

Ing. Gabriel Földes

VPLYV KLIMATICKEJ ZMENY NA NÁVRHOVÉ HODNOTY KRÁTKODOBÝCH INTENZÍT
DAŽĎOV NA SLOVENSKU

Autoreferát dizertačnej práce

na získanie akademického titulu doktor (philosophiae doctor, PhD.)
v doktorandskom študijnom programe:

3659 - Vodohospodárske inžinierstvo

Bratislava 2021

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA v BRATISLAVE
STAVEBNÁ FAKULTA

Meno a priezvisko: Ing. Gabriel Földes

Autoreferát dizertačnej práce:

Vplyv klimatickej zmeny na návrhové hodnoty krátkodobých intenzít dažďov na Slovensku

Na získanie akademického titulu:

doktor (philosophiae doctor, v skratke „PhD.“)

V doktorandskom študijnom programe:

3659 – Vodohospodárske inžinierstvo

V študijnom odbore:

35. - stavebníctvo

Forma štúdia:

denná

Miesto a dátum:

Bratislava, 17.08.2021

Dizertačná práca bola vypracovaná na:

Katedre vodného hospodárstva krajiny Stavebnej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave

Predkladateľ: Ing. Gabriel Földes

Katedra vodného hospodárstva krajiny,
Stavebná fakulta STU
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Školiteľ: prof. Ing. Silvia Kohnová, PhD.

Katedra vodného hospodárstva krajiny,
Stavebná fakulta STU
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Oponenti:

prof. Ing. Jaroslav Škvarenina, CSc.
Katedra prírodného prostredia
Lesnícka fakulta Technickej univerzity vo Zvolene
Ul. T.G. Masaryka 2117/24, 960 01 Zvolen

RNDr. Pavla Pekárová, DrSc.
Ústav Hydrológie SAV
Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava

Ing. Pavel Šťastný, PhD.
Slovenský hydrometeorologický ústav
Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

Autoreferát bol rozoslaný:.....

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa: o hodine
na Katedre vodného hospodárstva krajiny, Stavebnej fakulte STU, Radlinského 11, 810
05 Bratislava.

prof. Ing. Stanislav Uncík, PhD.
Dekan

OBSAH

ÚVOD.....	4
1. KLIMATICKÉ MODELY A SCENÁRE.....	5
2. CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE	7
3. VSTUPNÉ ÚDAJE	7
4. METODIKA A VÝSLEDKY PRÁCE.....	9
4.1. Analýza zmien trendov v krátkodobých úhrnoch dažďov.....	9
4.3. Odvodenie škálovacích exponentov krátkodobých úhrnov dažďov a odhad návrhových hodnôt intenzít krátkodobých dažďov	13
5. ZÁVER	16
VEDECKÝ PRÍNOS DIZERTAČNEJ PRÁCE	18
SUMMARY	18
LITERATÚRA.....	19
PREHĽAD PUBLIKAČNEJ ČINNOSTI	20

ÚVOD

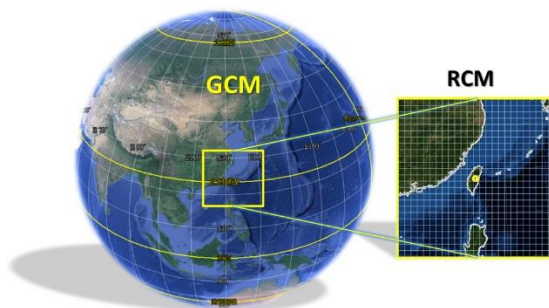
Krátkodobé dažde sa v posledných desaťročiach stali jedným z najčastejším prírodných rizík badateľným po celom svete. Extrémne privalové povodne spôsobené intenzívnymi dažďami sa vyznačujú sezónnymi charakteristikami a vyskytujú sa hlavne v letných mesiacoch. Zrážkové extrémny majú veľký vplyv na spoločnosť, ovplyvňujú život ľudí povodňami, suchom, poškodením majetku a infraštruktúry, a taktiež aj na ľudských obetiach. Preto je dôležité poznať charakteristiky týchto dažďov, kvantifikovať ich veľkosť a frekvenciu v súčasnosti a nielen dôležitým je skúmanie zmien zrážok v budúcnosti (Chan et al. 2014). Extrémy a zmeny v charakteristikách krátkodobých dažďov sú pripisované klimatickej zmene, klimatická zmena - slovné spojenie, ktoré sa stalo súčasťou našich každodenných životov. Klimatické zmeny úzko súvisia so zmenou teplôt zemského povrchu, priemerná teplota zemského povrchu je dnes na úrovni v okolí 14°C (NOAA National Centers for Environmental Information 2020). Dôkazom pre zmeny klímy a globálneho otepľovania môžeme považovať rast

globálnej teploty vzduchu, otepľovanie oceánov, zmenšovanie ľadovcov, zmenšovanie snehovej pokrývky, stúpanie hladiny morí, okysľovanie oceánov a v neposlednom rade zvýšený počet extrémnych udalostí (NASA 2019).

1. KLIMATICKÉ MODELY A SCENÁRE

Z dôvodu predikcie a potreby prispôbiť sa klimatickým zmenám, sa v posledných desaťročiach vyvíjajú rôzne klimatické modely a scenáre. Sú to matematické modely, na základe ktorých je možné simulovať vplyv klimatických zmien na životné prostredie. Sú oveľa zložitejšie a komplexnejšie ako modely na predpoveď počasia. Klimatické modely v sebe zahŕňajú viac atmosférických, oceánskych a suchozemských procesov ako predpovedné modely, procesy ako napríklad cirkulácia v oceánoch a topenie ľadovcov. Tieto modely sú zvyčajne generované z matematických rovníc, ktoré používajú tisíce dátových vstupov na simuláciu prenosu energie a vody, ku ktorému dochádza v klimatických systémoch. Tieto modely umožňujú testovať hypotézy a vyvodzovať závery o minulých a budúcich klimatických systémoch. Klimatické modely v sebe zahŕňajú viac atmosférických, oceánskych a suchozemských procesov ako predpovedné modely, procesy ako napríklad cirkulácia v oceánoch a topenie ľadovcov. Tieto modely sú zvyčajne generované z matematických rovníc, ktoré používajú tisíce dátových vstupov na simuláciu prenosu energie a vody, ku ktorému dochádza v klimatických systémoch. Tieto modely umožňujú testovať hypotézy a vyvodzovať závery o minulých a budúcich klimatických systémoch. GCM sú realistické simulácie časovo spriemerovaného obehu atmosféry, kedy je atmosféra hnaná s pozorovaným sezónne a rozsahovo sa meniacim tokom slnečného žiarenia vo vrchných častiach atmosféry. Modely riešia numerické rovnice pre raster, ktorý má zvyčajne horizontálne rozlíšenie rádovo 200 km a 6 až 12 úrovní vo vertikále. Rozlíšenie GCM môže byť od 200 - 600 km a 10 - 20 zvislých vrstiev, v niektorých prípadoch môže byť vrstiev až 30 (oceány). Regionálny klimatický model (RCM, Regional Climate Model) je numerický model predpovede klímy, ktorý je poháňaný špecifikovanými laterálnymi a oceánskymi podmienkami z globálneho klimatického modelu (GCM) alebo súboru údajov založeného na pozorovaní (reanalýza), ktorý simuluje procesy v atmosfére a na povrchu Zeme, pričom sa zohľadňujú: vysoké rozlíšenie topografických údajov, kontrasty medzi pevninou a morom, povrchové charakteristiky a iné zložky systému Zeme (obr. 1.1). Pretože RCM sa vzťahujú len na obmedzenú oblasť, hodnoty na ich hraniciach musia byť explicitne špecifikované, označované ako okrajové podmienky. Výsledkami z GCM alebo reanalýzy sú RCM inicializované s počiatočnými podmienkami a poháňané pozdĺž svojich laterálnych hraníc atmosféry a hraníc s povrchom s časovo premennými podmienkami. Avšak, riešenia z RCM môžu byť v rozpore s riešeniami z

globálneho modelu, čo by mohlo byť v niektorých aplikáciách problematické (http://glossary.ametsoc.org/wiki/Regional_climate_model, 14.04. 2019)



Obr. 1.1 – Porovnanie Globálneho a Regionálneho klimatického modelu

(https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/v2/knowledge_faq_view.aspx?kid=20150408135422, 14.04.2019).

1.1. Model CLM (Community Land Model)

Model CLM vznikol ako projekt spolupráce medzi vedcami v sekcii pozemných vied (TSS – Terrestrial Sciences Section) a divíziou klimatických a globálnych dynamík (CGD – Climate and Global Dynamics Division) v Národnom centre pre výskum atmosféry (NCAR – Nation Center for Atmospheric Research) a pracovnej skupine pôdneho modelu CESM (Community Earth System Model). Ďalšími hlavnými pracovné skupiny, ktoré boli tiež zapojené do CLM scenára , sú bio-geochemická skupina, paleoklimatická skupina, skupina zaoberajúca sa klimatickou zmenou a skupina posudzovateľov ((UCAR) 2019).

Model formalizuje a kvantifikuje koncepcie ekologickej klimatológie. Ekologická klimatológia je interdisciplinárny rámec na pochopenie toho, ako prirodzené a ľudské zmeny vo vegetácii ovplyvňujú klímu. Skúma fyzikálne, chemické a biologické procesy, ktorými terestriálne ekosystémy ovplyvňujú a sú ovplyvňované klímou v rôznych priestorových a časových mierkach. Ústrednou témou je, že terestrické ekosystémy prostredníctvom svojej energie, vody, chemických prvkov a stopových plynov sú dôležitými determinantmi klímy. Časti modelu pozostávajú z: heterogenity povrchu, bio-geofyziky, hydrologického cyklu, bio-geochemie, ekosystémovej dynamiky a časť ľudského rozmeru. CLM sa zaoberá niekoľkými aspektmi, ktoré umožňujú štúdium obojsmerných interakcií medzi ľudskými činnosťami v krajine a podnebí vrátane

zmien zemského pokryvu/zmien využívania pôdy, poľnohospodárskych postupov a urbanizácie (Böhm a kol., 2006).

2. CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE

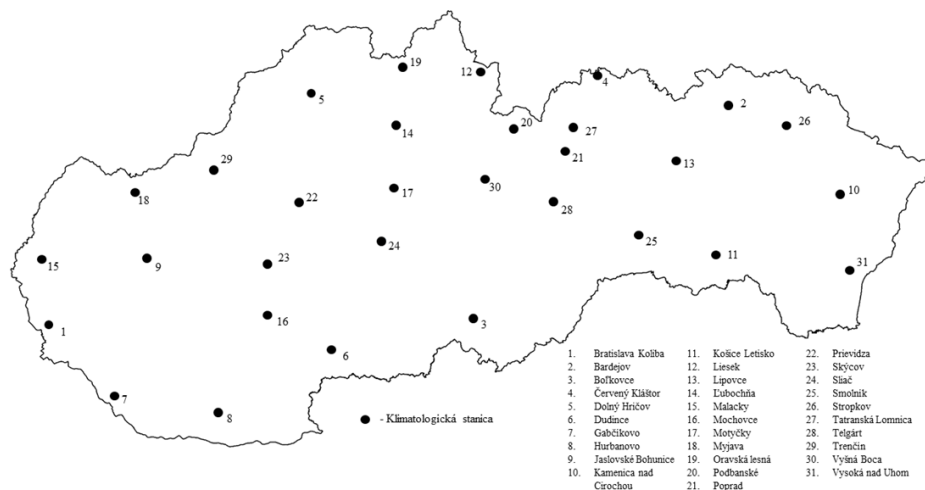
Cieľom dizertačnej práce je detekcia historických a budúcich zmien krátkodobých úhrnov zrážok a ich charakteristík na Slovensku. Táto analýza bude pozostávať z analýzy simulovaných časových radov, zameraná na analýzu trendov, sezónnosti, bodov zlomu, a zmien v charakteristikách intenzít krátkodobých dažďov trvania od jednej hodiny až do jedného dňa. Pre detegovanie zmien v návrhových hodnotách intenzít krátkodobých dažďov, dôležitých najmä v oblasti inžinierskej hydrológie, budeme aplikovať postupy založené na metodike jednoduchého škálovania zrážok. Ciele práce môžeme zhrnúť do nasledovných bodov:

- Príprava a spracovanie vstupných údajov minútových krátkodobých úhrnov dažďov z 31 klimatologických staníc Slovenska na výpočet intenzít krátkodobých úhrnov dažďov pre trvania 60, 120, 180, 240 a 1440 min.
- Zvolenie vhodného CLM scenára na testovanie, výstupy klimatických charakteristík z regionálnych klimatických modelov do roku 2100, boli riešené v spolupráci s klimatológmi z UK Bratislava.
- Analýza zmien v charakteristikách krátkodobých úhrnov dažďov ako sú určenie trendov, bodov zlomu, indexov sezónnosti a pod. boli vykonané pre zvolené scenárové historické a dve budúce obdobia.
- Určenie škálovacích exponentov a detekcia historických a budúcich zmien pre všetky analyzované klimatologické stanice a to pre teplý polrok ako aj zvolené obdobia radov pozorovaní.
- Odhad návrhových úhrnov dažďov pomocou škálovacích exponentov a vyjadrenie zmien v návrhových intenzitách úhrnov krátkodobých dažďov. Detekcia faktorov vplývajúcich na zmeny návrhových hodnôt intenzít krátkodobých dažďov v rámci analyzovaného územia.

3. VSTUPNÉ ÚDAJE

Na analýzu charakteristík krátkodobých úhrnov dažďov v tejto práci boli zvolené modelované scenárové dažďové úhrny z klimatologického modelu Community Land Model (CLM).

Vstupné údaje tvorili minútové úhrny zrážok zo scenárových dát z obdobia od roku 1961 až do roku 2100. Spracovanie dát prebiehalo v programoch Matlab, R Studio a MS Excel. Dátový súbor aj v tejto práci bol rozdelený na jednotlivé obdobia pre lepšiu možnosť porovnania a zhodnotenia budúcich zmien v krátkodobých úhrnoch dažďov. Na analýzu boli zvolené 3 časové obdobia a to nasledovne: historické obdobie v dĺžke 60 rokov a to od roku 1961 do 2020, obdobie blízkej budúcnosti v dĺžke 40 rokov od roku 2031 do 2070, a obdobie ďalej budúcnosti v dĺžke 30 rokov od roku 2071 do 2100. V každom zvolenom období bola analýza vykonaná na zvolených trvaniach dažďov a to pre 60-, 120-, 180-, 240- a 1440-minútové trvanie dažďov počas teplého polroka (apríl-október). Pre porovnanie scenárových výstupov boli použité reálne merania a to na 24 klimatologických stanicích, kde tieto dáta boli dostupné, dĺžka pozorovaných období bola od roku 1995 do roku 2009, výnimku tvorila klimatologická stanica Hurbanovo kde dĺžka reálnych pozorovaní bola od roku 1961-2019. Na analýzu charakteristík úhrnov dažďov bolo poskytnutých Slovenským hydrometeorologickým ústavom v Bratislave (SHMÚ) 31 klimatologických staníc naprieč celým územím Slovenska zobrazených na obr. č. 3.1.



Obr. 3.1 – Lokalizácia vybraných klimatologických staníc na území Slovenska s poradovými číslami. 1.- Bratislava Koliba, 2.- Bardejov, 3.- Boľkovce, 4.- Červený Kláštor, 5.- Dolný Hričov, 6.- Dudince, 7.- Gabčíkovo, 8.- Hurbanovo, 9.- Jaslovské Bohunice, 10.- Kamenica nad Cirochou, 11.- Košice Letisko, 12.- Liesek, 13.- Lipovce, 14.- Ľubochňa, 15.- Malacky, 16.- Močovce, 17.- Motyčky, 18.- Myjava, 19.- Oravská Lesná, 20.- Podbanské,

21.- Poprad, 22.- Prievidza, 23.- Skýcov, 24.- Sliach, 25.- Smolník, 26.- Stropkov, 27.- Tatranská Lomnica, 28.- Telgárt, 29.- Trenčín, 30.- Vyšná Boca, 31.- Vysoká nad Uhom.

4. METODIKA A VÝSLEDKY PRÁCE

Po úprave a spracovaní vstupných údajov, boli analyzované zmeny charakteristík krátkodobých úhrnov dažďov a odvodenie návrhových intenzít dažďov na území Slovenskej republiky. Medzi hlavné časti práce patrili analýzy zmeny v trendoch krátkodobých dažďových úhrnov, zmeny sezónnosti extrémnych dažďových úhrnov, zmeny v návrhových intenzitách krátkodobých dažďov, na ktoré boli použité odvodené škálovacie exponenty pomocou metódy jednoduchého škálovania a pre obdobia historické (1961-2020), blízkej (2031-2070) a ďalekej (2071-2100) budúcnosti.

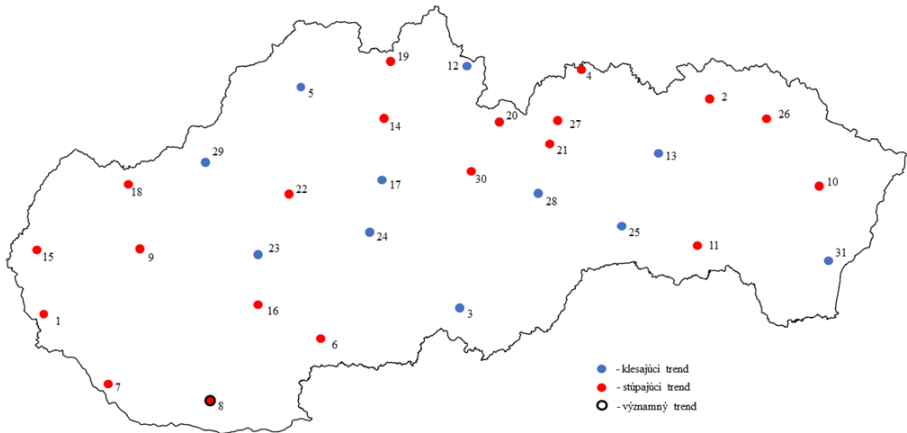
4.1. Analýza zmien trendov v krátkodobých úhrnoch dažďov

Detekcia zmien trendov v krátkodobých úhrnoch dažďov je dôležitou súčasťou pri analýzach charakteristík úhrnov dažďov pri detekcii zmien v budúcnosti. V práci bol použitý Mann-Kendallov test trendu. Účelom Mann-Kendallovho (Mann, 1945; Kendall, 1975) testu trendov je štatistické posúdenie významnosti stúpajúceho alebo klesajúceho trendu vybranej veličiny v čase. Test je založený na korelácii medzi poradím radov a ich časovým poradím. Významnosť klesajúceho alebo stúpajúceho trendu je závislá od trvalo znižujúcej alebo zvyšujúcej sa premennej v čase. Hladina významnosti trendov bola stanovená na 90%.

Trendy do budúcnosti majú stúpajúci charakter vo väčšine analyzovaných klimatologických staniach. Významné trendy na hladine významnosti 90% so stúpajúcou tendenciou boli detegované na staniach Bratislava-Koliba (tab. 4.1), Boľkovce, Červený Kláštor, Hurbanovo, Liesek, Lipovce, Ľubochňa, Smolník, Tatranská Lomnica a Telgárt. Do budúcich období je možné konštatovať, že najmä v oblastiach juhozápadného, a východného Slovenska je predpoklad rastúceho trendu v krátkodobých úhrnoch dažďov najmä v trvaniach od 60 do 240 minút ako príklad je na obr. 4.1 je uvedený výstup pre 180 minútové trvanie pre obdobie ďalekej budúcnosti 2071-2100. Výsledky taktiež preukazujú rastúci trend na nadpolovičnej väčšine analyzovaných staníc v období blízkej budúcnosti (2031-2070) a to vo väčšej miere ako v prípade obdobia ďalekej budúcnosti (2071-2100) kde zistené zmeny v trendoch boli regionálne odlišné a rastúce trendy boli zistené na území západného Slovenska a na severe východného Slovenska.

Tab. 4.1 – Trendy na klimatologickej stanici Bratislava-Koliba

P.Č.	Stanica	Obdobie / Trvanie (min)	60	120	180	240	1440
1	BA - Koliba	1961-2020	↘	↘	↗	↗	↗
		2031-2070	↘	↘	↘	↘	↘
		2071-2100	↗	↗	↗	↗	↘

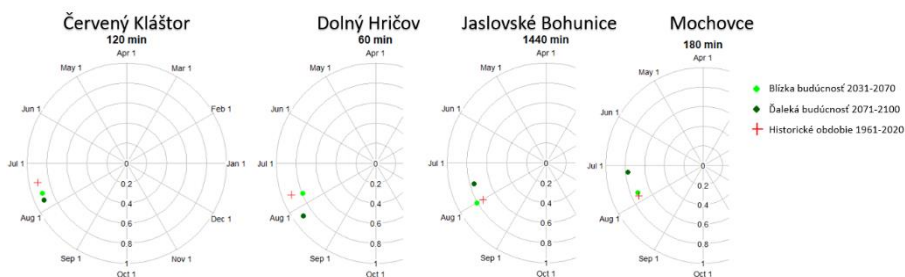


Obr. 4.1 – Analýza zmien trendov krátkodobých úhrnov dažďov v trvaní 180 min pre obdobie ďalekej budúcnosti (2071-2100).

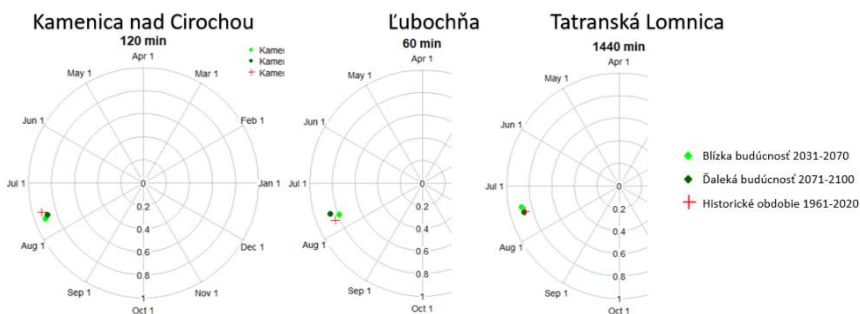
4.2. Analýza zmien sezónnosti výskytu maximálnych krátkodobých úhrnov dažďov

Analýza sezónnosti výskytu maximálnych úhrnov krátkodobých dažďov bola vykonaná pre detekciu zmien výskytu extrémov do budúcich období v priebehu teplého polroka. Pri analýze sa použila metodika Burnovho vektoru. Metóda Burnovho vektoru (Burn, 1997) je často využívanou metódou pre odhad sezónnosti výskytu maximálnych úhrnov dažďov. Metóda opisuje variabilitu dátumu, pri ktorom sa maximálny úhrn dažďov vyskytuje. Smer vektora zodpovedá dňom výskytu v priebehu roka, zatiaľ čo jeho dĺžka opisuje variabilitu okolo dátumu výskytu. Dátum výskytu predstavuje priemernú pozíciu maximálnej udalosti, ktoré sú vynesené v polárnych súradniciach na jednotkovej kružnici.

V analýze zmien sezónnosti krátkodobých úhrnov dažďov je zmena v posune výskytu maximálnych úhrnov dažďov v jednotlivých trvaniach (60 až 1440 minút). Analyzoval sa posun vo výskyte maximálnych úhrnov dažďov budúcich období od historického obdobia (1961-2020). Najväčšie zmeny v posune výskytu maximálnych úhrnov krátkodobých dažďov budúcich období od historického obdobia boli zistené na staniciach Červený Kláštor, Dolný Hričov, Hurbanovo, Jaslovské Bohunice a Mochovce časť výstupov z analýzy sezónnosti sú zobrazené na obr. 4.2. Najmenšie zmeny v posune výskytu maximálnych úhrnov krátkodobých dažďov budúcich období od historického obdobia boli zistené na staniciach Bardejov, Kamenica nad Cirochou, Košice letisko, Lipovce, Ľubochňa a Tatranská Lomnica, časť z výstupov je znázornená na obr. 4.3.

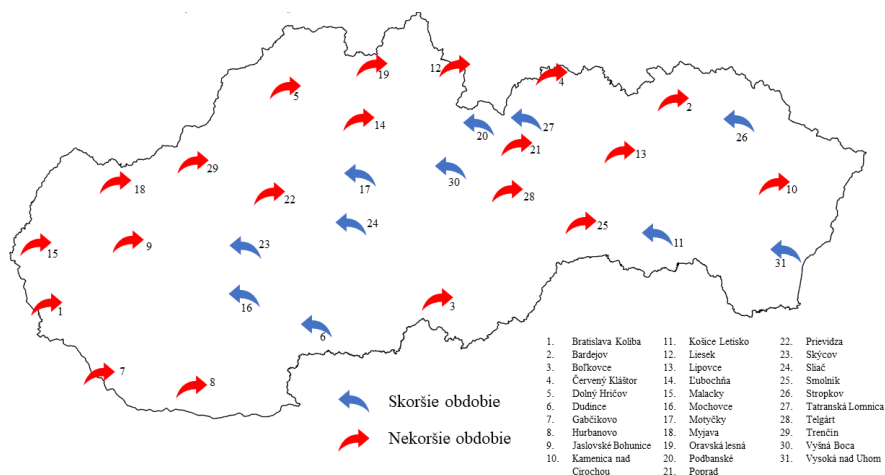


Obr. 4.2 – Stanice s najväčšími rozdielmi medzi výskytmi maximálnych úhrnov krátkodobých dažďov medzi historickým obdobím (1961-2020) a obdobím blízkej (2031-2070) a ďalej (2071-2100) budúcnosti.

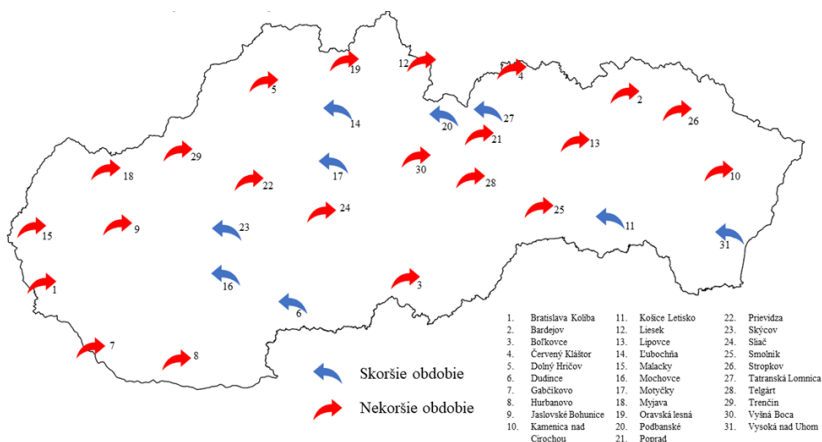


Obr. 4.3 – Stanice s najmenšími odchýlkami medzi výskytmi maximálnych úhrnov krátkodobých dažďov medzi historickým obdobím (1961-2020) a obdobím blízkej (2031-2070) a ďalej (2071-2100) budúcnosti.

Výsledky analýzy zmien v posunoch výskytov maximálnych úhrnov krátkodobých dažďov medzi historickým (1961-2020) a obdobím blízkej budúcnosti (2031-2070), ďalej budúcnosti (2071-2100) sú interpretované na obr. 4.4 a 4.5. Analyzoval sa posun výskytu maximálnych úhrnov dažďov v mesiaci a to na skoršie alebo neskoršie obdobie. Prevládajúci posun vo všetkých trvaniach krátkodobých dažďov medzi výskytmi je posun maximálnych zrážkových úhrnov na neskorší termín v mesiaci od detegovaného výskytu pre historické obdobie (1961-2020). Z analýzy zmien v posunoch výskytov maximálnych úhrnov krátkodobých dažďov vyplýva, že v porovnaní oboch budúcich období s historickým obdobím nie je výrazný rozdiel. Avšak z výsledkov vyplýva zmena výskytu maximálnych úhrnov dažďov na neskoršie obdobie vo väčšine klimatologických staníc na neskoršie obdobie oproti historickému obdobiu.



Obr. 4.4 – Posuny vo výskytach maximálnych úhrnov krátkodobých dažďov pre obdobie blízkej budúcnosti (2031-2070) oproti historickému obdobiu (1961-2020) vo všetkých trvaniach dažďa.



Obr. 4.5 – Posuny vo výskytoch maximálnych úhrnov krátkodobých dažďov pre obdobie ďalej budúcnosti (2071-2100) oproti historickému obdobiu (1961-2020) vo všetkých trvaniach dažďa.

4.3. Odvodenie škálovacích exponentov krátkodobých úhrnov dažďov a odhad návrhových hodnôt intenzít krátkodobých dažďov

Škálovacie exponenty špecifických výdatností krátkodobých dažďov boli odvodzované na všetkých analyzovaných klimatologických staniách a to pre tri časové obdobia a pre celý teplý polrok. Pomocou odvodených exponentov boli zoškálované návrhové hodnoty intenzít dažďov do kratších trvaní ako 60 minút. Škálovacie exponenty boli odvodené pomocou metódy jednoduchého škálovania, pomocou metódy štatistických momentov.

Metóda jednoduchého škálovania umožňuje zväčšenie časového rozlíšenia zrážkových úhrnov. Metóda jednoduchého škálovania môže byť aplikovaná na vzťah medzi intenzitou, trvaním a periodicitou zrážok tzv. IDF vlastnosti. V určovaní škálovacích vlastností zrážok sa vychádza zo všeobecného tvaru vzťahu IDF (Koutsoyiannis a kol., 1998).

$$i = \frac{a(T)}{b(d)}, \quad (4.1)$$

kde:

$a(T)$ – funkcia doby opakovania T ,

$b(d)$ – funkcia trvania dažďov daná vzťahom:

$$b(d)=(d+\theta)^\eta, \quad (4.2)$$

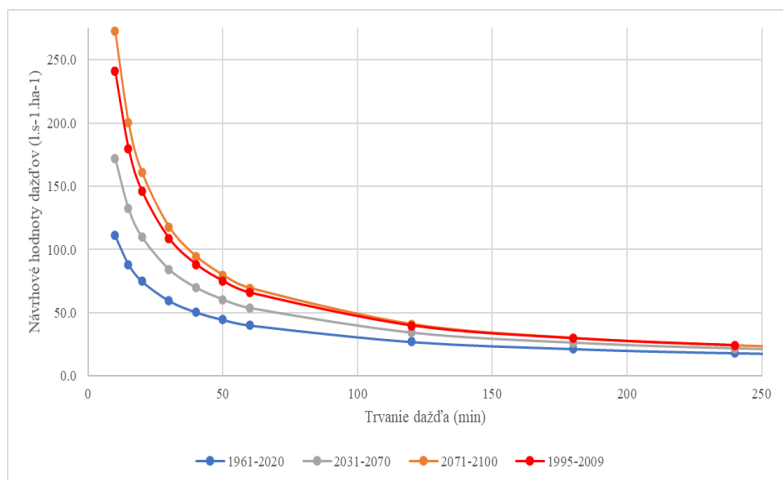
kde: θ, η – odhadované parametre (určované odhadom $\theta > 0, 0 < \eta < 1$) (Koutsoyiannis a kol., 1998).

Hodnoty škálovacích exponentov sa pohybujú v rozmedzí od 0.45 do 0.8. Pre historické obdobie (1961-2020) bol odvodený škálovací exponent 0.5292, najvyšší exponent bol odvodený 0.6836 a priemerný exponent mal hodnotu 0.6068. Pre obdobie blízkej budúcnosti (2031-2070) bol najnižší škálovací exponent odvodený s hodnotou 0.49, najvyšší s hodnotou 0.7566 a priemerný škálovací exponent mal hodnotu 0.6107. Pre obdobie ďalekej budúcnosti (2071-2100) bol najnižší škálovací exponent s hodnotou 0.5224, najvyšší mal hodnotu 0.7627 a priemer 0.6169. Najvyšší škálovací exponent sa bol odvodený na klimatologickej stanici Bratislava-Koliba a to pre obdobie 2071-2100 s hodnotou 0.7627, najnižší koeficient bol odvodený na staniaciach Kamenica nad Cirochou a Liesek s hodnotou 0.49 a to pre obdobie blízkej budúcnosti. Do budúcich období majú škálovacie exponenty rastúci charakter vo väčšine analyzovaných staníc. Najvyššie škálovacie exponenty boli odvodené pre obdobie ďalekej budúcnosti 2071-210 pri väčšine staníc. Na základe škálovacích exponentov získaných metódou jednoduchého škálovania je možné v praxi odvodiť IDF čiary pre zvolené periodicity z návrhových jednodenných úhrnov dažďov, ktoré sú dostupnejšie. Návrhové hodnoty špecifických výdatností boli odvodené pre doby opakovania 2, 5, 10, 20, 25, 50 a 100 rokov. Návrhové hodnoty boli pre jednotlivé klimatologické stanice odvodené pre celú teplú periódu (apríl-október). Ako príklad na odhad návrhových hodnôt špecifických výdatností dažďa bola zvolená klimatologická stanica Bratislava-Koliba, rovnakým spôsobom boli odvodené špecifické výdatnosti dažďov (l.s-1.ha-1) pre ostatné klimatologické stanice. V tabuľke 4.1 sú uvedené návrhové hodnoty špecifických výdatností krátkodobých dažďov pre jednotlivé doby opakovania a pre obdobie ďalekej budúcnosti.

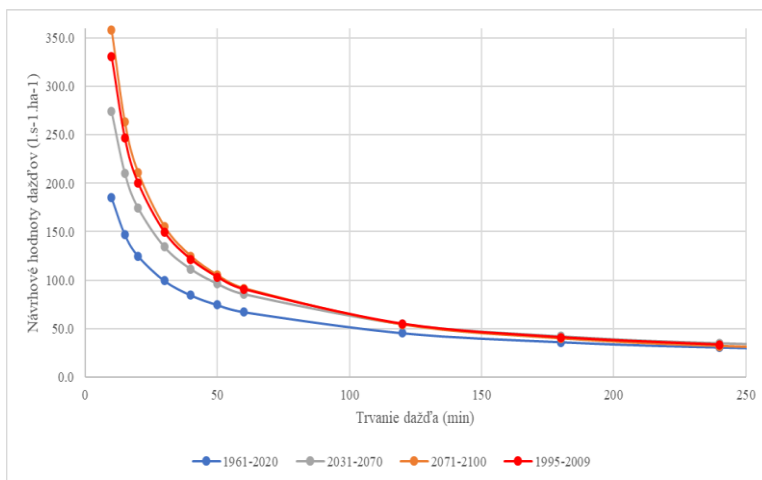
Tab. 4.1 – Návrhové hodnoty špecifických výdatností dažďa pre trvania 10-1440 min. na stanici Bratislava-Koliba pre teplú periódu obdobia ďalekej budúcnosti klimatického scenára CLM (2071-2100).

Doba opakovania	Návrhové hodnoty špecifických výdatností dažďa ($l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$)												
	10	15	20	30	40	50	60	120	180	240	360	720	1440
2	172.6	126.7	101.7	74.7	60.0	50.6	44.0	25.9	19.0	15.3	11.2	6.6	3.9
5	237.4	174.3	139.9	102.7	82.5	69.6	60.5	35.7	26.2	21.0	15.4	9.1	5.4
10	272.8	200.2	160.8	118.0	94.8	79.9	69.6	41.0	30.1	24.2	17.7	10.5	6.2
20	302.5	222.0	178.3	130.9	105.1	88.6	77.1	45.5	33.4	26.8	19.7	11.6	6.8
25	311.1	228.4	183.4	134.6	108.1	91.2	79.3	46.8	34.3	27.6	20.2	11.9	7.0
50	336.0	246.6	198.1	145.4	116.7	98.5	85.7	50.5	37.1	29.8	21.8	12.9	7.6
100	358.6	263.2	211.3	155.1	124.6	105.1	91.4	53.9	39.6	31.8	23.3	13.7	8.1

Na základe odvodených návrhových hodnôt boli pre doby opakovania 10 rokov a 100 rokov zostrojené čiary intenzít návrhových dažďov obr. 4.6-4.7. Z obrázkov vyplýva, že návrhové hodnoty pre blízku a ďalekú budúcnosť sú oproti historickému obdobiu vyššie. Pri porovnaní s návrhovými hodnotami odvodenými z reálnych meraní (1995-2009) je taktiež možné pozorovať vyššie hodnoty a to pre obdobie ďalej budúcnosti. Najväčšie rozdiely boli detegované pre krátke trvania dažďov do 10 do 180 minút a to pri dobe opakovania 10 tak aj 100 rokov. Tiež je možné konštatovať, že pri dobe opakovania 10 rokov sa pri trvaní dažďov 720 minút návrhové hodnoty približujú a sú takmer totožné s historickým obdobím. Pri dobe opakovania 100 rokov sa hodnoty približujú k historickému obdobiu už pri trvaniach dažďov od 240 minút.



Obr. 4.6 – Porovnanie návrhových hodnôt intenzít dažďov pre jednotlivé obdobia na klimatologickej stanici Bratislava-Koliba pre dobu opakovania 10 rokov.



Obr. 4.7 – Porovnanie návrhových hodnôt intenzít dažďov pre jednotlivé obdobia na klimatologickej stanici Bratislava-Koliba pre dobu opakovania 100 rokov.

5. ZÁVER

Cieľom dizertačnej práce bolo analyzovať vplyv klimatickej zmeny na zmeny v trendoch, sezónnosti, škálovacích exponentoch a taktiež na návrhové hodnoty krátkodobých intenzít dažďov na Slovensku. Vstupné údaje tvorili minútové úhrny dažďov z 31 klimatologických staníc rovnomerne rozložených naprieč územím Slovenska. Dátové rady boli v rozsahu rokov 1961-2100 rozdelené do 3 období a to historické (1961-2020), blízka budúcnosť (2031-2070) a ďaleká budúcnosť (2071-2100). Dáta úhrnov dažďov boli výstupom klimatického scenára CLM, ktoré boli spracovávané doc. Martinom Gerom, PhD. z Univerzity Komenského. Jedná sa o scenár SRES A1B, ktorý 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. Analýza zahŕňala aj zmeny v trendoch a sezónnosti a to pre 60, 120, 180, 240 a 1440 minútové trvania dažďov. Následne pre všetky analyzované klimatologické stanice boli odvodené škálovacie exponenty pomocou metodiky jednoduchého škálovania a pomocou škálovacích exponenotov boli stanovené návrhové hodnoty intenzít krátkodobých dažďov. Návrhové hodnoty boli porovnané s návrhovými hodnotami odvodenými z reálnych pozorovaní a to pre klimatologické stanice kde tieto dáta dostupné najmä z období 1995-2020.

Prvým krokom v tejto práci bola detekcia zmien trendov v krátkodobých úhrnoch dažďov. Pri tejto analýze bola použitá metóda Mann-Kendallovho testu trendov. Testovali sa obdobia historické (1961-2020), obdobie blízkej budúcnosti (2031-2070) a obdobie ďalekej budúcnosti (2071-2100), a pre 60-, 120-, 180-, 240- a 1440-minútové trvania dažďov. Významné stúpajúce trendy na 90% hladine významnosti pre budúce obdobia boli detegované na klimatologických staniach Bratislava-Koliba, Červený Kláštor, Boľkovce, Hurbanovo, Lipovce, Liesek, Ľubochňa, Smolník, Telgárt a Tatranská Lomnica. Najviac významných trendov bolo detegovaných v období blízkej budúcnosti (2031-2070). Významný klesajúci trend pre budúce obdobia sa nevyskytol. Ak sa na zmenu trendov pozrieme z regionálneho hľadiska najväčšie zmeny v trendoch krátkodobých úhrnov dažďov do budúceho obdobia (2031-2070 a 2071-2100) nastanú v regiónoch severného, severovýchodného a juhozápadného Slovenska kde boli detegované stúpajúce trendy do budúcich období.

Nasledujúcim krokom dizertačnej práce bolo detegovanie zmien sezónnych výskytov maximálnych úhrnov dažďov počas teplého polroka. Pri tejto analýze bola používaná metóda Burnovho vektora. Na väčšine staníc boli výskyty maximálnych úhrnov detegované v mesiaci júl, okrem stanice Vysoká nad Uhom kde boli výskyty v mesiaci jún a klimatologických staníc Myjava, Oravská Lesná a Trenčín kde boli výskyty zistené v mesiaci august. Zmeny v sezónnosti boli analyzované porovnaním historického obdobia (1961-2020) s budúcimi obdobiami (2031-2070, 2071-2100). Pri tejto analýze boli určované priemerné posuny výskytov od historického obdobia (1961-2020). Prevládajúci posun medzi historickým a budúcimi obdobiami bol v priemere 1 týždeň a to na neskoršie obdobie v mesiaci na väčšine analyzovaných staníc. Z regionálneho hľadiska sa posuny do skoršieho obdobia v mesiaci júl detegovali v oblasti Vysokých a Nízkych Tatier, na juhu východného Slovenska a v juhovýchodnej oblasti západného Slovenska. Z pohľadu porovnania blízkej a ďalekej budúcnosti sa pre ďalekú budúcnosť (2071-2100) detegovali výskyty maximálnych úhrnov dažďov na neskoršie obdobie, to znamená posun ku koncu mesiaca júl.

Ďalšia časť dizertačnej práce bola venovaná odvodeniu škálovacích exponentov špecifických výdatností dažďov pomocou aplikovania metódy jednoduchého škálovania. Na základe odvodených škálovacích exponentov boli odhadnuté návrhové hodnoty špecifických výdatností dažďov pre doby opakovania ($N=2, 5, 10, 20, 25, 50, 100$ rokov) a pre trvania 10, 15, 20, 30, 60, 120, 180, 240 a 1440 minút. Pre jednotlivé obdobia boli odvodené škálovacie exponenty na klimatologických staniach pre historické obdobie (1961-2020) bol priemerný škálovací koeficient 0.6068, pre

obdobie blízkej budúcnosti (2031-2070) 0.6107 a obdobie ďalekej budúcnosti (2071-2100) 0.6169. Následne sa odhadli návrhové hodnoty špecifických výdatností dažďov pomocou škálovacích exponentov. Najväčšie zmeny sa prejavili v krátkodobých trvaniach dažďov a to od 10 min až do 180 minút.

VEDECKÝ PRÍNOS DIZERTAČNEJ PRÁCE

Predložená dizertačná práca poskytuje pohľad na zmeny v charakteristikách krátkodobých úhrnoch dažďov vplyvom klimatickej zmeny. Použitý klimatický scenár CLM poskytoval premietnutie klimatických zmien na krátkodobé úhrny dažďov. Scenár CLM je ako jediný na Slovensku zoškálovaný do trvaní dažďových úhrnov menších ako jeden deň, preto bol využitý a aplikovaný pre klimatologické stanice naprieč Slovenskom. Analýza budúcich zmien krátkodobých úhrnov dažďov na Slovensku v takomto rozsahu ešte nebola vykonaná. V analyzovaných charakteristikách krátkodobých úhrnov dažďov ako sú zmeny v trendoch, sezónnosti výskytu maximálnych úhrnov dažďov boli detegované zmeny do budúceho obdobia oproti reálnym meraniam s ktorými boli výsledky analýz porovnávané. Odvodené škálovacie exponenty pomocou jednoduchého škálovania boli použité pri odhade návrhových intenzít krátkodobých dažďov a pomocou nich boli odvodené návrhové hodnoty až do trvania dažďov 10 minút. Výsledky práce preukázali, že pomocou klimatologických scenárov je možné analyzovať vplyv simulovaných budúcich zmien v krátkodobých úhrnoch dažďov pre klimatologické stanice Slovenska a výsledky poskytujú vhodný podklad pre vodohospodársku prax. Nakoľko vývoj a aktualizácia klimatických scenárov napreduje vysokou rýchlosťou predložená dizertačná práca otvára možnosti použitia nových alebo aktualizovaných klimatických scenárov pre využitie vo vodnom hospodárstve na Slovensku.

SUMMARY

The dissertation is focused on the impact of climate change on the design values of short-term rainfall intensities in Slovakia. The Community Land Model (CLM) climate scenario data were used in the work, which represents climate change and its impact on rainfall. In the first step, these data were processed, and input data were created for 31 selected climatological stations. For each climatological station, the data were divided into three time periods: historical (1961-2020), the near future (2031-2070), and the far future (2071-2100). The analyzed rainfall durations were 60, 120, 180, 240, and 1440 minutes. On these data the trend analysis and the analysis of the seasonality of maximal rainfall events were performed. The trend analysis confirmed an increasing, but insignificant trend at the most climatological stations, the seasonality

of maximum rainfall events also confirms the future changes from the historical period, the shift between the historical and future periods are postponed to a later period in July. Another part of the work consists of the derivation of scaling exponents using the method of simple scaling. These results also confirm the change in future periods, scaling exponents for the future periods have higher values than for the historical period. Subsequently, these scaling exponents were used to derive design values of short-term rainfall intensities, which have an increasing character for the future period. The design values derived in this way from the scenario were also compared with the results derived from the actual measurements. The results obtained in the work showed that climate change, which is represented by the CLM scenario, affects the design values of short-term rainfall intensities, and the change was reflected in all analyzed characteristics of short-term rainfall and in the design values. The results obtained in the work showed that climate change, which is represented by the CLM scenario, affects the design values of short-term rainfall intensities, and the change was reflected in all analyzed characteristics of short-term rainfall and in the design values.

LITERATÚRA

(UCAR), University Corporation for Atmospheric Research, 2019. *CLM Home*. Dostupné na: <http://www.cgd.ucar.edu/tss/clm/>

Regional climate model - AMS Glossary Dostupné na: http://glossary.ametsoc.org/wiki/Regional_climate_model

BÖHM, U., M. KÜCKEN, W. AHRENS, A. BLOCK, D. HAUFFE, K. KEULER, B. ROCKEL a A. WILL, 2006. CLM – the climate version of LM: brief description and long-term applications. *COSMO Newsl.* 2006, roč. 6, s. 225–235.

BURN, D. H., 1997. Catchments similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures. *Journal of Hydrology.* 1997.

CHAN, S. C., E. J. KENDON, H. J. FOWLER, S. BLENKINSOP, N. M. ROBERTS a C. A. T. FERRO, 2014. The value of high-resolution Met Office regional climate models in the simulation of multi-hourly precipitation extremes The Value of High-Resolution Met Office Regional Climate Models in the Simulation of Multihourly Precipitation Extremes. *Journal of Climate.* 2014, roč. 27, č. 16, s. 6155–6174 [cit. 8. máj 2019]. Dostupné na: doi:10.1175/JCLI-D-13-00723.1

KENDALL, M. G., 1975. *Rank Correlation Methods.* 1975.

KOUTSOYIANNIS, D., D. KOZONIS a A. MANETAS, 1998. A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. *Journal of Hydrology.* 1998, roč. 206, s. 118–135.

MANN, Henry B., 1945. Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica* [online]. 1945, roč. 13, č. 3, s. 245. ISSN 00129682. Dostupné na: doi:10.2307/1907187

NASA, 2019. Climate Change: How Do We Know? *NASA GLOBAL CLIMATE CHANGE.* Dostupné na:

<https://climate.nasa.gov/evidence/>

NOAA NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION, no date. *Global Climate Report - March 2020 | State of the Climate | National Centers for Environmental Information (NCEI)*. Dostupné na: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202003>

PREHĽAD PUBLIKAČNEJ ČINNOSTI

ADC Vedecké práce v zahraničných karentovaných časopisoch

DANÁČOVÁ, Michaela - FÖLDES, Gabriel - LABAT, Marija Mihaela - KOHNOVÁ, Silvia - HLAVČOVÁ, Kamila. Estimating the effect of deforestation on runoff in small mountainous basins in Slovakia. In *Water* [elektronický zdroj]. Vol. 12, iss. 11 (2020), online, [25] s., art. no. 3113. ISSN 2073-4441 (2020: 3.103 - IF, Q2 - JCR Best Q, 0.718 - SJR, Q1 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85095977991 ; CC: 000594706700001 ; DOI: 10.3390/w12113113.

ADE Vedecké práce v ostatných zahraničných časopisoch

KOHNOVÁ, Silvia - OCHABOVÁ, Karolína [Zechelová, Karolína] - FÖLDES, Gabriel - HLAVČOVÁ, Kamila. Detecting changes in trends and scaling exponents of short term rainfall: Case study for the Oravská Lesná station. In *Czech Journal of Civil Engineering* [elektronický zdroj]. Vol. 3, iss. 2 (2017), online, s. 100-105. ISSN 2336-7148.

ADF Vedecké práce v ostatných domácich časopisoch

FÖLDES, Gabriel - KOHNOVÁ, Silvia - MARKOVÁ, Romana. Analýza budúcich zmien v charakteristikách úhrnov atmosférických zrážok krátkodobých dažďov na klimatologickej stanici Myjava. In *Acta hydrologica Slovaca*. Roč. 19, č. 1 (2018), s. 78-83. ISSN 1335-6291.

FÖLDES, Gabriel - KOHNOVÁ, Silvia - LABAT, Marija Mihaela. Analýza budúcich zmien v charakteristikách krátkodobých dažďov použitím scenára CLM vo vybraných stanicích na západnom Slovensku. In *Acta hydrologica Slovaca* [elektronický zdroj]. Roč. 20, č. 1 (2019), online, s. 44-52. ISSN 2644-4690. V databáze: DOI: 10.31577/ahs-2019-0020.01.0005.

MARKOVÁ, Romana - KOHNOVÁ, Silvia - FÖLDES, Gabriel. Analýza sezónnosti a dekadických zmien ročných kulminačných prietokov pre vodomerne stanice nachádzajúce sa v slovensko-poľskej oblasti Karpatského oblúka. In *Acta hydrologica Slovaca*. Roč. 18, č. 1 (2017), s. 15-22. ISSN 1335-6291.

ADM Vedecké práce v zahraničných časopisoch registrovaných v databázach Web of Science alebo SCOPUS

FÖLDES, Gabriel - KOHNOVÁ, Silvia - HLAVČOVÁ, Kamila. Analysis of future changes in the trends and scaling coefficients for short-term rainfall in southwestern Slovakia. In *Pollack Periodica*. Vol. 13, no. 3 (2018), s. 163-174. ISSN 1788-1994 (2018: 0.219 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85057032119 ; DOI: 10.1556/606.2018.13.3.16.

FÖLDES, Gabriel - KOHNOVÁ, Silvia - LABAT, Marija Mihaela. Future changes in short-term rainfall intensities in Záhorská nížina lowlands, Slovakia. In *Pollack Periodica*. Vol. 14, no. 3 (2019), s. 141-152. ISSN 1788-1994

(2019: 0.262 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.1556/606.2019.14.3.14 ; SCOPUS: 2-s2.0-85078801008.

FÖLDES, Gabriel - KOHNOVÁ, Silvia - LABAT, Marija Mihaela - HLAVČOVÁ, Kamila. Predicted changes in short-term rainfall intensities and runoff at the Ipolitca River basin. In Pollack Periodica. Vol. 15, no. 3 (2020), s. 172-183. ISSN 1788-1994 (2020: 0.257 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85096236829 ; DOI: 10.1556/606.2020.15.3.17.

LABAT, Marija Mihaela - HLAVČOVÁ, Kamila - FÖLDES, Gabriel. Estimation of changes in runoff due to changes in forest composition. In Pollack Periodica. Vol. 14, no. 3 (2019), s. 109-120. ISSN 1788-1994 (2019: 0.262 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.1556/606.2019.14.3.11 ; SCOPUS: 2-s2.0-85078741187.

ADN Vedecké práce v domácich časopisoch registrovaných v databázach Web of Science alebo SCOPUS

FÖLDES, Gabriel - LABAT, Marija Mihaela - KOHNOVÁ, Silvia. CLM Climate Scenario and its impact on seasonality changes in short-term rainfall intensities in mountainous regions of Slovakia. In Acta hydrologica Slovaca [elektronický zdroj]. Roč. 21, č. 1 (2020), online, s. 3-8. ISSN 2644-4690. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85111945058 ; DOI: 10.31577/ahs-2020-0021.01.0001.

KOHNOVÁ, Silvia - VASILAKI, Marianna - HANEL, Martin - SZOLGAY, Ján - HLAVČOVÁ, Kamila - LOUKAS, Athanasios - FÖLDES, Gabriel. Detection of future changes in trends and scaling exponents in extreme short-term rainfall at selected stations in Slovakia. In Contributions to Geophysics and Geodesy. Vol. 48, no. 3 (2018), s. 207-230. ISSN 1335-2806 (2018: 0.312 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: WOS: 000456045000002 ; SCOPUS: 2-s2.0-85060455934 ; DOI: 10.2478/congeo-2018-0009.

AFC Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách

FÖLDES, Gabriel - KOHNOVÁ, Silvia - LABAT, Marija Mihaela. Analysis of future changes in short-term rainfall characteristics in the High Tatras Region in Slovakia. In 6th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium - WMESS 2020 : proceedings. 7-11 September 2020, Prague, Czech Republic. 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2020, online, [9] s., art. no. 012059. ISSN 1755-1307. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85097996528 ; DOI: 10.1088/1755-1315/609/1/012059.

FÖLDES, Gabriel - KOHNOVÁ, Silvia. Použitie regionálneho klimatického scenára CLM pri analýze sezónnosti krátkodobých zrážok. In Juniorstav 2021 [elektronický zdroj] : zborník príspevků. 23. odborná konferencia doktorského štúdia s mezinárodnou účasťou. Brno, ČR, 28.1.2021 = Juniorstav 2021, proceedings of the 23th International Conference of Doctoral Students. 1. vyd. Brno : ECON publishing, 2021, online, s. 399-402. ISBN 978-80-86433-75-2.

KOHNOVÁ, Silvia - FÖLDES, Gabriel - LABAT, Marija Mihaela - HLAVČOVÁ, Kamila. Changes in the IDF curves of short-term rainfall in mountainous and lowland areas of Slovakia. In World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2019) : proceedings. 9-13 September 2019, Prague, Czech Republic. 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2019, [10] s., art. no. 012083. ISSN 1755-1307. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85076587851 ; DOI: 10.1088/1755-1315/362/1/012083.

LABAT, Marija Mihaela - FÖLDES, Gabriel - KOHNOVÁ, Silvia - HLAVČOVÁ, Kamila. Land use and climate change impact on runoff in a small mountainous catchment in Slovakia. In Advances in Environmental Engineering (AEE2019) [elektronický zdroj] : proceedings. November 25-27, 2019, Ostrava, Czech Republic.

1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2020, online, [7] s., art. no. 012036. ISSN 1755-1307. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85079645034 ; WOS: 000538681400036 ; DOI: 10.1088/1755-1315/444/1/012036.

LABAT, Marija Mihaela - ALEKSIĆ, Milica - HLAVČOVÁ, Kamila - FÖLDES, Gabriel. Impact of resolution of DEM on the calculation of design floods in a small mountainous basin. In 6th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium - WMESS 2020 : proceedings. 7-11 September 2020, Prague, Czech Republic. 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2020, online, [8] s., art. no. 012060. ISSN 1755-1307. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85098799234 ; DOI: 10.1088/1755-1315/609/1/012060.

NÉMETOVÁ, Zuzana - KOHNOVÁ, Silvia - FÖLDES, Gabriel. Evaluation of effect of different crop types on soil water erosion: case study of the Myjava Hill Land, Slovakia. In World Multidisciplinary Civil Engineering, Architecture, Urban Planning Symposium (WMCAUS 2018) : proceedings. 18-22 June 2018, Prague, Czech Republic. 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2019, [10] s., art. no. 022026. ISSN 1757-8981. V databáze: DOI: 10.1088/1757-899X/471/2/022026 ; SCOPUS: 2-s2.0-85062452718 ; WOS: 000465811800026.

AFD Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách

FÖLDES, Gabriel. Analýza budúcich zmien sezónnosti a trendov krátkodobých intenzít dažďov v klimatologickej stanici Bratislava-Koliba. In 29. konferencia mladých hydroológov, 16. konferencia mladých vodohospodárov, 18. konferencia mladých meteorológov a klimatológov [elektronický zdroj] : zborník súťažných prác mladých odborníkov. Bratislava, SR, 9. 11. 2017. 1. vyd. Bratislava : Slovenský hydrometeorologický ústav, 2017, CD-ROM, [10] s. ISBN 978-80-88907-95-4.

FÖLDES, Gabriel - LABAT, Marija Mihaela. 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, s. 12-20. ISBN 978-80-227-4847-6.

FÖLDES, Gabriel. Analýza regionálnych klimatických scenárov pre použitie pri detekcii budúcich zmien v charakteristikách krátkodobých zrážok na klimatologickej stanici Hurbanovo. In Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 28th Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Applied Mechanics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 24th 2018, Bratislava. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2018, CD-ROM, s. 449-455. ISBN 978-80-227-4864-3.

FÖLDES, Gabriel - LABAT, Marija Mihaela. Detection of future changes in seasonality of short-term rainfalls in Western Slovakia. In Konferencia mladých výskumníkov - KOMVY 2019 [elektronický zdroj] : zborník prednášok. Štúrovo, SR, 27. - 29. máj 2019. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2019, CD-ROM, s. 19-25. ISBN 978-80-227-4955-8.

FÖLDES, Gabriel. Využitie klimatického scenára CLM pri určení budúcich návrhových hodnotách intenzít krátkodobých dažďov v klimatologickej stanici Liptovská Teplička. In Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 29th Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Applied Mechanics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 16th 2019, Bratislava. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2019, CD-ROM, s. 497-502. ISBN 978-80-227-4972-5.

FÖLDES, Gabriel. Analýza sezónnosti krátkodobých dažďov vo vybraných klimatologických staniach na Slovensku. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj]* : 30th Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Applied Mechanics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 14th 2020, Bratislava, Slovakia. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2020, CD-ROM, s. 572-577. ISBN 978-80-227-5052-3.

LABAT, Marija Mihaela - FÖLDES, Gabriel. Soil erosion and runoff prevention. 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, s. 4-11. ISBN 978-80-227-4847-6.

LABAT, Marija Mihaela - FÖLDES, Gabriel. Analyse of the impact of deforestation in the small river basin. In *Konferencia mladých výskumníkov - KOMVY 2019 [elektronický zdroj]* : zborník prednášok. Štúrovo, SR, 27. – 29. máj 2019. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2019, CD-ROM, s. 55-63. ISBN 978-80-227-4955-8.

LABAT, Marija Mihaela - ALEKSIĆ, Milica - FÖLDES, Gabriel. Analýza zmien využitia územia v perióde od 2006-2018 vo vybraných povodiach. In *Proceedings from 9th Conference of Young Researchers - KOMVY 2020 [elektronický zdroj]* : virtuálny priestor, Bratislava, SR, 27. 11. 2020. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2020, CD-ROM, s. 32-37. ISBN 978-80-227-5057-8.