

METEOROLOGICKÝ ČASOPIS

METEOROLOGICAL JOURNAL

2013

ROČNÍK 16 – ČÍSLO 2

VOLUME 16 – NUMBER 2

SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV
SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE



CONTENTS

DISAGGREGATION MODEL FOR SIMULATING DAILY PRECIPITATION TOTALS IN THE VAH RIVER BASIN FOR FREQUENCY ANALYSIS OF DISCHARGES Roman Výleta, Ján Szolgay	55
LONG-TERM CHANGES IN SELECTED CHARACTERISTICS OF HEAT WAVES IN SLOVAKIA Patrícia Kolláriková, Ján Szolgay, Jozef Pecho	63
PARAMETERIZATION OF ESTIMATES OF DIRECT RUNOFF IN SMALL CATCHMENTS USING THE CURVE NUMBER METHODS Peter Spál, Ján Szolgay	71
MODELLING TEMPORAL CHANGES IN CHARACTERISTICS OF WATER BALANCE IN THE MYJAVA RIVER BASIN Beáta Hamar Zsideková, Silvia Kohnová, Kamila Hlavčová	79
DEVELOPMENT OF PHENOLOGICAL ALTITUDINAL GRADIENTS AND TRENDS FOR SELECTED PHENOLOGICAL PHASES OF SMALL-LEAVED LIME (<i>TILIA CORDATA</i> MILL.) IN SLOVAKIA Jana Škvareninová, Jaroslav Škvarenina	87

INFORMATION

Activities of M. R. Štefánik in meteorology in 1905 – 1915 Dušan Podhorský	93
Steering Body EMEP session Marta Mitošinková	98

PERSONALS	99
------------------------	----

OBSAH

DESAGREGAČNÝ MODEL PRE SIMULÁCIU DENNÝCH ÚHRNOV ZRÁŽOK NA POVODÍ RIEKY VÁH PRE FREKVENČNÚ ANALÝZU PRIETOKOV Roman Výleta, Ján Szolgay	55
DLHODOBÉ ZMENY VYBRANÝCH CHARAKTERISTÍK VLN HORÚČAV NA SLOVENSKU Patrícia Kolláriková, Ján Szolgay, Jozef Pecho	63
PARAMETRIZÁCIA ODHADU OBJEMU PRIAMEHO ODTOKU NA MALÝCH POVODIACH POMOCOU METÓDY ČÍSEL ODTOKOVÝCH KRIVIEK Peter Spál, Ján Szolgay	71
MODELOVANIE ČASOVÝCH ZMIEN PRVKOV HYDROLOGICKEJ BILANCIE NA POVODÍ MYJAVY Beáta Hamar Zsideková, Silvia Kohnová, Kamila Hlavčová	79
VÝVOJ FENOLOGICKÝCH VÝŠKOVÝCH GRADIENTOV A TRENDOV VYBRANÝCH FENOLOGICKÝCH FÁZ LIPY MALOLISTEJ (<i>TILIA CORDATA</i> MILL.) NA SLOVENSKU Jana Škvareninová, Jaroslav Škvarenina	87

INFORMÁCIE

Pôsobenie M. R. Štefánika v meteorológii v rokoch 1905 – 1915 Dušan Podhorský	93
Zasadanie Steering Body EMEP Marta Mitošinková	98

PERSONÁLIE	99
-------------------------	----

DESAGREGAČNÝ MODEL PRE SIMULÁCIU DENNÝCH ÚHRNOV ZRÁŽOK NA POVODÍ RIEKY VÁH PRE FREKVENČNÚ ANALÝZU PRIETOKOV

ROMAN VÝLETA, JÁN SZOLGAY

Slovenská technická univerzita, Stavebná fakulta, Katedra vodného hospodárstva krajiny

Methods for derived flood frequency analysis often use a stochastic weather generator to drive a continuous rainfall runoff model in order to simulate long series of artificial flows. In the paper a method is presented, which simulates precipitation depth for such a generator for different duration of precipitation events. First statistical properties of measured daily precipitation series are analysed and proper statistical models are sought and fitted in each preselected season of the year for observed durations of events (1, 2, 3 ...day precipitation) and the standardized temporal distribution of rainfall is also stored for the generation process (fragments). Once the sequence of wet and dry periods is simulated by an arbitrary model (e.g. Markov model), for each wet period in a given season the precipitation amount is generated for the fitted model and is disaggregated using a randomly chosen fragment of the same duration. The performance of this model is tested in the Upper Vah River in Slovakia.

Metódy používané vo frekvenčnej analýze prietokov často využívajú generátory počasia spolu so zrážkovo-odtokovým modelom na kontinuálnu simuláciu dlhých umelých časových radov prietokov. V príspevku je prezentovaná metóda, pomocou ktorej sú simulované výšky (úhrny) zrážok pre rôzne trvania zrážkových udalostí. Najprv sú analyzované štatistické vlastnosti pozorovaných denných úhrnov zrážok a následne sú hľadané vhodné štatistické modely (výber vhodnej funkcie hustoty rozdelenia pravdepodobnosti) pre pozorované zrážkové udalosti s rôznym trvaním (1, 2, 3 ... denné zrážky) v každej sezóne v rámci roka. Pre proces prerozdelenia výšok (úhrnov) týchto zrážkových udalostí sú zistené aj časové rozloženia zrážok (fragmenty). Po simulácii sérií výskytov zrážkových (mokrých) a bezzrážkových (suchých) období ľubovoľným modelom (napr. Markovov model) sú následne pre každé obdobie so zrážkami pomocou zostaveného modelu generované výšky (úhrny) zrážok, ktoré sú náhodne prerozdelené pomocou vybraného fragmentu rovnakého trvania. Vhodnosť použitia tohto modelu je testovaná na hornom toku rieky Váh na Slovensku.

Keywords: stochastic weather generator, continuous simulation, daily precipitation amount a catchment

ÚVOD A PROBLEMATIKA

Vo všeobecnosti možno tvrdiť, že počet zrážkomerných a klimatických staníc je vyšší než vodomerných, kde dĺžka časových radov prietokov je stále nepostačujúca pre riešenia viacerých špecifických vodohospodárskych úloh (návrh retenčných priestorov, združená analýza charakteristík extrémov a pod.). Jednou z mnohých metód a prístupov na doplnenie týchto časových radov môže byť simulovanie úhrnov zrážok pre matematické modelovanie odtoku pomocou tzv. stochastických generátorov počasia. Tie sa stali vhodným aparátom na generovanie nielen úhrnu zrážok, ale aj ďalších klimatických veličín, akými sú teplota vzduchu (priemerná, maximálna a minimálna), slnečná radiácia, či už v čase alebo v priestore (Fošumpaur, 2007).

Prvé pravdepodobnostné modely denných úhrnov zrážok (generátorov zrážok) sa začali objavovať v polovici minulého storočia. Ich využitie spočíva v riešení rôznych problémov vo vodnom hospodárstve (Zeľeňáková, 2011), lesníctve, ekológii (Birt a kol., 2010), pri simulácii dopadov klimatickej zmeny (Kilsby a kol., 2007). Ich vývoj sa značne urýchljuje, čo je spôsobené motiváciou užívateľov v rôznych aplikačných oblastiach. Prehľad historického vývoja stochastických generátorov podáva Wilks a Wilby

(1999). Vo svete je množstvo štúdií venovaných tematike generovania zrážkových úhrnov v dennom kroku, avšak stochastickým generátorom (modelom) zrážok sa na Slovensku v praxi venuje len málo. Rozhodli sme sa zaoberať touto problematikou nielen z tohto dôvodu, ale aj z príčiny, že generátory počasia treba vytvoriť vždy pre dané lokálne fyzicko-geografické podmienky, ktorého potenciál však treba vždy overovať od prípadu k prípadu.

Výstupy stochastických modelov zrážok, ktoré imitujú štatistické vlastnosti meraných časových radov, sú používané najmä ako vstupy do zrážkovo-odtokových modelov pre generovanie dlhých syntetických radov prietokov v rámci kombinovaného deterministicko-stochastického modelovacieho prístupu. Tieto tzv. hybridné metódy umožňujú vytvárať umelé časové rady prakticky ľubovoľnej dĺžky, s bohatšou kombináciou extrémnych hydrologických situácií, ako máme k dispozícii z meraní. Keďže zrážkovo-odtokové modely používané vo frekvenčnej analýze prietokov majú v prevažnej miere priestorovo sústredené parametre, je účelné zaviesť do praxe modelovanie úhrnov zrážok na povodí, ktoré sa doteraz neobjavilo ani vo svetovej literatúre. Obídeme tak potrebu študovať a modelovať priestorové závislosti v sústave zrážkomerných staníc (Výleta, 2013).

Na riešenie problému simulovania úhrnov zrážok bolo v minulosti vyvinutých množstvo matematických modelov (generátorov zrážok), avšak niektoré z nich sú overené len pre špecifické podmienky toho-ktorého režimu a nemožno ich len tak mechanicky aplikovať. V práci preto predstavíme generátor zrážok ktorý je použiteľný pre naše fyzicko-geografické podmienky v rámci Slovenska. Jeho základom pri aplikácii vo frekvenčnej analýze prietokov je podmodel množstva zrážok modelujúci výšky denného úhrnu zrážok. V tomto prípade sa jedná o nový navrhovaný model, ktorého podstatou je výber vhodnej funkcie hustoty pravdepodobnosti na jedno a viacdenné zrážkové úhrny s využitím metódy fragmentov na desagregáciu výšky úhrnu zrážok do jednotlivých zrážkových dní.

CHARAKTERISTIKA GENERÁTORA ZRÁŽOK

Pokiaľ hovoríme o modelovaní denných zrážkových úhrnov, tak je vo všeobecnosti rozdelené do dvoch nezávislých etáp. Tento princíp sme využili i my pri navrhovaní a zostavení generátora zrážok, pričom je vzájomne oddelená etapa modelu generovania výskytu zrážok a modelu množstva zrážok.

Metodický postup generovania výskytu zrážok v tomto príspevku je založený na Markovových reťazcoch, umožňujúcich kvantifikáciu podmienených pravdepodobností prechodu určitého typu dňa (podľa výskytu zrážok) do susedných dní. Základom tejto metódy je odvodenie konkrétnych parametrov modelu výskytu zrážok, a síce nájdenie pravdepodobností prechodu Markovovho reťazca, ktorý môže nadobúdať určitý konečný počet diskretných stavov (hodnôt). Podrobnejší opis tejto metódy je opísaný v práci (Výleta a Szolgay, 2012). Modelovaniu výskytu zrážok pomocou modelu založenom na Markovových reťazcoch sa venovali napr. aj Gabriel a Neumann (1962), Caskey (1963), Chin (1977), Richardson (1981), Stern a Coe (1984).

Postup generovania výšky (množstva) denného úhrnu zrážok podrobnejšie opíšeme v nasledujúcej časti, vzhľadom na skutočnosť, že sa jedná o nový navrhovaný model, ktorý podľa našich vedomostí, nebol publikovaný v domácej ani vo svetovej literatúre.

Model množstva zrážok s výberom funkcie hustoty rozdelenia pravdepodobnosti na jedno a viacdenné úhrny zrážok

Úlohou modelu je generovať jedno a viacdenné úhrny (výšky) zrážok a prerozdeliť viacdenné úhrny zrážok do jednotlivých zrážkových dní pomocou desagregačnej metódy fragmentov. Základnou otázkou pri konštrukcii tohto modelu je voľba vhodného typu rozdelenia pravdepodobnosti na jedno a viacdenné úhrny zrážok. Nutnosťou je aproximácia jedno a viacdenných zrážkových úhrnov podľa zvoleného typu rozdelenia pravdepodobnosti samostatne pre každú sezónu (v našom prípade sezóna = mesiac) zvlášť, čím je zabezpečená sezonalita.

Ešte pred samotnou simuláciou denného úhrnu zrážok je potrebné pomocou štatistickej analýzy z pozorovaných úhrnov zrážok zistiť početnosti výskytu jedno a viacdenných zrážok (početnosti výskytu rôznych kategórií) a ich zodpovedajúce výšky zrážkového úhrnu. Subjektívne si je

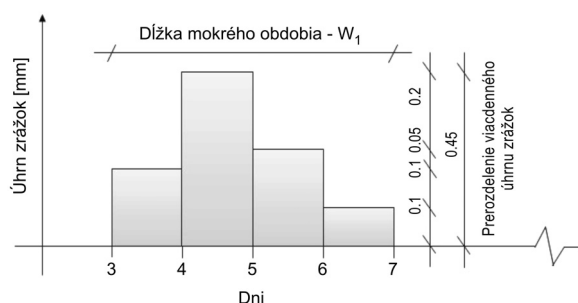
potrebné definovať, aký je dostatočný počet hodnôt v týchto kategóriách, pre ktoré má zmysel hľadať vhodnú funkciu hustoty pravdepodobnosti zvoleného rozdelenia. V tomto príspevku sme si počet hodnôt v daných kategóriách v rámci sezóny (mesiaca) zvolili subjektívne na 6 a viac s tým, že ak je početnosť výskytu danej kategórie za mesiac 6 a viac, tak má zmysel pre túto kategóriu hľadať vhodné rozdelenie pravdepodobnosti. V príspevku boli aplikované nasledujúce spojité rozdelenia pravdepodobnosti:

- exponenciálne,
- gamma,
- Weibullovo,
- generalizované Pareto typu III.

Prerozdelenie generovaného viacdenného zrážkového úhrnu do jednotlivých zrážkových dní je zabezpečené pomocou desagregačnej metódy fragmentov (Obr. 1), kde ako fragment možno definovať rad podielov prerozdelenia úhrnu zrážok do zrážkových dní. Je vypočítaný z pozorovaného radu denných úhrnov zrážok, pričom každému viacdennému úhrnu zrážok, pre ktoré je hľadaná vhodná funkcia hustoty pravdepodobnosti je náhodne pomocou rovnomerného rozdelenia pridelený tento fragment. V prípade, ak by daný fragment neexistoval, alebo keď nie je dosiahnutý dostatočný počet hodnôt (početnosti výskytu) danej kategórie v rámci sezóny (mesiaca) je rad podielov prerozdelenia úhrnov zrážok generovaný náhodne, aby dával súčet 1.

Obrázok 1. Schéma prerozdelenia viacdenného úhrnu zrážok pomocou fragmentu.

Figure 1. Schematic disaggregation of multi-day precipitation using a fragment.

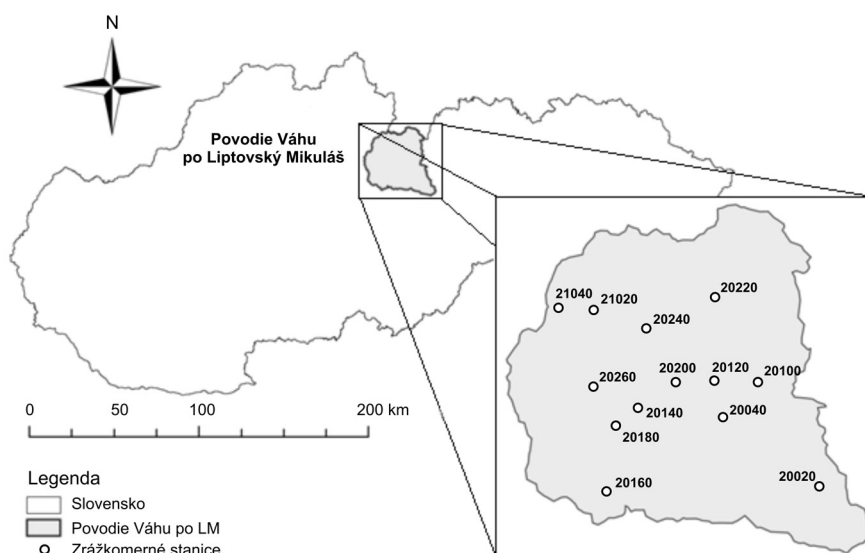


ZÁUJMOVÉ ÚZEMIE A VSTUPNÉ ÚDAJE

V tomto príspevku bolo ako záujmové územie zvolené povodie Váhu po Liptovský Mikuláš a jeho lokalizácia v rámci Slovenska je zobrazená na obrázku 2. Vybrané záujmové územie je pokryté 13 zrážkomernými stanicami, pričom v zátvorke uvádzame aj ich indikatívy: Hybe (20200), Kónská (21020), Kráľova Lehota (20140), Kráľova Lehota-Čierny Váh (20040), Liptovský Hrádok (20260), Liptovská Teplička (20020), Malužiná - Michalovo (20180), Podbanské (20220), Pribylina (20240), Važec (20100), Východná (20120), Vyšná Boca (20160) a Žiar (21040). Ich rozmiesťenie v záujmovom povodí v rámci Slovenska je zobrazené tiež na obrázku 2. Výber týchto staníc je prevzatý z práce (Výleta a kol., 2011), kde sa venovali posúdeniu vplyvu zmeny klímy na odtokové procesy na Slovensku.

Obrázok 2.
Lokalizácia modelovaného povodia v rámci Slovenska a rozmiestnenie zrážkomerných staníc na vybranom povodí.

Figure 2.
 Location of the modeled river basin within the Slovak Republic and deployment of precipitation stations for selected river basin.



Zo staníc boli spracované denné úhrny zrážok od 1. 1. 1981 do 31. 12. 2010. Údaje o denných úhrnoch zrážok boli následne použité na výpočet denných úhrnov zrážok na povodie pomocou metódy Thiessenových polygónov, ktorá sa bežne v meteorológii, klimatológii, či hydrológii používa.

ODHAD PARAMETROV JEDNOTLIVÝCH PODMODELOV GENERÁTORA ZRÁŽOK

Keďže koncepcia generátora zrážok opísaná v príspevku sa skladá z dvoch nezávislých častí, a síce modelu výskytu zrážok (generuje striedanie výskytu suchých a mokrých období) a modelu množstva zrážok (generuje výšky úhrnu zrážok) je nutné tieto podmodely kalibrovať.

Odvodenie parametrov Markovovho modelu výskytu zrážok

Optimalizácia rádu Markovovho reťazca modelu výskytu zrážok bola riešená minimalizačnými kritériami vierohodnosti Akaikeho informačné kritérium – AIC a Bayesovské informačné kritérium – BIC, pričom vzťahy na ich výpočet podáva Výleta (2013). Pomocou algoritmu harmonického prehľadávania (Geem a kol., 2002) bolo nájdených 12 optimálnych parametrov (rádov Markovovho reťazca) pre každý mesiac zvlášť (Tab. 1).

Pre ukážku sú v tabuľke 2 odvodené pravdepodobnosti prechodu pre mesiace január až august, pre ktoré bol vyhodnotený ako optimálny rád Markovov reťazec prvého rádu. Obsahuje napr. zápis $p(\mathbf{0} \rightarrow \mathbf{1})$, čo predstavuje pravdepodobnosť výskytu dňa so zrážkami, ktorý nasleduje po dni, kedy sa úhrny zrážok nevyskytli.

Podobným spôsobom sú odvodené i parametre (prechodové pravdepodobnosti) Markovovho reťazca druhého (pre september a október) a tretieho rádu (pre november a december).

Tabuľka 1. Optimálny rád Markovovho reťazca pre jednotlivé kalendárne mesiace.

Table 1. Optimum order of Markov chain for each calendar months.

Mesiace	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Optimálny rád	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3

Tabuľka 2. Pravdepodobnosti prechodu jednoduchého Markovovho reťazca (prvého rádu).

Table 2. Transition probabilities of simple Markov chain (first order).

Markovov reťazec prvého rádu	Pravdepodobnosť prechodu			
	Nezávislá		Závislá	
	$p(\mathbf{0} \rightarrow \mathbf{1})$	$p(\mathbf{1} \rightarrow \mathbf{1})$	$p(\mathbf{0} \rightarrow \mathbf{0})$	$p(\mathbf{1} \rightarrow \mathbf{0})$
Január	0.278	0.788	0.722	0.212
Február	0.313	0.771	0.687	0.229
Marec	0.367	0.741	0.633	0.259
Apríl	0.371	0.737	0.629	0.263
Máj	0.412	0.779	0.588	0.221
Jún	0.462	0.764	0.538	0.236
Júl	0.390	0.734	0.610	0.266
August	0.395	0.665	0.605	0.335

Odvodenie parametrov modelu množstva zrážok s výberom funkcie hustoty pravdepodobnosti na jedno a viacdenné zrážkové úhrny

Vhodnosť použitia exponenciálneho, gamma, Weibullovo a generalizovaného Pareto typu III rozdelenia pravdepodobnosti do tohto modelu určíme pomocou porovnania a testovania empirickej a teoretických kumulatívnych distribučných funkcií CDF vybraných rozdelení pravdepodobnosti pre každú sezónnu (mesiac) zvlášť. Ukážka porovnania CDF pre 1-denné úhrny zrážok v rámci mesiaca máj (V) je zobrazená na obrázku 3 v lineárnej mierke. Na zvislej osi sú vynesené hodnoty kumulatívnej distribučnej funkcie (CDF) a na vodorovnej osi hodnoty denných úhrnov zrážok v daných mesiacoch (Hd [mm]).

Obrázok 3.
Porovnanie empirického a teoretických CDF exponenciálneho, gamma, Weibullovoho a generalizovaného Pareto typu III rozdelenia pravdepodobnosti 1-denných úhrnov zrážok v lineárnej mierke pre mesiac máj (V).

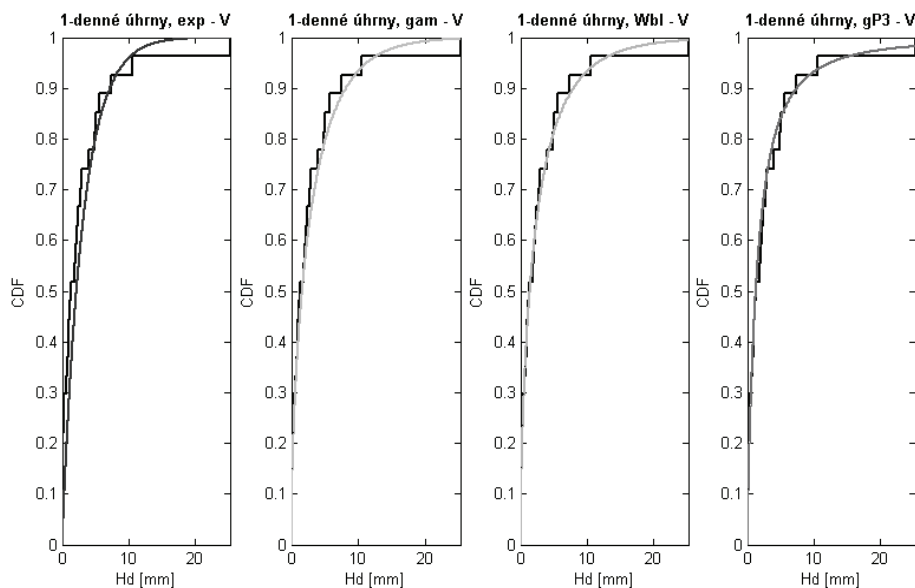
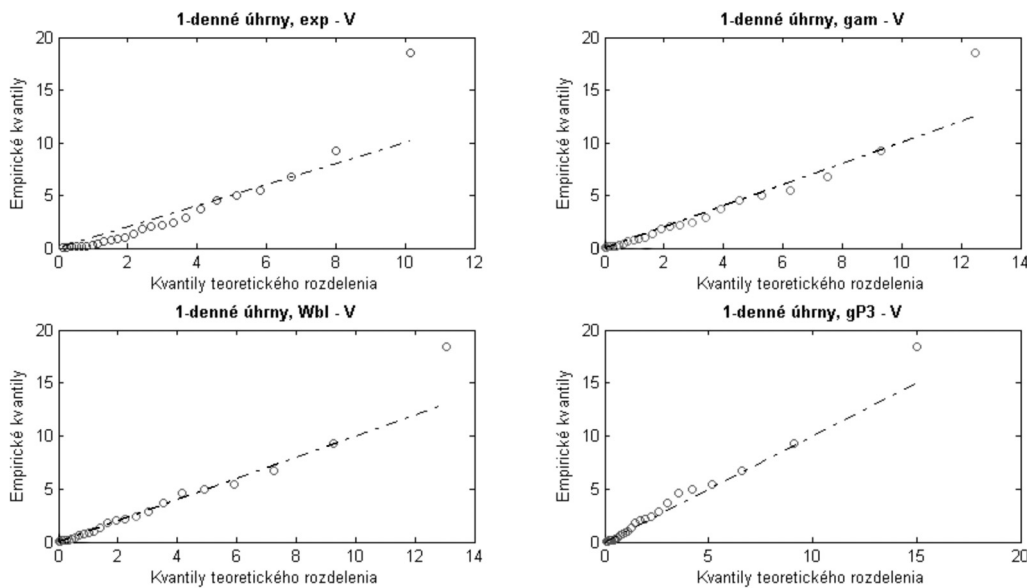


Figure 3.
Comparison of the empirical and the theoretical CDF of the exponential, gamma, Weibull and generalized Pareto distribution of type III of 1-day precipitation totals in linear scale for the selected month of May (V).

Obrázok 4. **Q-Q grafy exponenciálneho, gamma, Weibullovoho a generalizovaného Pareto typu III rozdelenia pravdepodobnosti 1-denných úhrnov zrážok pre mesiac máj (V).**

Figure 4. **Q-Q plots of the exponential, gamma, Weibull and generalized Pareto distribution of type III of 1-day precipitation for the selected month of May (V).**



Toto porovnanie v mesiaci máj (V) ilustruje menej vhodné použitie exponenciálneho rozdelenia pravdepodobnosti. Pri jeho aplikácii do generátora zrážok by dochádzalo k významnému nadhodnocovaniu maximálnych hodnôt úhrnu zrážok. K miernemu podhodnocovaniu týchto hodnôt by prispievalo zapojenie gamma a Weibullovoho rozdelenia pravdepodobnosti do modelu. Najväčšiu zhodu medzi empirickou a teoretickou kumulatívnou distribučnou funkciou vykazuje aplikácia generalizovaného Pareto typu III rozdelenia pravdepodobnosti do modelu.

Ďalším grafickým spôsobom ako sme posudzovali, či pozorované údaje pochádzajú z daného známeho rozdelenia bol kvantil-quantilový graf (Q-Q graf), kde sú na zvislej osi

vynesené usporiadané hodnoty pozorovaných úhrnov zrážok (empirické kvantily) a na vodorovnú os kvantily zvoleného teoretického rozdelenia pravdepodobnosti. Metódou najmenších štvorcov sa týmito bodmi preloží priamka, a čím menej sa body odchyľujú od tejto priamky, tým lepšia je zhoda medzi empirickým a teoretickým rozdelením. V ideálnom prípade by vynesené body ležali presne na priamke. Na obrázku 4 sú zobrazené Q-Q grafy exponenciálneho, gamma, Weibullovoho a generalizovaného Pareto typu III rozdelenia pravdepodobnosti 1-denných zrážkových úhrnov pre mesiac máj (V). Z porovnania vyplýva, že najvhodnejším rozdelením pre 1-denné úhrny zrážok v mesiaci máj je generalizovaného Pareto rozdelenie pravdepodobnosti typu III.

Obrázok 5.
Porovnanie empirického a teoretických CDF exponenciálneho, gamma, Weibullovo a generalizovaného Pareto typu III rozdelenia pravdepodobnosti 2-denných úhrnov zrážok v lineárnej mierke pre mesiac máj (V).

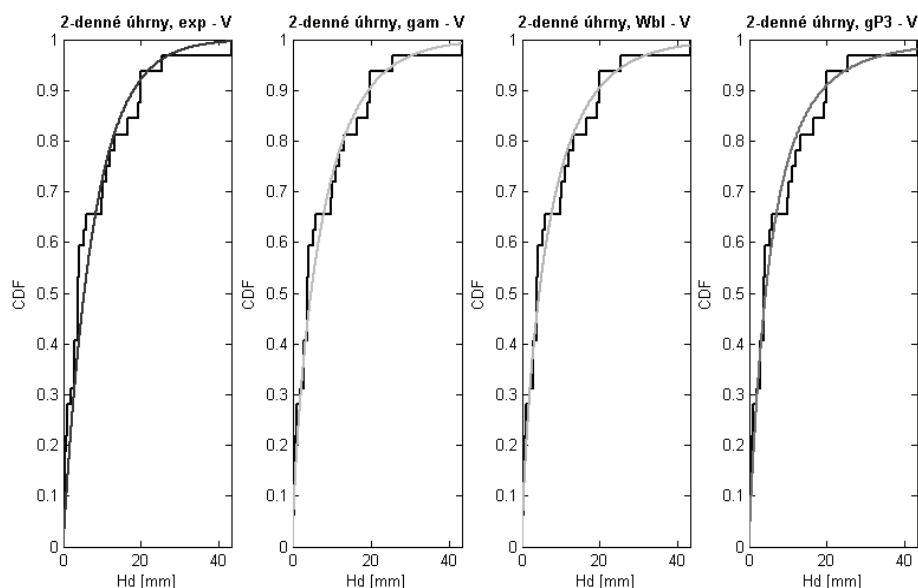
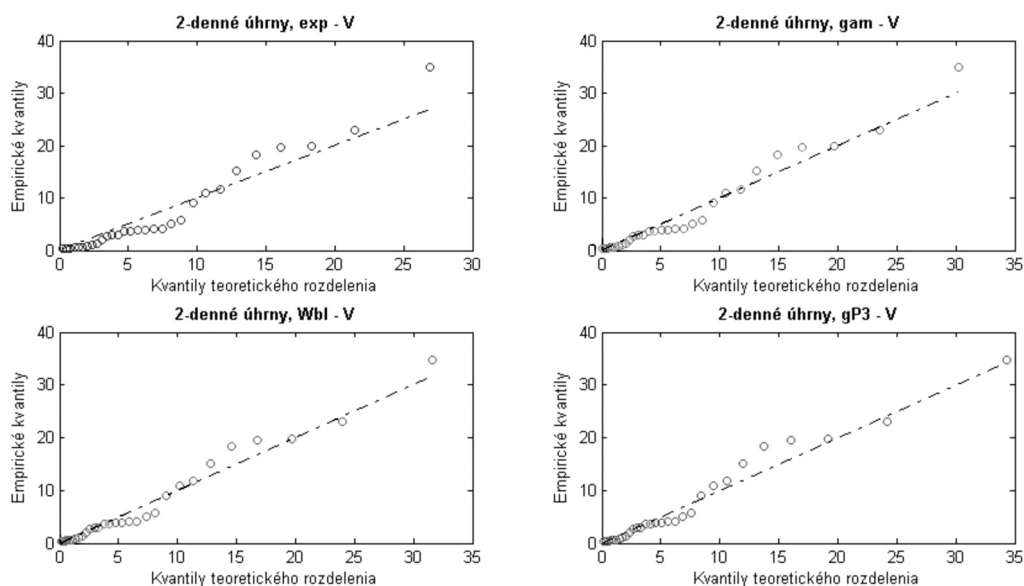


Figure 5.
Comparison of the empirical and the theoretical CDF of the exponential, gamma, Weibull and generalized Pareto distribution of type III of 2-day precipitation totals in linear scale for the selected month of May (V).

Obrázok 6. **Q-Q grafy exponenciálneho, gamma, Weibullovo a generalizovaného Pareto typu III rozdelenia pravdepodobnosti 2-denných úhrnov zrážok pre mesiac máj (V).**

Figure 6. *Q-Q plots of the exponential, gamma, Weibull and generalized Pareto distribution of type III of 2-day precipitation for the selected month of May (V).*



Na obrázkoch 5 a 6 vykresľujeme tieto grafické porovnania pre 2-denné úhrny zrážok. Grafické porovnania pre ostatné mesiace, ako aj pre 3 a viacdenné úhrny zrážok, boli spracované a porovnávané podobným spôsobom.

Na určenie vhodnosti rozdelenia pravdepodobnosti slúži i jednovýberový Kolmogorov-Smirnov test, pričom jeho výsledky, resp. jeho p-hodnoty pre jednotlivé kalendárne mesiace 1 až 2-denných úhrnov zrážok sú uvedené v tabuľkách 3 a 4. Testujeme na 80 % hladine významnosti (Rulfová a Kyselý, 2013).

Kolmogorov-Smirnov test bol realizovaný aj pre 3 a viacdenné úhrny zrážok, ktorý sme pri výslednom určení vhodnosti daného rozdelenia pravdepodobnosti pre 3 a viacdenné zrážkové úhrny pre jednotlivé kalendárne mesiace tiež zohľadnili.

Pri zohľadnení všetkých porovnaní o určení vhodnosti jednotlivých typov rozdelení pravdepodobnosti boli vybrané najvhodnejšie rozdelenia, ktoré sú uvedené v tabuľke 5 pre jedno a viacdenné zrážkové úhrny každého kalendárneho mesiaca zvlášť.

Tabuľka 3. Výsledky testu Kolmogorov-Smirnova vybraných rozdelení pravdepodobnosti pre 1-denné zrážkové úhrny v jednotlivých kalendárnych mesiacoch. Šedou farbou znázorňujeme prijatie hypotézy na hladine významnosti 80 %.

Table 3. Results of Kolmogorov-Smirnov test for the selected probability distributions for 1-day precipitation in each month. Grey color represents the acceptable hypothesis for a confidence level of 80%.

Rozdelenie pravdepodobnosti	1-denné úhrny zrážok											
	p-hodnota											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
exponenciálne	0.059	0.021	0.014	0.004	0.173	0.088	0.040	0.059	0.013	0.000	0.001	0.022
gamma	0.118	0.439	0.678	0.298	0.939	0.859	0.198	0.897	0.875	0.244	0.172	0.459
Weibullovo	0.290	0.658	0.972	0.601	0.957	0.946	0.320	0.818	0.995	0.535	0.561	0.680
gen. Pareto III	0.679	0.798	0.660	0.872	0.653	0.675	0.567	0.396	0.844	0.921	0.954	0.820

Tabuľka 4. Výsledky testu Kolmogorov-Smirnova vybraných rozdelení pravdepodobnosti pre 2-denné zrážkové úhrny v jednotlivých kalendárnych mesiacoch. Šedou farbou znázorňujeme prijatie hypotézy na hladine významnosti 80 %.

Table 4. Results of Kolmogorov-Smirnov test for the selected probability distributions for 2-day precipitation in each month. Grey color represents the acceptable hypothesis for a confidence level of 80%.

Rozdelenie pravdepodobnosti	2-denné úhrny zrážok											
	p-hodnota											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
exponenciálne	0.803	0.575	0.562	0.575	0.179	0.864	0.687	0.983	0.622	0.599	0.156	0.644
gamma	0.540	0.988	0.720	0.663	0.538	0.870	0.861	0.955	0.637	0.849	0.616	0.918
Weibullovo	0.564	0.988	0.850	0.828	0.693	0.909	0.924	0.979	0.606	0.912	0.866	0.867
gen. Pareto III	0.519	0.962	0.978	0.800	0.767	0.875	0.840	0.988	0.576	0.854	0.993	0.800

Tabuľka 5. Zvolené typy rozdelení pravdepodobnosti jedno a viacdenných zrážkových úhrnov pre jednotlivé kalendárne mesiace (exp – exponenciálne, gam – gamma, Wbl – Weibullovo a gP3 – generalizované Pareto typu III).

Table 5. Selected probability distributions functions for a daily and multi-day precipitation in each months (exp - exponential, gam – gamma, Wbl – Weibull and gP3 - generalized Pareto distribution of type III).

Úhrny zrážok	Rozdelenie pravdepodobnosti											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1-denné	gP3	Wbl	Wbl	gam	Wbl	Wbl	gP3	Wbl	Wbl	gam	gP3	gam
2- denné	exp	Wbl	gP3	Wbl	gP3	Wbl	gP3	exp	gam	Wbl	Wbl	gam
3- denné	gam	Wbl	gam	exp	gP3	gam	Wbl	Wbl	Wbl	gam	Wbl	gam
4- denné	Wbl	Wbl	Wbl	gam	gam	Wbl	Wbl	Wbl	gP3	gam	gP3	gam
5- denné	Wbl	Wbl	gP3	gP3	Wbl	gam	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	gam
6- denné	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	gam
7- denné	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	gam
8- denné	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	Wbl	gam

VÝSLEDKY

Po kalibrácii oboch súčastí generátora zrážok (oboch podmodelov) boli vygenerované denné časové rady úhrnov zrážok na povodie o dĺžke 1000 rokov, ktoré je potrebné porovnať so vstupnými údajmi (denné úhrny zrážok na povodie pozorované za obdobie 30 rokov na povodí Váhu po Liptovský Mikuláš).

Výsledky zostaveného generátora zrážok podrobíme hodnoteniu kvality a presnosti simulácie denných úhrnov zrážok, resp. hodnoteniu výšok denných úhrnov zrážok na vybranom povodí. Tu je potrebné zamerať sa a klásť dôraz na zachovanie priemerných jedno a viacdenných úhrnov zrážok, resp. výšok v zrážkových obdobiach v pozorovanom rade (Obr. 7). Toto porovnanie je veľmi dôležité, keďže je potrebné zachovávať výšku (úhrn) zrážok hlavne v menej denných trvaniach (1–4 dni) pre potreby frekvenčnej analýzy prietokov, vzhľadom na ich veľkú početnosť výskytu v skutočnosti.

Z obrázku 7 je viditeľné, že zostavený generátor zrážok (model) napodobňuje dobre, v primeranej zhode, priemerné 1, 2, 3, a 4-denné úhrny zrážok (krátkodobé trvania),

čo je pri aplikácii modelu vo frekvenčnej analýze prietokov veľmi dôležité. V 17 a 22 dennom zrážkovom úhrne model síce podhodnocuje tieto hodnoty, avšak početnosť výskytu 17 a 22 denného úhrnu zrážok je minimálna, preto môžeme tento fakt zanedbať.

Ďalším veľmi dôležitým faktorom je zohľadnenie variability menejdenných úhrnov zrážok (1 až 4-denných) pri samotnom generovaní denných výšok (úhrnov) zrážok na povodie. Toto porovnanie je realizované pomocou krabicových grafov (tzv. boxplotov). Vykresľujeme ho na obrázkoch 8 a 9 pre 1 až 4-denné zrážkové úhrny, čiernym bodom je označená hodnota ich priemerného zrážkového úhrnu.

Z obrázkov 8 a 9 je zreteľné, že model zohľadňuje premenlivosť 1, 2, 3 a 4-denných úhrnov zrážok pozorovaného radu. Ich početnosť, ktorá sa nachádza v intervale medzi dolným (25 %) a horným (75 %) kvartilom 1, 2, 3 a 4-denných úhrnov zrážok v simulovanom rade je približne rovnaká ako v pozorovanom. Zostavený model nadhodnocuje maximálne 1, 2, 3 a 4-denné úhrny zrážok v porovnaní s pozorovaným radom, čo je však pozitívne zistenie, keďže v simulovanom rade by sa všeobecne mali vyskytovať

