predpovedané alebo už pozorované), pri aktuálnych podmienkach nasýtenia, s hodnotami zrážok, ktoré podľa predošlých simulácií spôsobili naplnenie koryta. Ak sú tieto hodnoty vyššie, systém vyšle informáciu o možnosti výskytu PP, ktorú zhodnotí prognostik. Pracovné prostredie adaptovaného systému pre predpoveď PP na SHMÚ vyzerá, ako na Obr. 6. Ako zlúčenú informáciu pre stanovenie zrážok je používaný systém INCA. Sledujeme jej výstupy v rôznych časových intervaloch (5 min, 15 min, 30 min, 1 h a 2 h), na obrázku zobrazené v 1. stĺpci, 2.-6. riadku. Keďže na našom území sa PP vyskytujú spravidla v letnom období, snehový modul neuvažujeme. Na stanovenie aktuálnych podmienok nasýtenosti pôdy je počítaný podľa aktuálnych zrážok model IPZ, Obr.6, 2. stĺpec, 1. riadok. Táto informácia je porovnávaná s vopred stanoveným tzv. potenciálom FFG, Obr.6, 1. stĺpec, 1. riadok. FFG je v našej adaptácii definovaný ako zraniteľnosť územia stanovená zlúčením rizikových faktorov pre vznik PP ako sú: sklonitosť územia, pôdne druhy a využitie územia s rozlíšením na 1 km². Ak je výsledná hodnota vyššia ako prahová, systém farebne indikuje okres, v ktorom hrozí vznik PP, 2.stĺpec, riadky 2-6, Obr.6.



Obr.6: Adaptácia FFG používaná na prognóze SHMÚ.

Aj keď sa PP vyskytujú zvyčajne na malom území limitovanom rozvodnicou, systém vydávania výstrah je na Slovensku zákonom stanovený pre okresy. V 3. a 4. stĺpci Obr.6 sú zobrazené vydané a nevydané výstrahy hydroológom v službe. Stĺpce slúžia hydroológovi pre lepšiu orientáciu v územnom rozložení, ale aj pre kontrolu a monitoring prípadných chybných indikácií systému. V konečnom dôsledku, vydáva hydroprognóza SHMÚ výstrahy na PP na základe výstupov z FFGS, po kontrole radarových výstupov a po konzultácii s meteorológmi o predpokladanom vývoji situácie.

V Českej republike používajú pri predpovedi PP rovnako adaptáciu FFG, ktorú majú prístupnú vo forme online aplikácie na svojej webovej stránke (web: FFG-CZ). Verejnosť tu môže sledovať: 1. aktuálny vývoj nasýtenia povodia v dennom kroku, 2. potenciálne rizikové zrážky v 1, 3 a 6 hodinovom intervale, ktoré môžu za daných podmienok vyvolať 2-5 ročný prietok, 3. posledné spadnuté zrážky s nadväzujúcim nowcastingom a na záver 4. riziko vzniku PP, aktualizované každých 15 minút podľa spadnutých zrážok a nowcastingu, ktoré je rozdelené podľa územného členenia ČR. Hydrologická služba tu vydáva výstrahy na PP ako očakávaný jav, ale taktiež na nebezpečenstvo pozorovaného javu, v prípadoch kedy bola vzniknutá situácia odhalená až počas jej priebehu. Rovnako aj vo Veľkej Británii vystríha hydrologická služba na potenciálne riziko PP a aj na prebiehajúcu PP (web: wwlp). Americká meteorologická služba NWS tiež používa systém FFGS, pričom vydáva výstrahy len na situácie, v ktorých je predpoklad, že sa voda vyleje z koryta, zaplaví cestné komunikácie alebo ľudské obydľia. PP však nemusí splniť kritériá na vydanie výstrah, aby bola nebezpečná (web: stormhighway). Pri vykonávaní vodných športov či rybolovu na odľahlom mieste v prírode môže byť nebezpečné aj náhle zdvihnutie hladiny len do polovice koryta.

Systém FFG je však nastavený na reakciu na okamžité zrážky, teda je aplikovateľný až v momente kedy už zrážková činnosť začala. Výstrahy na PP sú takto vydávané spravidla len s malým predstihom. Ako skoršie varovanie pre verejnosť slúžia v mnohých krajinách meteorologické výstrahy na búrky, v ktorých je spravidla zahrnutá aj informácia o možných následkoch PP vo forme dodatku. Napríklad v Nemecku (web: DWD) či Rakúsku, sa dokonca vydávajú len výstrahy na búrky s poznámkou o mozgnej PP. Vo Francúzsku je síce hydrologická a meteorologická služba vykonávaná v oddelených inštitúciách, no v prípade výstrah na PP, ktoré vydáva hydrologická služba (web: vigicrue), je meteorologická situácia popísaná detailne. Uvádzajú tu spravidla smeru pohybu búrok aj odhadované úhrny zrážok. V závere výstrahy popisujú odporúčanú reakciu obyvateľstva.

Iný prístup k včasnému varovaniu pred PP je možný prostredníctvom definovania pravdepodobnosti ich výskytu a vážnosti ich následkov. Európsky systém monitoringu povodní EFAS rozosiela dotknutým krajinám výstrahu, ktorá obsahuje informáciu o pravdepodobnosti výskytu prívalovej povodne s maximálnym možným predstihom až 72 hodín. Koncový užívateľ môže po obdržaní výstrahy ďalej sledovať každý ďalší beh modelu, pri ktorom sa vývoj situácie ako aj platnosť výstrahy ešte upresňuje. Modul PP EFASu bol spočiatku v jeho jednoduchšej forme navrhnutý tak, aby využíval ako základný vstup systém monitorovania potenciálnych PP tzv. EPIC – Európsky zrážkový index (Alfieri et al., 2011 a). EPIC je systém, ktorý porovnáva akumulované predpovedané úhrny zrážok za čas typický pre PP s hraničnými hodnotami stanovenými na základe pozorovaní z minulosti. Jeho súčasné pokrytie zahŕňa kontinentálnu Európu a je počítaný na rozlíšení 5 km². V momente kedy EPIC zistil možnú PP, EFAS spustil pre túto oblasť distribuovaný hydrologický model s rozlíšením 1 km² a aktuálnou nasýtenosťou povodia odvodenou z operatívnych výsledkov modelu s rozlíšením na 5 km², používaným pre ostatné typy povodní (Alfieri et al., 2011 b). Navyše ako vstupné údaje do modelu pre prívalové povodne vstupovala pravdepodobnostná predpoveď zrážok. Hydrologická simulácia sa spustila pre každý člen ansámbľu. Tieto boli na záver porovnávané s prahovými hodnotami určenými na základe pozorovaní z databázy EPICu. V súčasnosti EFAS posiela výstrahy na PP, ak je pravdepodobnosť prekročenia 5-ročného indexu odtoku väčšia ako 10%.

Keďže PP sú fenoménom, vyskytujúcim sa na malej ploche, závislým od špecifických prírodných podmienok každej oblasti, každá krajina má na varovanie vlastný prístup. Po preskúmaní webových stránok viacerých predpovedných služieb možno povedať, že vo svete prevládajú tri spôsoby varovania. Prvý, najviac prevládajúci, je využitie FFG systému vyvinutého pod záštitou WMO

a vydávanie hydrologických výstrah na PP. Nemálo využívaným je tiež spôsob vydávania výstrah na búrky s dodatkom o možných škodách a nebezpečenstve spôsobenom PP. Posledným spôsobom je vydávania pravdepodobnostných predpovedí vo forme pravdepodobnosti prekročenia istého limitu. Účinnosť a efektívnosť spôsobov varovania je však potrebné overovať u koncových užívateľov, ktorými sú pracovníci Civilnej ochrany CO, správcovia povodí, obce a aj široká verejnosť. Tejto téme však doposiaľ nebola venovaná dostatočná pozornosť. V doterajších prieskumoch bolo zistené, že je potrebné verejnosť viac informovať o dostupných nástrojoch predpovednej a varovnej služby. Na Slovensku organizuje ministerstvo vnútra SR prostredníctvom CO pravidelné školenia pre starostov obcí, kde sa snažíme vysvetliť výstrahy SHMÚ. Ďalej je rozšírenie informácie medzi verejnosť v kompetencii starostov. Taktiež sa pre zvýšenie povedomia využívajú odborné články rôzne druhy médií či deň otvorených dverí.

4 Záver

Prívalové povodne sú v práci prognostika vždy výzvou. Keďže sa na Slovensku vyskytujú len sezónne, je potrebné si vedomosti o nich pred každým letom obnovovať a pripraviť sa tak na službu, kedy je najdôležitejšia rýchlosť reakcie a správnosť úsudku. Jasná a jednotná definícia prívalovej povodne je toho predpokladom. Prvá časť príspevku bola preto venovaná prehľadu odborných definícií tohto pojmu. Väčšina literatúry stručne uvádzala, že prívalová povodeň je povodeň krátkeho trvania s vysokým kulmináčnym prietokom, zvyčajne zapríčinená intenzívnou zrážkovou činnosťou. Zriedkavejšie boli spomenuté aj iné možné príčiny vzniku PP a faktory, ktoré ich definujú ako hydrometeorologický problém. Pomocou popisu príčinných faktorov z NRC (2005) boli v ďalšej časti príspevku rozanalyzované dve zdanlivo podobné zrážkové situácie s úplne odlišnými následkami. Analýzou bolo zistené, že situácia, ktorá vyústila do prekročenia stupňov povodňovej aktivity na celej dĺžke riečneho profilu bola vyvolaná dlhšie trvajúcejšími zrážkami s opakovanými epizódami vysokej intenzity na veľmi malej lokalite. Hoci pri druhej situácii boli porovnateľné hydrologické charakteristiky povodia, smer pohybu zrážok, priemerný denný úhrn zrážok na povodie a dokonca aj ich maximálna intenzita, jej trvanie a následne aj celkový spadnutý úhrn v jednotlivých staniách bol nižší a odozva na tokoch len minimálna. V poslednej časti príspevku boli predstavené najpoužívanejšie prístupy predpovedania PP. 1. prístup FFGS vyvinutý pod záštitou WMO, ktorý umožňuje jeho lokálnu adaptáciu, aby čo najviac vyhovoval špecifickým charakteristikám povodia v každej krajine. 2. prístup vydávania výstrah pre búrky s doplnkovou informáciou o možných následkoch PP, ktorým je možné zlepšiť predstih varovania. 3. Prístup pravdepodobnostných predpovedí nad stanovenú hranicu, ktorý je generovaný na základe kombinácie štatisticky spracovaných pozorovaní a výstupov z meteorologických a hydrologických modelov. Jeho výhodou je absolútna objektivita výstrah zaručená presne stanovenými pravidlami. Keďže výstrahy sú vydávané pre širokú verejnosť z rôzneho profesionálneho prostredia, jasnosť a objektivita výstrah by mali byť pre predpovednú službu prvoradými zásadami.

5 Referencie

Alfieri et al., 2011 a: *Flash flood detection through a multi-stage probabilistic warning system for heavy precipitation events*. Adv. Geosci. 29,69–75.

Alfieri et al., 2011 b: *Ensemble hydro-meteorological simulation for flash flood early detection in southern Switzerland*. J. Hydrol. 424-425, 143-153.

American Meteorological Society (AMS), cit. 2018: *Flash Flood. Glossary of Meteorology*. prístupný online na http://glossary.ametsoc.org/wiki/Flash_flood

Borga et al., 2011: *Flash flood forecasting, warning and risk management: the HYDRATE project*, Environmental Science & Policy 14 (2011) 834 – 844

Doswell, C.A., 2015: *Encyclopedia of Atmospheric Sciences (Second Edition)*, dostupné online na: <https://www.sciencedirect.com/science/referenceworks/9780123822253>

Gaume, E et al., 2009: *A collation of data on European flash floods*. J. Hydrol. 367, 70–78, doi:10.1016/j.jhydrol.2008.12.028.

Global Water Partnership (GWP), 2007: *Guidance on Flash Flood Management, Recent Experiences from Central and Eastern Europe*. Dostupné online na: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cee_files/regional/floods-guidance.pdf

Hapuarachchi et al., 2011: *A review of advances in flash flood forecasting*. Hydrological Processes, Vol 25, Issue 18, 2771-2784

Hardy, 2016: *A method for probabilistic flash flood forecasting*. Journal of Hydrology 541, 480-494.

International Association of Hydrological Sciences (IAHS), 1974: *Flash Floods Symposium, proceedings*. IAHS-AISH publication -- no. 112

International Commission for the Protection of the Danube River (ICPDR), 2018: *Update of the Strategy on Adaptation to Climate Change*, draft version.

MAKEL, Michal a Jozef TURBEK. *Hydrológia - terminologický výkladový slovník: Hydrology - the lexicographical dictionary*. Bratislava: Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, 2002. Dokumenty. ISSN 1335-1564.

Marchi, L. et al., 2010. *Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management*. J. Hydrol., 394, 118–133.

Ministerstvo životného prostredia SR (MŽP), 2011: *Implementácia smernice Európskeho parlamentu a Rady 2007/60/ES z 23. októbra 2007 o hodnotení a manažmente povodňových rizík. Predbežné hodnotenie povodňového rizika v čiastkovom povodí Moravy*.

National Research Council. (NRC), 2005: *Flash Flood Forecasting Over Complex Terrain: With an Assessment of the Sulphur Mountain NEXRAD in Southern California*. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/11128.

Pecho, J., 2018: Interview pre Denník N, dostupný online na: <https://dennikn.sk/1198689/klimatolog-podla-pesimistickejsich-scenarov-mozeme-mat-na-slovensku-stredomorsku-klimu-uz-za-10-ci-20-rokov/?ref=rss>

SHMÚ, 2015: *Správa o povodniach za rok 2014*. Dostupná online na: www.shmu.sk/sk/?page=128

WMO, 2012: *Glossary*, dostupný online na: http://www.wmo.int/pages/prog/hwrf/publications/international_glossary/385_IGH_2012.pdf

WMO, 2015: *Black Sea and Middle East Flash Flood Guidance System User Guide*. Dostupná online na: http://www.wmo.int/pages/prog/hwrf/flood/ffgs/documents/BSMEFFG_UserGuide-opt.pdf

WMO, 2016: *Flash Flood Guidance System with global coverage*, dostupné online na: https://library.wmo.int/pmb_ged/2016_ffgs-flyer_en.pdf

Xiao Lin, 1999: *Flash floods in arid and semi-arid zones*, Unesco, Paris, SC-99/WS/34.

We:b Dwd: https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2018/6/9.html

Web: FFG-CZ: http://hydro.chmi.cz/hpps/main_rain.php?mt=ffg#

Web: Georisques: <http://www.georisques.gouv.fr/glossaire/inondation-par-crue-torrentielle-0>

Web: NWS: http://www.nws.noaa.gov/om/hod/SHManual/SHMan014_glossary.htm

Web: Obec Myjava: <http://myjava.sk/mesto/o-myjave/priroda>

Web stormhighway: <http://stormhighway.com/floodwaves.php>

Web: Victoria: <https://www.floodvictoria.vic.gov.au/learn-about-flooding/glossary-and-abbreviations/glossary-of-terms>

Web: Vigicrue: <https://www.vigicrues.gouv.fr/bulletin-local.php?CdEntVigiCru=25#TL1>

Web: Wwlp: <https://www.wwlp.com/weather/weather-news/the-real-meaning-of-a-flash-flood/1042581883>

Web: Záhorák: <https://zahorak.sk/5997/voda-bahno-velke-skody/?fbclid=IwAR0GViId8uuAtNTL4SOWzsG0yNhnZ2n4Tp9B1ZNVxl72gumuCJ2shmVh3yY>

Anotácia

Príspevok pojednáva o prívalových povodniach z perspektívy predpovednej a varovnej služby. Zameriava sa na ich správne definovanie, príčiny ich vzniku popisuje na príklade analýzy dvoch podobných zrážkových udalostí s rôznymi následkami a na záver pojednáva o rôznych spôsoboch ich predpovedania a varovania.

Anotation

The paper discusses flash floods from a forecasters perspective. The focuses oriented towards their correct definition, the causes of their occurrence are described by an example of the analysis of two similar precipitation events with different consequences and finally it discusses different ways of their prediction and warning.

Kľúčové slová/key words: prívalová povodeň/flash flood, intenzívne zrážky/intense precipitation, predpoveď/forecast, výstraha/alert

Abstract

According to the newest updates of the ICPDR's Strategy on the Adaptation to Climate Change, more frequent and more intense flash floods (FF) are to be expected in the whole Danube basin region. From the flood forecasters perspective, this means that more focus should be oriented towards the phenomenon that many still refer to as the „hardly predictable“ (UNESCO, 1990). This paper aims on reviewing the problem of flash floods in terms of its definitions, major triggering factors and methods for its forecasting and warning issuance.

In the first section of this report a research of different flash flood definitions was carried out. The majority of sources is built on the basis of the simple and brief definition by WMO (2012): „Flood of short duration with a relatively high peak discharge“. Numerous other authors specify the typical duration of FF according to the studied region (GWP, 2007; Marchi et al., 2010; web: NWS). The French definition uses the time of concentration of each subbasin instead of a fix value of flood duration. Also, the majority of definitions that also include causative factors for FF, only name different sorts of precipitation (web: NWS, IAHS). Only the glossary of the American meteorological society gives a more hydrometeorological insight: „Flooding caused by rapidly rising water level in streams, creeks, rivers, or other waterways, normally dry stream beds, or in urban areas, usually as a result of intense rainfall over a relatively small area or for moderate to intense rainfall over highly saturated or impervious land surfaces, and generally occurring within minutes to several hours of the rainfall event. Steep terrain tends to concentrate runoff into streams very quickly and is often a contributing factor. Changes in soil properties (e.g., burn areas from wildfires), hydrophobic or impervious soils, removal of surface vegetation, and excess runoff from warm rainfall on significant snowpack can also be important contributors. Additional causes of flash floods include ice jams and levee and dam failures.“ Subsequently, as FF are a hydrometeorological phenomenon, the latter can be assigned as the most suitable for the purposes of flood forecasters.

The most important factors for a FF occurrence were found to be well described by the National Research Council NRC (2005). From the meteorological perspective these are: direction of the movement of storms, total duration of the precipitation event, intensity of precipitation and the maximal intensity of event. From the hydrological point of view, the factors are: the antecedent basin conditions in terms of soil moisture, land use and land cover, the topography of the basin, soil types and their characteristics and urbanisation. In order to better explain the role of afore mentioned factors, two precipitation events from the same basin with similar daily rainfall amounts but different damage consequences, were chosen to compare. It was found that the one causing serious damages was provoked by only a longer duration of precipitation on a small upper part of the catchment. On the other hand the event where the area of the whole catchment was hit by approximately the same amount of rain as was the average in the first case, no significant water level rise was observed. All other triggering factors including maximal rainfall intensity were almost the same.

The last part of the report focused on the forecasting perspective of this problematic. Its purpose was to give an overview of forecasting methods used in different hydrometeorological or other institutes issuing flash flood warnings. First, the most commonly used system, developed and distributed under WMO was showed using the examples of its Slovakian adaptation. The original system is called Flash Flood Guidance System (FFGS) and it is based on a comparison of the observed (or forecasted) precipitation at given basin conditions with such precipitation amount that would according to model simulations cause bankfull flowing. It uses a combination of several precipitation data, meteo and hydro models. The forecaster is noted by a FF threat signal if the bankfull conditions are reached and it is up to his decision if a warning is finally issued. Another possibility of FF alerting (sometimes used to complement FFGS) is by issuing storm warnings. Meteorological warnings for storms would in this case contain possible FF consequences mentioned in the warning description. This way, the threat of possible FF can be spread longer ahead, although with a poorer localisation. Finally, the third mentioned group of methods to issue FF warnings is the probabilistic one. For instance, the European Flood Awareness System EFAS used to use the following procedure. For initialisation, they use system EPIC (European precipitation index) which compared forecasted precipitation summed over a typical span of FF with modelled threshold values that would cause bankfull flowing. Consequently a

distributed hydrological model with resolution of 1km^2 was run with initial conditions derived from the classical model in EFAS operation for other types of floods. As precipitation input, EFAS used probabilistic precipitation. Thus, the system resulted in one hydrological simulation for each member of ensemble. The FF warning was then issued, if at least 30% of hydrological forecasts predict to reach a threshold value of 5-years return period. The greatest advantage of the latter mentioned system is thus its objectivity. Since, the warnings are issued for public with various professional background, the objectivity should be prioritized by all institutes responsible for warning issuance.