

**ANALÝZA BUDÚCICH ZMIEN V CHARAKTERISTIKÁCH
KRÁTKODOBÝCH DAŽĎOV POUŽITÍM SCENÁRA CLM
VO VYBRANÝCH STANICIACH NA ZÁPADNOM SLOVENSKU**

Gabriel Földes, Silvia Kohnová, Marija Mihaela Labat

Štúdiá sa zameriava na analyzovanie budúcich zmien v charakteristikách krátkodobých úhrnov dažďov v oblasti západného Slovenska. Analyzované boli zmeny v sezónnosti, trendoch a škálovacích koeficientoch pre určenie návrhových hodnôt intenzít dažďov v 3 vybraných staniách a to Bratislava, Hurbanovo a Myjava. Pre analýzu boli použité reálne namerané hodnoty úhrnov za obdobie 1995 – 2009 a úhrny zo scenára CLM za obdobie 2070 – 2100. Testovanie špecifických výdatnosti bolo vykonávané na trvaniach 60 až 1440 minút. Pre odhad sezónnosti bola použitá metóda Burnovho vektora. Pre analýzu zmien trendov bol použitý Mann-Kendallov test. Záverom práce bolo určenie škálovacích koeficientov jednoduchým škálovaním a následné určenie návrhových hodnôt úhrnov dažďov. Výsledky analýzy poskytnú bližšie informácie o budúcich zmenách, ktoré môžeme očakávať na konci storočia.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: úhrn zrážok, intenzita krátkodobých dažďov, Burnov vektor, Mann-Kendallov test trendu, jednoduché škálovanie

FUTURE CHANGES IN SEASONALITY AND SCALING EXPONENTS OF SHORT-TERM RAINFALLS IN THE WESTERN SLOVAKIA USING CLM SCENARIO. The study focuses on the analysis of the future changes in characteristic of short term rainfall in the region of Western Slovakia. The analysis was performed for 3 climatological stations namely Bratislava, Hurbanovo and Myjava. For the analysis, the real measured rainfall depths for the period 1995–2009 and the rainfall depths from CLM scenario for period 2070–2100 were used. Analysis was performed for rainfall durations 60 up to 1440 minutes. The Burn's vector methodic was used for estimation of seasonality changes. For the trend testing the MannKendall test was used. Finally scaling exponents were estimated by using simple scaling method and IDF lines were derived for the analyzed periods. The results of the analysis will provide further information about future changes that we can expect at the end of the century.

KEY WORDS: rainfall depth, short-term rainfall intensities, Burn's vector, Mann-Kendall trend test, simple scaling

Úvod

V poslednom desaťročí bleskové povodne spôsobené krátkodobými dažďami sa stali jedným z najčastejších prírodných ohrození v Európe. Odzrkadľuje to aj veľký počet štúdií zameraných na extrémne dažde, bleskové povodne, protipovodňovú ochranu. Možno spomenúť napr. analýzy zmien sezónnych charakteristik povodňových režimov v Alpsko-Karpatskom oblúku (Parajka a kol., 2010), bleskové povodne v urbanizovaných územiach v regióne Calabria (De Franco a kol., 2018), vplyv extrémnych zrážok a bleskových povodní na proces manažmentu povodňového rizika a geomorfologických zmien na malých povodiach so zahrnutím prípadovej štúdie rie-

ky Kasiniczanka, Poľsko (Bryndal a kol., 2017), analýza bleskových povodní na Slovensku (Hlavčová a kol., 2016), regionálna frekvenčná analýza sub-denných extrémnych zrážok v Spojenom Kráľovstve s hodnotením ich sezónnosti (Darwish a kol., 2018). Západ Slovenska je v letnom období často postihovaný krátkodobými dažďami, tieto dažde majú krátke trvanie s vysokou intenzitou. V kombinácii so suchším letom spôsobujú krátkodobé intenzívne dažde bleskové povodne. Preto krátkodobé dažde predstavujú veľké riziko, spôsobujú vysoké ekonomické škody taktiež škody na majetku ľudí a ohrozuje aj ľudské životy. Bleskové povodne ako dôsledok krátkodobých intenzívnych dažďov transportujú sedimenty do intravilánov obcí, pričom pos-

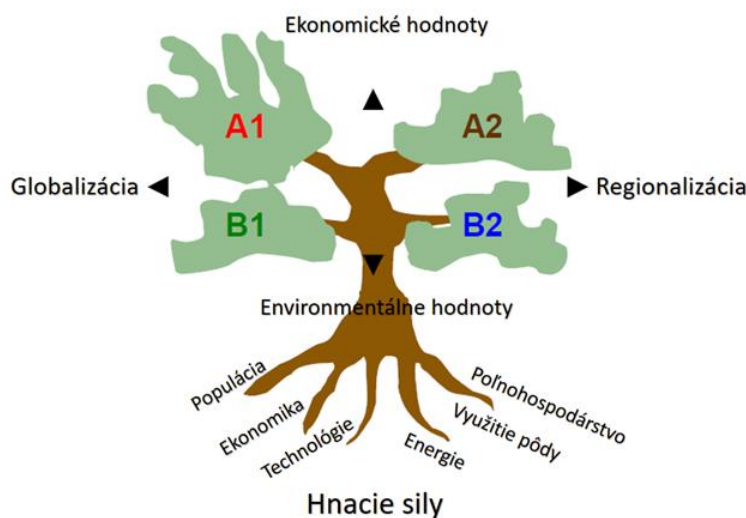
tihovanou oblasťou je aj región Myjavskej pahorkatiny. Touto problematikou sa zaoberá napr. štúdia návrh protierózných opatrení a ich posúdenie na zníženie kulmináčného prietoku (Labat a kol., 2018). Modelovaním erózných procesov v tomto regióne sa zaoberá aj prípadová štúdia pre Myjavskú pahorkatinu, hodnotenie vplyvu rôznych druhov plodín na vodnú eróziu pôdy (Németová a kol., 2019). V prípade lokalít Bratislava a Hurbanovo pri krátkodobých intenzívnych dažďoch môže byť problémom nedostatočná kapacita kanalizačnej siete, a tým dochádza k ohrozeniu majetku obyvateľov.

Štúdia je zameraná na analýzu budúcich zmien v sezónnosti výskytu extrémnych dažďov. Snahou je zistiť, ako sa do budúcnosti zmení ich výskyt a aké možno do budúcnosti očakávať zmeny trendov výskytu krátkodobých dažďov. Je mnoho prác a štúdií, ktoré sa zaoberajú analýzou sezónnosti dažďov a trendov ako detekcia budúcich zmien v sezónnosti extrémnych krátkodobých dažďov vo vybraných staniách na Slovensku (Vasiláki a kol., 2017), analýza zmien veľkosti, frekvencie a sezónnosti silných zrážok nad susediacimi územiami USA (Mallakpour a Villarini, 2017), predpokladané zmeny sezónnosti zrážok a suchých období v scenári s vysokými emisiami skleníkových plynov (Pascale a kol., 2016). Určenie a vyhodnotenie návrhových hodnôt úhrnov dažďov je taktiež dôležité pre zistenie zmien v charakteristikách úhrnov dažďov. Je potrebné do budúcnosti vedieť predpovedať aké budú zmeny v sezónnosti, trendoch a v hodnotách návrhových dažďov pre danú lokalitu a to pri návrhoch ochranných opatrení a budúcich vodohospodárskych konštrukcií.

Metodické postupy SRES scenáre

Špeciálna správa pre emisné scenáre (Special Report on Emissions Scenarios – SRES) obsahuje scenáre ktoré bo-

li vytvorené pre popísanie vzťahov medzi emisnými hnacími silami a ich vývojom vzhľadom na klimatické zmeny na konci 21. storočia. Správa bola vytvorená Medzivládny panelom pre klimatické zmeny IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Hnacie sily sú definované ako demografický vývoj, socio-ekonomický vývoj, technologický vývoj a environmentálny vývoj. Vývoj týchto síl je veľmi neistý. Z tohto dôvodu IPCC vytvorili 4 výpovedné deje označené A1, A2, B1 a B2 (obr. 1). Každý dej reprezentuje rozličné vývoje v hnacích silách, vývoje môžu byť vnímané pozitívne alebo negatívne. Výpovedný dej A1 opisuje budúcnosť sveta s veľmi rýchlym ekonomickým rastom, globálny počet obyvateľov dosiahne maximum v polovici storočia a potom klesá, počíta aj s rýchlym zavádzaním nových a účinnejších technológií. Scenár A1 sa delí do troch skupín, ktoré popisujú rôzny smer technologických zmien v energetickom systéme. Tieto tri skupiny A1 sa vyznačujú svojim technologickým dôrazom: fosílna intenzívne (A1FI), nefosílna zdroje energie (A1T), alebo vyváženosť medzi všetkými zdrojmi (A1B). Výpovedný dej A2 opisuje veľmi rôznorodý svet. Základnou témou je sebestačnosť a zachovanie miestnych identít. Opisuje kontinuálny rast populácie a hospodársky rozvoj je orientovaný predovšetkým regionálne a ekonomický rast na obyvateľa a technologické zmeny sú roztrieštenejšie a pomalšie ako v iných dejoch. Výpovedný dej B1 s rovnakým globálnym počtom obyvateľov ako v skupine A1, ale s rýchlymi zmenami v ekonomických štruktúrach smerom k službám a informačnej ekonomike, pričom uvažuje so znížením materiálnej náročnosti, technológiami účinnejšie využívajúce zdroje a zavedenie čistých a účinných technológií. Výpovedný dej B2 popisuje svet, v ktorom sa kladie dôraz na lokálne riešenie ekonomickej, sociálnej a environmentálnej udržateľnosti. Je to svet s neustále rastúcou svetovou populáciou v nižšej miere ako v skupine A2, s medziľahlou úrovňou hospodárskeho rozvoja



Obr. 1. Schéma výpovedných dejov scenára SRES.

Fig. 1. Storyline Schemes of the SRES Scenarios.

a menej rýchlymi a rozmanitejšími technologickými zmenami než v skupinách A1 a B1. Aj keď je scenár tiež orientovaný smerom k ochrane životného prostredia a sociálnej spravodlivosti, sústreďuje sa na lokálnej a regionálnej úrovni (Nakicenovic a Swart, 2000).

Pre simuláciu zmeny klímy bol vybraný regionálny model CLM (Community Land Model) vytvorený v DWD (Deutscher Wetterdienst), ktorý preberal okrajové podmienky z globálneho modelu ECHAM5/MPIOM v šesťhodinových intervaloch. Scenáre pre 21. storočie boli simulované pomocou IPCC scenára A1B. Emisný scenár A1B, ktorý bol použitý v štúdiu bol vybraný na základe štúdií Lapin a kol. (2012), Svoboda a kol. (2016) a na základe odporúčaní Medzivládneho panelu o zmene klímy (IPCC, 2013). Scenár A1B je stredne pesimistický scenár s globálnym otepľovaním približne o 2,9 °C do roku 2100 v porovnaní s rokmi 1961 – 1990. Tento scenár pomerne dobre zodpovedá súčasným procesom v atmosfére, kde nárast globálnej teploty vzduchu bol od roku 1980 približne o 0,2 °C za desaťročie.

Použité metódy

Pre analýzu v budúcich zmenách v charakteristikách krátkodobých dažďov boli použité tieto metódy: Pre určenie zmien v sezónnosti výskytu extrémnych úhrnov bol použitá metóda Burnovho vektora (Burn, 1997), určenie zmien v trendoch bola použitá metóda MannKendallovho testu (Mann, 1945; Kendall, 1955) a pre odhad škálovacích koeficientov a určenie návrhových hodnôt úhrnov dažďov bolo použité jednoduché škálovanie (Koutsoyiannis a Fofoula-Georgiu, 1993).

Burnov vektor

Metóda je najčastejšie využívanou metódou používanou pre odhad sezónnosti výskytu extrémnych alebo maximálnych javov. Metóda opisuje variabilitu dátumu, pri ktorom sa maximálny úhrn zrážok vyskytuje. Smer vektora zodpovedá očakávaným dňom výskytu v priebehu roka, zatiaľ čo jeho dĺžka opisuje variabilitu okolo očakávaného dátumu výskytu.

Mann-Kendallov test trendu

Test je zameraný na štatistické posúdenie významnosti stúpajúceho alebo klesajúceho trendu vybranej veličiny v čase. Významnosť stúpajúceho či klesajúceho trendu určuje charakter premennej, ktorá sa trvalo zvyšuje či znižuje v čase. Trend môže, ale nemusí byť lineárny. Test skúma zamietnutie nulovej hypotézy (H_0) a prijatie alternatívnej hypotézy (H_a), pričom H_0 je nemonotónny trend a H_a je monotónny trend (Mann, 1945; Kendall, 1975).

Jednoduché škálovanie

Metóda jednoduchého škálovania je aplikovateľná na vzťah medzi intenzitou, trvaním a periodicitou zrážok

tzv. IDF vlastnosti. Používa sa na spracovanie údajov o zrážkových úhrnoch za kratšie časové obdobie ako jeden deň. Jednoduché škálovanie spočíva v určení návrhových hodnôt pre trvanie kratšie ako jeden deň a pre zvolenú dobu opakovania využitím denných záznamov úhrnov zrážok, ktoré sú bežne k dispozícii. Škálovací exponent je možné odhadnúť pomocou lineárnej regresie zo sklonu medzi zlogaritmovanými hodnotami momentov a škálovacích parametrov pre rôzne rády momentov. Ak medzi škálovacím exponentom a rádom momentu existuje lineárna závislosť, tak je škálovací exponent prvého rádu. Táto vlastnosť je označovaná ako jednoduché škálovanie v širšom zmysle (wide sense simple scaling). (Koutsoyiannis a Fofoula-Georgiu, 1993)

Jednotlivé metodické postupy so vzťahmi sú podrobne popísané vo viacerých publikáciách autorov pozri napr. (Földes a kol., 2018; Földes a Labat, 2018), preto ich v tomto príspevku bližšie už nepopisujeme.

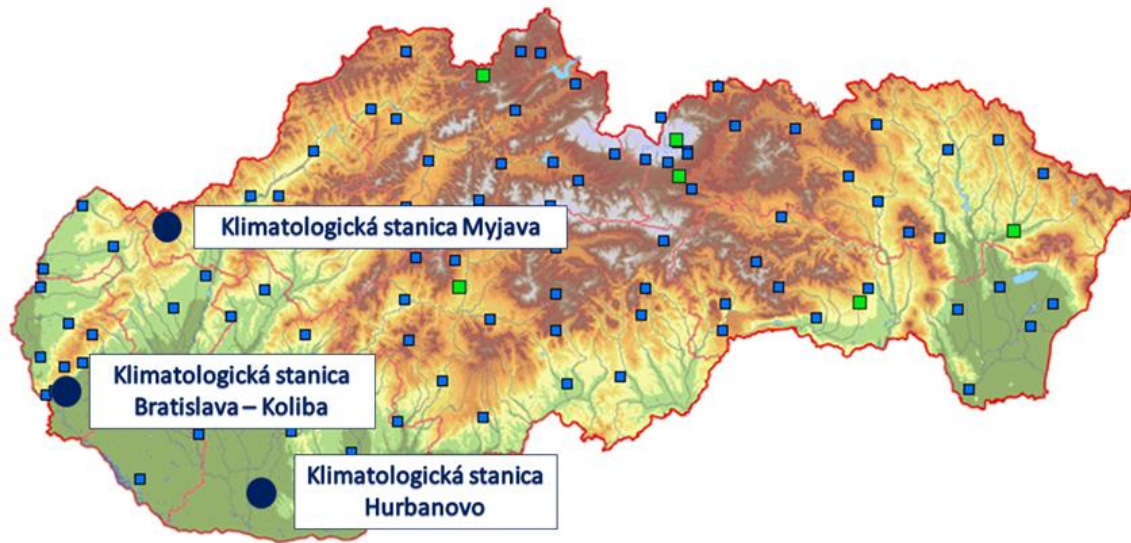
Vstupné údaje

Vstupné údaje pre analýzu tvorili úhrny dažďov za teplý polrok v hodinovom kroku zo simulácie CLM (Community Land Model), ktoré boli spracované doc. RNDr. Martinom Gerom, PhD. z Univerzity Komenského v Bratislave. Údaje boli poskytnuté pre vybrané 3 klimatické stanice a to pre obdobie (1960 – 2000) a pre budúce obdobie (2070 – 2100). Okrem scenárových údajov boli k dispozícii údaje z reálnych pozorovaní minútových úhrnov dažďov v teplom polroku poskytnuté od SHMÚ Bratislava.

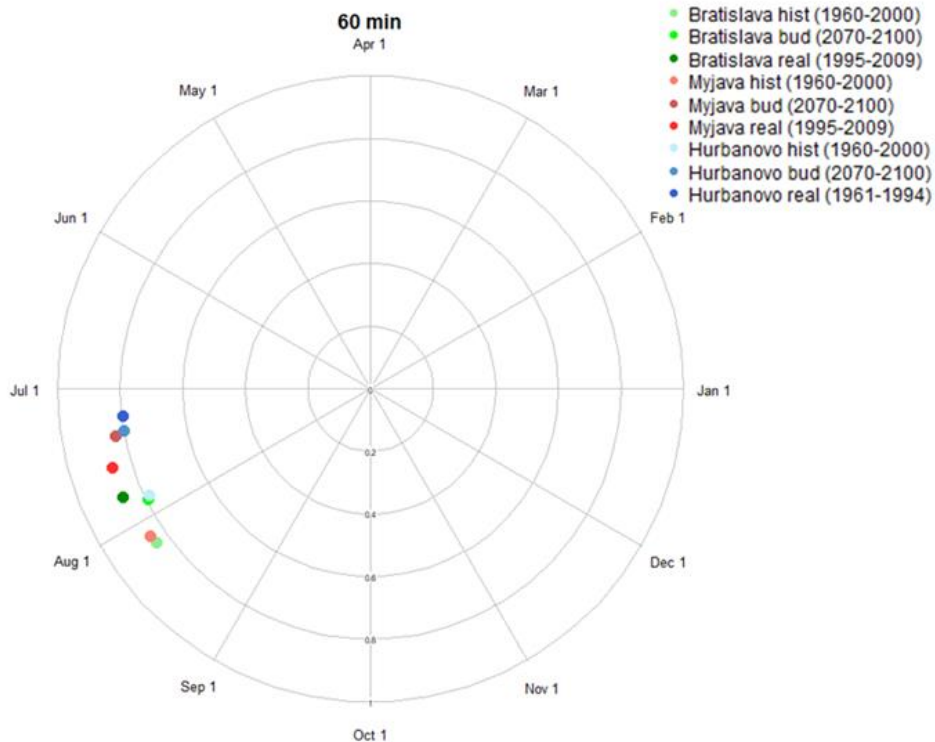
Zaujímavé územie sa nachádza v západnej časti Slovenska. Boli vybrané 3 klimatologické stanice a to v severnej časti klimatologická stanica Myjava, v strednej časti klimatologická stanica Bratislava-Koliba a na juhu klimatologická stanica Hurbanovo. Stanice boli zvolené aj pre dostupnosť reálnych pozorovaní z dôvodu porovnania výsledkov z modelu. Klimatologická stanica Bratislava-Koliba (nadm. výška 286 m n. m.) sa nachádza spolu s klimatologickou stanicou Hurbanovo (nadm. výška 115 m n. m.) na juhu západného Slovenska na Podunajskej nížine. Územie patrí najteplejšej a najsuchšej oblasti. Klimatologická stanica Myjava (nadm. výška 360 m n. m.) sa nachádza v severnej časti západného Slovenska na Myjavskej pahorkatine. Územie patrí do mierne teplej klimatickej oblasti s horskou klímou a s malou inverziou teplôt. Poloha klimatologických staníc je znázornená na obrázku 2.

Výsledky a diskusia

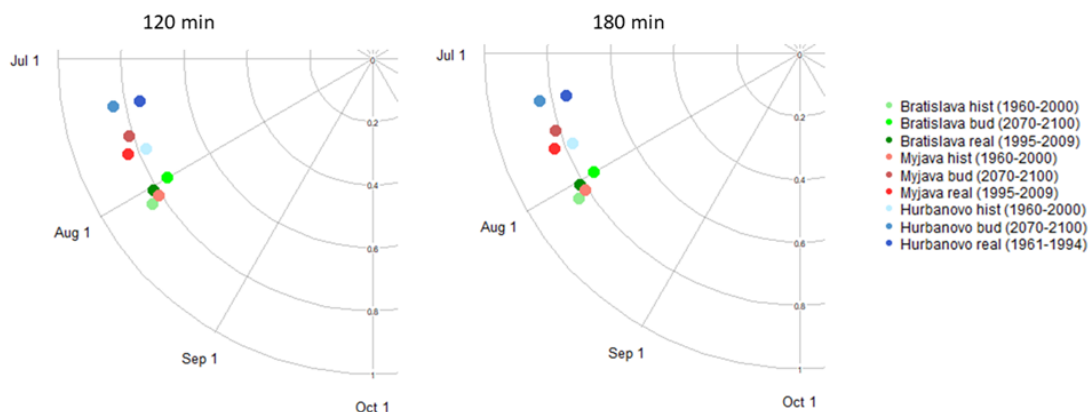
Prvým krokom štúdie bola analýza zmien v sezónnosti dažďov, výsledky sú prezentované na obr. 3 až obr. 5. Scenár CLM vykazuje pre historické a budúce obdobia výskyt maximálnych úhrnov dažďov od prvej polovice júla až do prvej polovice augusta a to vo všetkých trvaniach. Pre porovnanie boli do výsledkov zapracované aj sezónnosti z reálnych meraní pre všetky stanice. Sezón-



Obr. 2. Lokalizácia zvolených klimatologických staníc na území Slovenska.
Fig. 2. Location of selected climatological stations in Slovakia.

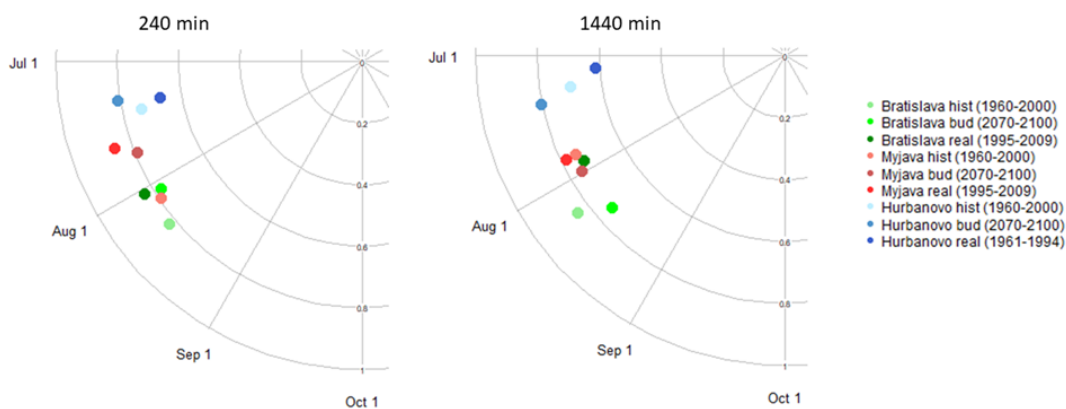


Obr. 3. Zmeny v sezónnosti krátkodobých dažďov vo vybraných staniách pre trvanie 60 minút.
Fig. 3. Seasonality changes of short-term rainfalls in the selected climatological stations for duration of 60 minutes.



Obr. 4. Zmeny v sezónnosti krátkodobých dažďov vo vybraných staniach pre trvanie 120 a 180 minút.

Fig. 4. Seasonality changes of short-term rainfalls in the selected climatological stations for durations of 120 and 180 minutes



Obr. 5. Zmeny v sezónnosti krátkodobých dažďov vo vybraných staniach pre trvanie 240 a 1440 minút.

Fig. 5. Seasonality changes of short-term rainfalls in the selected climatological stations for durations of 240 and 1440 minutes.

nosť z reálnych pozorovaní sa takmer zhodovala so simulovanou budúcnosťou s odchýlkou maximálne jedného týždňa. Najmenšie zmeny medzi budúcim obdobím a reálnymi pozorovaniami sa prejavili v stanici Hurbanovo kde vo všetkých trvaniach je sezónnosť výskytu v prvej polovici mesiaca júl. V prípade staníc Myjava a Bratislava je sezónnosť pre jednotlivé trvania odlišná a pohybuje sa na prelome mesiacov júl a august.

Trendy v krátkodobých úhrnov dažďov sú jednou z charakteristík budúcich zmien. Z výsledkov našich analýz vyplynulo, že všetky trendy sú nevýznamné na hladine významnosti 90 %. Pre historické obdobie je v staniach Bratislava a Myjava stúpajúci trend vo všetkých trvaniach, v stanici Hurbanovo je stúpajúci trend iba v trvaní 60 minút, pre ostatné trvania majú trendy klesajúci charakter. Pre stanicu Bratislava v reálnych pozorovaní prevláda stúpajúci trend vo všetkých trvaniach okrem denného úhrnu. V staniach Myjava a Hurbanovo na-

opak prevláda klesajúci trend v reálnych pozorovaní. Do budúcnosti majú stúpajúci charakter trendy pre trvania 60, 120, 240 minút pre všetky stanice. Pre Bratislavu a Myjavu je klesajúci charakter trendov v trvaniach 180 a 1440 minút. Pre stanicu Hurbanovo je stúpajúci trend vo všetkých analyzovaných trvaniach. Výsledky analýzy (viď tab. 1) predpokladajú teda väčšinou stúpajúci charakter trendov v budúcich intenzitách krátkodobých dažďov. Nasledujúcim krokom štúdie bolo určenie škálovacích exponentov a návrhových hodnôt úhrnov dažďov. Výsledky určenia škálovacích exponentov sú uvedené v tab. 2. V prípade reálnych pozorovaní odhadnuté škálovacie exponenty prevažujú budúce scenárové hodnoty. Pre stanicu Hurbanovo boli k dispozícii dlhšie pozorované rady, škálovanie bolo preto vykonané pre obdobia 1961 – 2009 a 1995 – 2009 pre porovnanie s ostatnými stanicami. V prípade kratšieho obdobia škálovací exponent má o 0,05 vyššiu hodnotu čo v prípade návrhových

zrážok pre 60 min trvanie zrážkového oddielu zodpovedá navýšeniu o 15 %. Do budúcnosti škálovací exponent má rastúci charakter pre stanice Bratislava-Koliba a Hurbanovo. Pre stanicu Myjava škálovacie exponenty do bu-

dúcnosti klesajú. Pomocou exponentov boli určené návrhové hodnoty intenzít dažďov a výsledky sú interpretované na obr. 6 – 8.

V prípade návrhových hodnôt intenzít dažďov sa pred-

Tabuľka 1. Zmeny v trendoch intenzít krátkodobých dažďov pre analyzované stanice pre historické a budúce obdobie, a pre reálne pozorovania

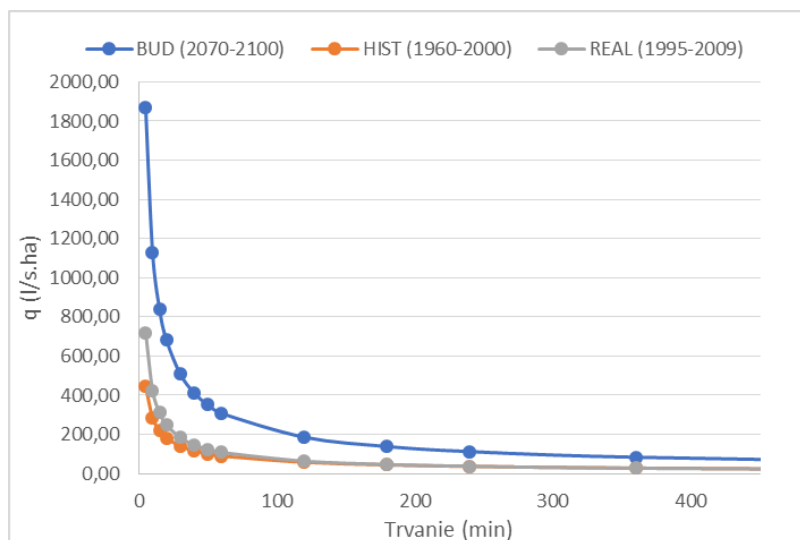
Table 1. Changes in short-term rainfall trends for the climatological stations analyzed for the historical, actual and future periods

Stanice	Trvanie [min]				
	60	120	180	240	1440
Bratislava – hist. (1960 – 2000)	+	+	+	+	+
Bratislava – bud. (2070 – 2100)	+	+	–	+	–
Bratislava – real. (1995 – 2009)	+	+	+	+	–
Myjava – hist. (1960 – 2000)	+	+	+	+	+
Myjava – bud. (2070 – 2100)	+	+	–	+	–
Myjava – real. (1995 – 2009)	–	+	–	–	–
Hurbanovo – hist. (1960 – 2000)	+	–	–	–	–
Hurbanovo – bud. (2070 – 2100)	+	+	+	+	+
Hurbanovo – real. (1961 – 2009)	–	–	–	–	+

Tabuľka 2. Odvozené škálovacie exponenty pre historické, reálne a budúce obdobie v analyzovaných klimatologických staniach

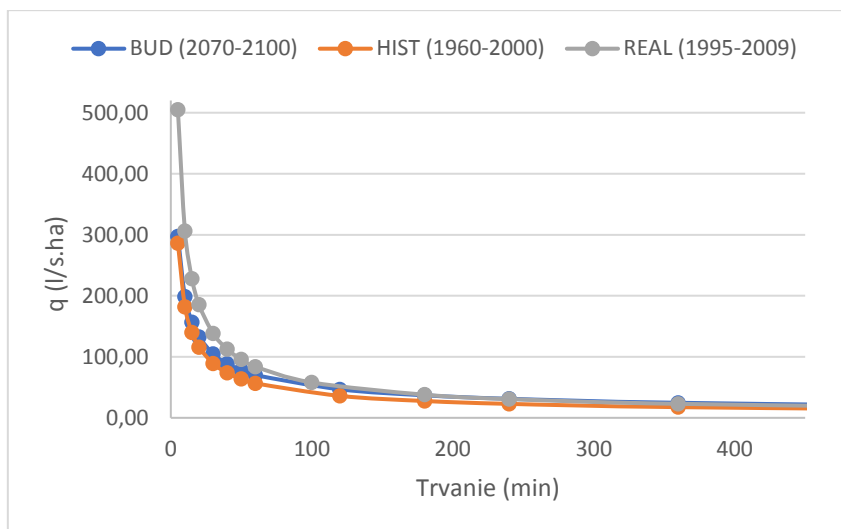
Table 2. Derived scaling exponents for historical, actual and future periods for analyzed climatological stations

Stanice	Obdobie		
	Minulosť (1960 – 2000)	Reálne pozorovania (1961 – 2009, 1995 – 2009)	Budúcnosť (2070 – 2100)
Bratislava	0,6424	0,7633	0,7262
Myjava	0,6525	0,7224	0,5822
Hurbanovo	0,6184	0,7713 0,8201	0,6773



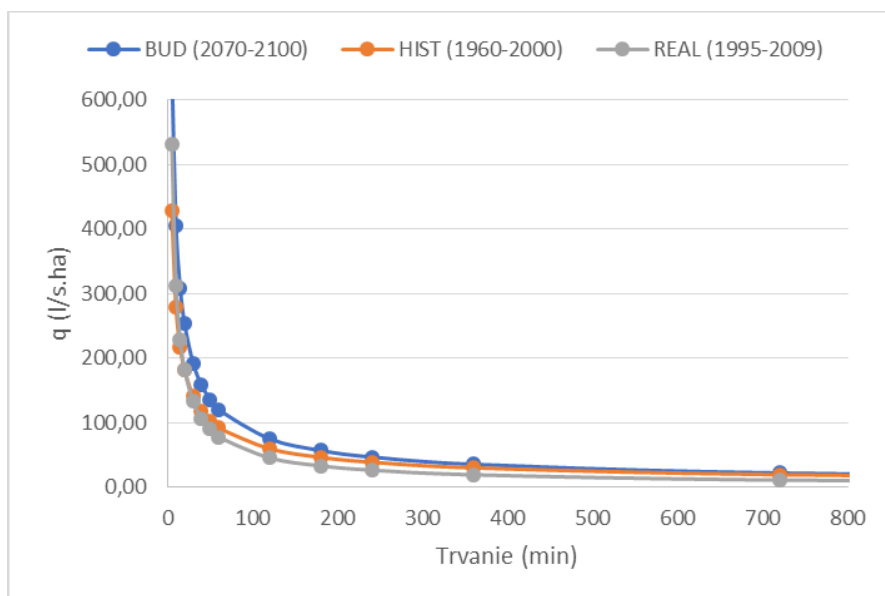
Obr. 6. Čiary intenzít návrhových krátkodobých dažďov pre klimatologickú stanicu Bratislava-Koliba pre historické, reálne a budúce obdobie pre dobu opakovania 100 rokov.

Fig. 6. The IDF lines of design short-term rainfall for Bratislava-Koliba climatological station for historical, actual and future period and for a return period of 100 years.



Obr. 7. Čiary intenzít návrhových krátkodobých dažďov pre klimatologickú stanicu Myjava pre historické, reálne a budúce obdobie pre dobu opakovania 100 rokov.

Fig. 7. The IDF lines of design short-term rainfall for Myjava climatological station for historical, actual and future period and for a return period of 100 years.



Obr. 8. Čiary intenzít návrhových krátkodobých dažďov pre klimatologickú stanicu Hurbanovo pre historické, reálne a budúce obdobie pre dobu opakovania 100 rokov.

Fig. 8. The IDF lines of design short-term rainfall for Hurbanovo climatological station for historical, actual and future period and for a return period of 100 years.

pokladá ich nárast do budúcnosti a to aj v porovnaní návrhových hodnôt intenzít dažďov z reálnych pozorovaní v staniách Bratislava a Hurbanovo. V prípade stanice Myjava sú reálne pozorovania intenzít dažďov vyššie ako scenárová budúcnosť. Je to z dôvodu, že v pozorovanom období sa vyskytlo niekoľko extrémnych udalostí, kde sa pozorované hodnoty 60, 120 a 180 min. dažďov blížili

100-ročným úhrnom, ktoré výrazne ovplyvnili návrhové hodnoty.

Záver

Táto štúdia je zameraná na analýzu budúcich zmien vo vybraných charakteristikách krátkodobých dažďov pou-

žitím klimatického scenára CLM na území západného Slovenska. Na analýzu boli zvolené 3 klimatologické stanice Myjava, Bratislava a Hurbanovo. Analyzované boli zmeny v sezónnosti, trendoch a v škálovacích exponentoch a následné v návrhových intenzitách krátkodobých úhrnov dažďov.

Analýza sezónnosti preukázala maximálne týždenný posun výskytu maximálnych úhrnov zrážok oproti doterajšiemu výskytu na skoršie obdobie v mesiacoch júl a august. Ďalším krokom bola analýza trendov v intenzitách krátkodobých dažďov. Na hladine významnosti 90 % nebol detegovaný žiaden významný trend a to vo všetkých analyzovaných stanicích a obdobiach. Scenár do budúcnosti preukázal prevládajúci stúpajúci trend v analyzovaných stanicích. V analýze škálovacích vlastností sa škálovací exponent do budúcnosti v porovnaní s minulosťou zvýšil pre stanice Bratislava a Hurbanovo. V závere boli odvodené aj návrhové intenzity dažďov do budúcnosti. Z výsledkov je možné usúdiť zvýšenie intenzít krátkodobých dažďov do budúceho obdobia 2070 – 2100 v analyzovaných stanicích s výnimkou stanice Myjava, kde reálne pozorovania boli ovplyvnené extrémnou zrážkovou činnosťou vo viacerých pozorovaných rokoch čo spôsobilo vyššie návrhové hodnoty do trvania 180 minút oproti budúcnosti.

Pod'akovanie

Táto práca vznikla vďaka podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-15-0497 a projektu VEGA 1/0891/17. Autori ďakujú za podporu pri tvorbe tohto príspevku.

Literatúra

- Bryndal, T., Franczak, P., Krocak, R., Cabaj, W., Kołodziej, A. (2017): The impact of extreme rainfall and flash floods on the flood risk management process and geomorphological changes in small Carpathian catchments: A case study of the Kasiniczanka river (Outer Carpathians, Poland), *Natural Hazards*, Vol. 88, No. 1, 2017, 95–120.
- Burn, D. H. (1997): Catchments similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures, *J. Hydrology*, Vol. 202, No. 1-4, 1997, 212–230.
- Darwish, M. M., Fowler, H. J., Blenkinsop, S., Tye, M. R. (2018): A regional frequency analysis of UK sub-daily extreme precipitation and assessment of their seasonality, *Int. J. Climatol*, Vol. 38, No. 13, 2018, 4758–4776.
- De Franco, M., Minniti, M., Versaci, R., Foti, G., Canale, C., Puntorieri P. (2018): Flash floods in urban areas: Case studies in Reggio Calabria (Italy), in: Mannina G. (Ed) *New trends in urban drainage modeling*, Springer, 2018, 441–446.
- Földes, G., Kohnová, S., Marková, R. (2018): Analýza budúcich zmien v charakteristikách úhrnov atmosférických zrážok krátkodobých dažďov na klimatologickej stanici Myjava. In *Acta hydrologica Slovaca*. Roč. 19, č. 1 (2018), 78 – 83. ISSN 1335-6291.
- Földes, G., Labat, M. M. (2018): Metódy analýz budúcich zmien v charakteristikách intenzít krátkodobých zrážok. In *Zborník prednášok z Konferencie mladých výskumníkov - KOMVY 2018 [elektronický zdroj]: Podhájska, SR, 17. - 19. september 2018. 1. vyd. Bratislava: Spektrum STU, 2018, CD-ROM, 12 – 20. ISBN 978-80-227-4847-6.*
- Hlavčová, K., Kohnová, S., Borga, M., Horvát, O., Šťastný, P., Pekárová, P., Majerčáková, O., Danáčová, Z. (2018): Post-event analysis and flash flood hydrology in Slovakia, *Journal of Hydrology and Hydro-mechanics*, 64(4), 2016, 304–315.
- Kendall, M. G. (1955): *Rank correlation methods*, Griffin, London, 1955.
- Koutsoyiannis D., Foufoula-Georgiu E. (1993): A scaling model of storm hyetograph, *Water Resources Research*, Vol. 29, No. 7, 1993, 2345–2361.
- Labat, M. M., Korbelová, L., Kohnová, S., Hlavčová, K. (2018): Design of measures for soil erosion control and assessment of their effect on the reduction of peak flows, *Pollack Periodica*, Vol. 13, No. 3, 2018, 209–219.
- Lapin, M., Bašták-Ďurán, I., Gera, M., Hrvol', J., Kremler, M., Melo, M. (2012): New climate change scenarios for Slovakia based on global and regional general circulation models. – *Acta Meteorologica Universit. Comen.* 37, 25–74.
- Mallakpour, I., Villarini, G. (2017): Analysis of changes in the magnitude, frequency, and seasonality of heavy precipitation over the contiguous USA, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 130, No. 1-2, 2017, 345–363.
- Mann, B. H. (1945): Nonparametric tests against trend, *Econometrica*, Vol. 13, No. 3, 1945, 245–259.
- Nakicenovic, N., Swart, R. (2000): Special report on emission scenarios, A special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on climate change, *Special Report on Emissions Scenarios*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2000.
- Németova, Z., Kohnová, S., Földes, G. (2019): Evaluation of Effect of Different Crop Types On Soil Water Erosion: Case Study of the Myjava Hill Land, Slovakia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471(2), 2019, 022026. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/2/022026>.
- Parajka J., Kohnová S., Bálint G., Barbuc M., Borga M., Claps P., Cheval, S., Dumitrescu, A., Gaume, E., Hlavčová, K., Merz, R., Pfaundler, M., Stancalie, G., Szolgay, J., Blöschl, G. (2010): Seasonal characteristics of flood regimes across the Alpine–Carpathian range, *Journal of Hydrology*, Volume 394, 2010, Issues 1–2.
- Pascale S., Lucarini, V., Feng, X., Porporato, A., Hasson, S. (2016): Projected changes of rainfall seasonality and dry spells in a high greenhouse gas emissions scenario, *Climate Dynamics*, Vol. 46, No. 3-4, 2016, 1331–350.
- Svoboda, V., Hanel, M., Máca, P., Kyselý, J. (2016): Projected changes of rainfall event characteristics for the Czech Republic, *J. Hydrol. Hydromech.*, 64, 4, 415–425
- Vasiláki, M., Kohnová, S., Hanel, M., Szolgay, J., Hlavčová, K., Loukas, A., Rončák, P. (2017): Detection of future changes in seasonality in extreme short-term rainfall in selected stations of Slovakia, *Contr. to Geophysics and Geodesy*, Vol. 47, No. 2, 2017, 133–148.

ANALYSIS OF FUTURE CHANGES IN SHORT-TERM RAINFALL CHARACTERISTICS IN WESTERN SLOVAKIA BY USING CLM REGIONAL CLIMATE SCENARIO

In the last decade, flash floods caused by short-term precipitations have become the most important natural hazards in Europe. This is also reflected by large number of studies focusing on extreme precipitation, flash floods, flood protection; as e.g. seasonal characteristics of flood regimes across the Alpine–Carpathian range (Parajka et al., 2010), flash floods in urban areas: Case studies in region Calabria (Italy) (Franco et al., 2018), etc. The Western Slovakia is often affected by short-term rainfall during the summer period, these precipitations have a short duration with high intensity. Therefore, short-term rainfalls represent a great risk, causing high economic damage as well as endangering human lives. The input data from the CLM (Community Land Model) simulation, were provided by doc. RNDr. Martin Gera, PhD. from Comenius University in Bratislava. The applied regional climate scenario consisted of hourly rainfall depths for the past period (1960–2000) and for the future period (2070–2100).

The area of interest is located in the western part of Slovakia. Three climatological stations were selected in the northern part the Myjava climatological station, in the middle part the Bratislava-Koliba climatological station and in the south the Hurbanovo climatological station. Stations were also selected for availability of actual observations to compare the results from the scenario. The Bratislava-Koliba climatological station (altitude 286 m above sea level) and the Hurbanovo climatological station (115 m above sea level) are situated in the south-west of Slovakia on the Danubian lowland. The area belongs to the warmest and the driest area of Slovakia. The Myjava climatological station (altitude 360 m above sea level) is located in the northern part of western Slovakia on Myjava hill land. The territory belongs to a slightly warm climatic zone with a mountain climate and a small temperature inversion.

In this paper several methodologies were tested: for the analysis of seasonality, the Burn's vector was used.

This method is the most commonly used to estimate the seasonal occurrence of extreme phenomena. To estimate changes in trends in rainfall events the Mann-Kendall test was applied. The final step was to estimate the scaling coefficients by using a simple scaling method. By seasonal analysis, the occurrence of maximum precipitation depth was recorded in July and August. For comparison with the scenario, seasonal phenomena were also determined from actual measurements. The results can be interpreted by slight seasonal changes at the Hurbanovo station, where the scenario and actual measurements showed the occurrence in the first half of July with minimal changes for the future. For the Bratislava-Koliba and Myjava stations the occurrences were shown at the interval of second half of June and first half of August. The largest deviations from actual observations from the scenario were in durations 60 to 180 minutes, and the smallest deviations were at durations 240 and 1440 minutes. The next step was the analysis of trends in the intensities of short-term rainfall. There was not significant trend detected in all analyzed stations at the 90% level of significance. In the case of actual measurements, the trends in Myjava and Hurbanovo stations, with predominant decreasing tendency. The scenario for the future has shown a predominantly rising trend in the analyzed stations. In scaling characteristics analysis, the scaling exponent has increased for the future compared to the past period for Bratislava and Hurbanovo stations. From the results, it is possible to estimate the increase in intensity at the observed stations as the future scenario exceeds the historical and actual values, except for the Myjava station where actual observations were affected by extreme precipitation activity over several observed years, causing higher values up to 180 minutes of duration. The analysis demonstrates the need to reconsider the design values of rainfall in the site for future assessments and designing of water management structures.

Ing. Gabriel Földes,
prof. Ing. Silvia Kohnová, PhD.
Ing. Marija Mihaela Labat
Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta,
Slovenská technická univerzita v Bratislave,
Radlinského 11, 810 05 Bratislava 1
Tel.: +421 902 681 422
E-mail: gabriel.foldes@stuba.sk,
silvia.kohnova@stuba.sk,
marija.labat@stuba.sk