

Regionálna frekvenčná analýza ročných maximá jednodenných úhrnov zrážok vo vybraných oblastiach Slovenska – Experimenty s klastrovou analýzou

Ladislav Gaál, gaal@fmph.uniba.sk

Abstrakt

Vyčlenenie homogénnych regiónov staníc je kľúčovým momentom úspešného zvládnutia regionálnej frekvenčnej analýzy atmosférických zrážok. Predložená práca je zameraná práve na tento prvý krok tzv. regionálneho L-momentového algoritmu. Jej cieľom je nájsť také charakteristiky staníc, ktoré dobre vystihujú rozdielne fyzikálne mechanizmy genézy zrážok, t.j. vybrať parametre, pomocou ktorých nám klastrová analýza vykreslí rôzne zoskupenia staníc (regióny) s podobnou klímou zrážok na všetkých staniách daného regiónu. Vhodnou kombináciou charakteristík geografickej polohy stanice, priemerného ročného úhrnu zrážok, ročného chodu mesačných úhrnov zrážok, resp. sezónnosti extrémnych zrážok by sme sa mohli dopracovať k úspešnej regionalizácii ročných maximá jednodenných úhrnov zrážok na 123 staniách vo vybranej oblasti stredného-severného Slovenska. Výsledky klastrovej analýzy odprezentujeme na Bioklimatologických dňoch vo Viničkách.

Kľúčové slová: ročné maximá denných úhrnov zrážok, regionálna frekvenčná analýza, regionálny L-momentový algoritmus, klastrová analýza, homogénne regióny, lokálne charakteristiky, lokálne štatistiky, Burnov vektor, Lapinove indexy, Slovensko.

Abstract

Delineation of homogeneous regions is the most essential part of the regional frequency analysis of precipitation. The following work is therefore focused on the very first step of the so-called regional L-moment algorithm. The aim of the work is to find site characteristics that refers to different physical mechanism of precipitation genesis, i.e. to put together parameters, with which the cluster analysis would be able to draw various groups of stations (regions) with similar precipitation climate at each station of a given region. A suitable combination of the characteristics such as the geographical location, the annual precipitation totals, the interannual variability of monthly precipitation totals or the seasonality of extreme precipitation could, in principle, lead to a successful regionalization of the annual maxima of 1-day precipitation totals at 123 stations of the selected areas of the mid-northern Slovakia. The results of the cluster analysis will hopefully be presented at the Bioclimatological Days at Viničky.

Key words: annual maxima of daily precipitation, regional frequency analysis, regional L-moment algorithm, cluster analysis, homogeneous regions, site characteristics, site statistics, Burn's vector, Lapin's indices, Slovakia.

1 Úvod

Poznanie návrhových hodnôt úhrnov zrážok je nevyhnutným v rôznych odvetviach sociálno-ekonomickej sféry: inžinierske projektantské práce kanalizačných sietí a vodných nádrží, protipovodňová ochrana, ochrana proti vymývaniu pôdy a strát vegetácie pri intenzívnych búrkových lejakoch atď. Odhady návrhových hodnôt v minulosti vychádzali zo štatistickej analýzy radu pozorovania jedine v mieste záujmu, v posledných dvoch desaťročiach sa však misky váh jednoznačne prikláňajú na stranu tzv. regionálneho odhadu návrhových hodnôt.

Regionálna frekvenčná analýza (skr. RFA; nazývaná aj ako regionálna analýza početnosti výskytu javov) sa na rozdiel od klasickej lokálnej analýzy pracuje časovými radmi z viacerých staníc v určitom regióne. Rady pozorovania klimatických prvkov vo všeobecnosti nie sú dostatočne dlhé na to, aby sa pomocou nich mohla spoľahlivo identifikovať funkcia rozdelenia, ktorá prislúcha pozorovaným údajom. Keďže rozšírenie radov pozorovania v čase nie je možné (resp. iba na základe komplexného aparátu matematickej štatistiky), riešenie problematiky sa hľadá v priestorovom rozšírení dostupných informácií. Regionálna frekvenčná analýza javov vychádza z predpokladu, že ak lokálne početnosti javov na rôznych miestach regiónu majú podobné štatistické vlastnosti, súčasťou analýzou všetkých dostupných údajov sa môžu dosiahnuť presnejšie odhady návrhových hodnôt ako pomocou jednotlivých vzoriek zvlášť. Smerodajnou prácou pre odborníkov bádajúcich v danej problematike je monografia od autorov Hoskinga a Wallisa (1997). Hoskingov-Wallisov tzv. regionálny L-momentový algoritmus (skr. RLMA) pozostáva z viacerých krokov:

- identifikácia regiónov – základný a zároveň najzložitejší krok metodiky; odporúča sa vykonať ju pomocou zhlukovej (klastrovej) analýzy;
- voľba distribučnej funkcie – autori ponúkajú možnosť voľby 11 rôznych funkcií rozdelenia, od 2-parametrických až po 5-parametrickú funkciu rozdelenia;
- odhad regionálnej distribučnej funkcie, lokálnych kvantilov, resp. ich intervalov spoľahlivosti.

Regionálny L-momentový algoritmus, ako to prezrádza aj jeho meno je založený na tzv. L-momentoch, ktoré sú alternatívou ku všeobecne známym klasickým momentom (priemer, smerodajná odchýlka, strmosť, špicatosť atď.), vyznačujú sa však lepšími štatistickými vlastnosťami. Rozsiahlejší prehľad jednotlivých krokov RLMA, L-momentov, matematického aparátu ako aj rešerš relevantnej odbornej literatúry sa nachádza v Gaál (2003).

Vo svetovej odbornej literatúre sa publikovalo množstvo štúdií a článkov na tému regionálna frekvenčná analýza v rôznych environmentálnych vedných odboroch, predovšetkým v hydrológii (analýza prietokov) a klimatológii (analýza atmosférických zrážok a napr. aj rýchlosti vetra). Odborníci sa v rámci RFA venujú rôznym čiastkovým problémom, z ktorých jeden z najdôležitejších je metóda identifikácie homogénnych regiónov pre RFA. Regióny majú byť také zoskupenia staníc, ktoré približne spĺňajú požiadavku homogenity. To znamená, že rozdelenia pravdepodobností na staniaciach

daného regiónu majú podobné štatistické vlastnosti, inými slovami povedané, mechanizmus genézy analyzovaných javov je podobný na rozdielnych staniach regiónu. V tomto zmysle však nie je nutné, aby regióny boli geograficky súvislými oblasťami. Najúspešnejšie v tomto smere regionálnej frekvenčnej analýzy počína metóda ROI - *Region of Influence* - región vplyvu (Burn, 1990, 1997), ktorou sa však nebudeme zaoberať a našu pozornosť budeme venovať metódam vytvárania súvislých geografických regiónov.

V 90-tych rokoch sa v Spojených štátoch vynorila potreba vypracovania komplexného národného atlasu sucha, ktorého jedným zo základných charakteristík mali byť atmosférické zrážky. Mesačné úhrny zrážok sa spracovali na pravdepodobnostnej báze pomocou metódy L-momentov od Hoskinga a Wallisa (Guttman, 1993). Autor článku sa zameriaval na vyčlenenie regiónov s podobným režimom zrážok na celom území USA, a to na základe objektívnych regionalizačných metód. Guttman zdôraznil, že rozhodujúcim faktorom procedúry je definovanie fyzikálne dobre opodstatnených parametrov, ktoré najlepšie vystihujú podmienky tvorby dlhodobých pomerov atmosférických zrážok. Takmer identicky podobnú klastrovú analýzu, resp. L-momentové priblíženie aplikovali Dewar a Wallis (1999) vo svojej práci s cieľom charakterizovať medziročnú variabilitu atmosférických zrážok v tropických a subtropických oblastiach Zeme.

RLMA vychádzajúci z klastrovej analýzy sa aplikoval aj v Juhoafrickej republike: Smithers a Schulze (2001) podáva analýzu početnosti výskytu krátko trvajúcich zrážok (≤ 24 hodín) z celého územia JAR, resp. Kjeldsen et al. (2002) prezentujú výsledky regionálnej frekvenčnej analýzy ročných maxím prietokov z neregulovaných riek v provincii KwaZulu-Natal. Príkladov na úspešnú implementáciu RLMA od autorov Hoskinga a Wallisa (1997) by sme mohli nájsť zo svetovej literatúry ešte veľa (napr. Pilon et al, 1991; Adamowski et al., 1996; Sveinsson et al., 2002 atď.), no ťažko sa hľadajú také štúdie, v ktorých sa venuje pozornosť objektívnym metódam vyčlenenia regiónov. Vo väčšine prípadov sa analyzujú už existujúce geografické jednotky, resp. subjektívne vytvorené regióny, a to sú práve kroky, ktorým by sme sa chceli vyhýbať v našej analýze.

Slovenskí hydroológovia sa už niekoľko rokov zaoberajú analýzou prietokov na rôznych povodiach SR na základe spomínaných regionalizačných metód (o.i. Čunderlík, 1999; Kohnová a Szolgay, 2000). V problematike spracovania návrhových hodnôt mimoriadnych úhrnov zrážok tiež bolo publikovaných niekoľko menších regionálnych frekvenčných analýz (Stehlová et al., 2001, 2002; Jurčová et al., 2002), ale do komplexnej analýzy väčších územných celkov, prípadne celého územia SR sa ešte nikto nepustil. Z publikácií, ktoré sa síce venovali otázkam návrhových hodnôt mimoriadnych úhrnov zrážok, ale nie z pohľadu RFA spomenieme dve. Gaál (2001) spracoval lokálnu frekvenčnú analýzu úhrnov zrážok v oblasti malých Karpát, resp. Gaál a Lapin (2002) analyzovali vzťahy úhrn-trvanie-frekvencia pre 1- až 5-denné úhrny zrážok na dlhom rade pozorovania denných úhrnov zrážok v Hurbanove. Lapin et al. (2003) analyzovali vplyv atmosférickej cirkulácie na zrážky.

Cieľom predkladaného príspevku je poskytnúť stručný prehľad našich snáh v rámci riešenia otázok klastrovej analýzy, t.j. objektívneho vyčlenenia homogénnych regiónov, ktorý je prvým a pravde-

podobne najdôležitejším krokom RLMA. Po predchádzajúcom úvode do problematiky a prehľadu niektorých významných publikácií nasleduje druhá kapitola, v ktorej zdôvodňujeme voľbu oblasti, výber staníc a metódy spracovania ich radov denných úhrnov zrážok. Tretia kapitola je venovaná otázkam klastrovej analýzy, presnejšie zásadám voľby charakteristík vstupujúcich do procesu klastrovania. V dvoch podkapitolách tejto časti článku uvádzame aj detailnejší popis vybraných parametrov, Burnovho vektora a Lapinových indexov. Keďže v čase písania príspevku sme ešte nemali k dispozícii výsledky analýzy, v záverečnej časti článku namiesto diskusie uvádzame naše predstavy o výsledkoch, resp. ďalšie nápady na pokračovanie v skúmaní problematiky.

2 Výber oblasti a metodika spracovania

Za cieľovú oblasť našej analýzy sme si zvolili približne strednú-severnú časť stredného Slovenska. Imaginárnymi hranicami vybranej oblasti sú na severozápade Malá Fatra, na juhozápade Štiavnické vrchy a Vtáčnik, na juhu postupne Javorie, Poľana, Veporské vrchy, Stolické vrchy a Volovské vrchy, na severovýchode Šarišská vrchovina a Levočské vrchy a zároveň na severe Vysoké Tatry. Do výberu sú zahrnuté geografické jednotky ako Podtatranská kotlina, Liptovská kotlina, južná časť Oravy, Turčianska kotlina, povodie horného a stredného toku Hrona, povodie Slatiny a Hornádska kotlina.

Na uvedenú oblasť sme sa sústredili z viacerých dôvodov. Naším hlavným cieľom bolo skúmať rozdielne klímy atmosférických zrážok na Slovensku, a keďže nami vybraná oblasť je orograficky výrazne členitým terénom, tu sa práve najzreteľnejšie prejavujú rozdielne režimy aj extrémnych úhrnov zrážok za dostatočne dlhé (normálové) obdobie (napr. na severozápade vplyv Atlantiku, na juhu vplyv Stredomoria, ďalej náveterné a záveterné efekty atď.). Ďalším dôvodom bolo primeraná veľkosť územia, resp. primeraný počet obsiahnutých klimatologických a zrážkomerných staníc. Tento výber sa nám zdal ako rozumný kompromis medzi voľbou príliš malej oblasti (kde sa ešte nemusia ukazovať regionálne rozdiely v režime atmosférických zrážok), resp. medzi voľbou priveľkej oblasti (napr. celé územie SR, ktoré zahŕňa príliš veľa staníc – spracovanie vstupných radov denných úhrnov zrážok z takého veľkého počtu staníc by bolo časovo oveľa náročnejšie). Metodika regionálnej frekvenčnej analýzy zrážkových úhrnov v takejto podobe ešte nebola aplikovaná vo fyzicko-geograficko-klimatických pomeroch SR – domnievame sa, že ak dosiahneme rozumné výsledky na uvedenom, orograficky členitom území, nebolo by problémom rozšíriť analýzu aj na ostatné, menej členité oblasti Slovenska, t.j. na celé územie SR.

Výber staníc vo zvolenej oblasti sme prispôbili možnostiam, ktoré nám ponúka digitálna databáza KMIS Slovenského hydrometeorologického ústavu. Rady pozorovania denných úhrnov zrážok sa v digitálnom archíve SHMÚ nachádzajú vo väčšine prípadov od roku 1981 – iba niektoré, častejšie študované zrážkomerné stanice (napr. z povodia horného Hronu), resp. vybrané klimatologické stanice majú k dispozícii dlhší rad pozorovania atmosférických zrážok, t.j. od roku 1961, výnimočne od roku 1951. Posledným kompletným kalendárnym rokom je rok 2003, hornú hranicu radov sme teda stano-

vili 31. decembrom 2003. Najpodstatnejším kritériom výberu staníc do analýzy bolo to, aby stanica disponovala minimálne 20 kompletnými rokmi pozorovania. Pri dlhých radoch z klimatologických staníc je toto kritérium automaticky splnené, pri kratších radoch zo zrážkomerných staníc z obdobia 1981-2003 to pripúšťa existenciu maximálne 3 nekompletných rokov. Pod pojmom nekompletný rok rozumieme taký kalendárny rok, počas ktorého z nejakých dôvodov došlo k najmenej 1-mesačnému prerušeniu kontinuálneho pozorovania. Nekompletné roky sme zaradili do dvoch kategórií:

- a) *prerušenie o dĺžke 2 alebo viac mesiacov* (v krajnom prípade 12 mesiacov, t.j. celý rok) – nezávisle od toho, v ktorých mesiacoch chýbali údaje, daný rok na uvažovanej stanici sme vylúčili z následných analýz;
- b) *1-mesačné prerušenie* – pri spracovaní dlhodobých charakteristík zrážok (dlhodobé mesačné úhrny zrážok, počet výskytu zrážkových úhrnov nad určitou hranicou atď.) sme daný rok vyradili z analýzy. V prípade spracovania ročných maxím jednodenných úhrnov zrážok sme však o vylúčení rozhodovali v jednotlivých prípadoch osobitne. Aj keď extrémne zrážky vykazujú mimoriadnu priestorovú variabilitu, pozreli sme sa na údaje z 5 najbližších staníc v okolí (v okruhu cca. 10 km), pretože blízke susedné stanice nám môžu prezradiť užitočné informácie o úhrnoch zrážok v chýbajúcom mesiaci. Ak sa na niektorej z najbližších 5 susedných staníc vyskytlo lokálne ročné maximum za inkriminovaný mesiac, daný rok na skúmanej stanici sme vylúčili z analýzy – je totiž istá prevdepodobnosť, že podobné lokálne maximum alebo podozrivo vysoký úhrn zrážok sa mohlo pozorovať aj na skúmanej stanici, hlavne ak ide o priestorovo rozsiahlejšie frontálne zrážky. Naopak, ak mesačné maximum na susedných staniach boli v poriadku, na skúmanej stanici sme ponechali daný rok, v ktorom sa tak ročné maximum jednodenných úhrnov zrážok určilo iba na základe 11 existujúcich mesiacov.

Aj napriek tomu, že niektoré stanice s dlhšími radmi pozorovania spĺňali naše základné kritérium výberu o najmenej 20 kompletných rokoch, 3 z nich sme vylúčili z analýzy, pretože mali príliš veľa nekompletných rokov vzhľadom na celkovú dĺžku obdobia pozorovania.

Po zvážení stanovených kritérií nám v analýze ostalo 123 staníc so súhrnným počtom rokov 3489 (tzv. *station-year*). Najkratšie rady majú dĺžku 20 rokov (na 3 staniach), najdlhšie rady majú 53 rokov (na 6 staniach) a najčastejšie sa vyskytujú rady s dĺžkou 23 rokov (v 58 prípadoch). Stanice sú viac-menej rovnomerne rozložené na vybranom území.

Poznámka. Nespracovali sme normalizované dlhodobé charakteristiky zrážok a dôvodov na to máme niekoľko. 1) Pri dlhých radoch sme sa nechceli obmedziť iba na normálové obdobia (napr. obdobie 1961-1990), pretože sme sa snažili využiť všetky dostupné údaje zo staníc. 2) Z väčšiny staníc máme k dispozícii iba 20-23-ročné rady. Interpoláciou na základe kvalitných časových radov z najbližších klimatologických staníc by sme mohli vypočítať aj 30-ročné charakteristiky pre zrážkomerné stanice, ale domnievame sa, že týmto krokom by sme nechtiac ovplyvnili vlastnosti analyzovaných radov, „rozmyli“ by sa jedinečné vlastnosti radov zrážkomerných staníc v blízkosti referenčnej klimatologickej stanice.

3 Klastrová analýza

Identifikácia homogénnych regiónov je obvykle najzložitejším krokom regionálnej frekvenčnej analýzy a vyžaduje najväčší podiel subjektívneho rozhodovania. Zásahy odborníka vyžaduje proces finálneho preusporiadania skupín staníc po matematických operáciách klastrovania (zlúčenie menších regiónov, rozdelenie väčších regiónov, presun stanice do iného regiónu atď.). Údaje, ktoré sa používajú v procese vytvárania homogénnych regiónov by sa podľa Hoskinga a Wallisa (1997) mali rozdeliť na lokálne **charakteristiky** a lokálne **štatistiky**. Lokálne charakteristiky sú veličiny, ktoré sú známe ešte predtým, než sa získajú hocikaké merania alebo pozorovania zo stanice. Medzi ne patria geografická poloha stanice, jej nadmorská výška a ďalšie fyzicko-geografické vlastnosti spájajúce sa so stanicou. Lokálne štatistiky sú veličiny, ktoré sú výsledkom štatistického spracovania nameraných údajov na stanici. Takto kategorizované charakteristiky / štatistiky by sa mali využívať rozdielne: lokálne charakteristiky by mali slúžiť na vytváranie regiónov; naopak, lokálne štatistiky by sa mali použiť na nezávislé testovanie homogenity vytvorených regiónov.

Jednou z najdôležitejších úloh klimatológa pri zhlukovej analýze úhrnov zrážok je nájdenie tých správnych charakteristík staníc, na základe ktorých by sa mohol prepracovať k takému usporiadaniu skupín staníc, ktoré vystihujú podstatne odlišné mechanizmy tvorby zrážkových úhrnov. Hydrológovia v tomto smere majú o niečo ľahšiu úlohu, pretože sa okrem charakteristík zrážok môžu spoliehať aj na niektoré fyzicko-geografické charakteristiky povodia, napr. typ pôdy, spád povodia, rozloha povodia atď.

Spoločnou črtou klastrovej analýzy zrážkových úhrnov od Smithers a Schulze (2001), Guttman (1993), resp. Dewar a Wallis (1999) je použitie geografických súradníc staníc, priemerného ročného úhrnu zrážok a rozdielných charakteristík, ktoré popisujú interanúálnu variabilitu zrážkových úhrnov. V štúdiu Smithers a Schulze (2001), v ktorom sa spracúvajú extrémne zrážky k súboru charakteristík pribudla aj sezónnosť – prvok popisujúci regularitu výskytu extrémnych úhrnov zrážok počas roka. O indexe sezónnosti zrážok - ktorý sa dá definovať rôznymi spôsobmi - sa zaujímali aj ďalší autori. DeMichele a Rosso (2002) využili indexy sezónnosti na vyčlenenie homogénnych geografických regiónov v severozápadnej časti Talianska, a to ako na základe zrážkomerných, tak aj na základe hydrometrických údajov. Z analýz Castellarina a Bratha (2002) vyplýva, že indexy sezónnosti sú užitočným nástrojom, ktoré priniesli zlepšenie regionálnych odhadov návrhových hodnôt ročných prietokov v strednom-severnom Taliansku. Burn (1997), resp. Čunderlík a Burn (2001) úspešne rozvinuli teóriu indexov sezónnosti v hydrológii.

Pre naše experimenty s klastrovou analýzou ročných maxím jednodenných úhrnov zrážok sme sa snažili nájsť podobné charakteristiky ako v horeuvedených referovaných prácach. Pre každú stanicu sme pripravili nasledujúce charakteristiky:

- zemepisná šírka;
- zemepisná dĺžka;

- nadmorská výška;
- priemerný ročný úhrn zrážok ako charakteristika dlhodobých zrážkových pomerov;
- Burnov vektor ako charakteristika sezónnosti extrémnych zrážok (detailnejší popis charakteristiky v kapitole 3.1);
- Lapinove indexy vplyvu Stredomoria, resp. vnútrozemia ako charakteristika interanuálnej (vnútroročnej) variability mesačných úhrnov zrážok (kapitola 3.2);
- dlhodobé priemery počtu výskytu zrážkových úhrnov nad určitými prahovými hodnotami (priemerný počet dní so zrážkami, resp. počty výskytu nad 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80 a 100 mm).

V nasledujúcich dvoch podkapitolách uvádzame stručný prehľad matematického aparátu, na základe ktorého sme definovali dve relevantné charakteristiky popisujúce klímu zrážok: Burnov vektor a Lapinove indexy.

3.1 Sezónnosť: Burnov vektor

Burnov vektor (Burn, 1997) charakterizuje časový nástup a regulárnosť hydrologických extrémov. Predpokladá sa, že podobnosti v sezónnosti môžu byť následkom podobných fyziografických a meteorologických vplyvov. Nech dátum výskytu ročného maxima zrážkových úhrnov je Juliánov dátum, kde 1. január predstavuje prvý deň a 31. december je 365. deň v roku. Dátum výskytu i -teho javu sa transformuje na uhly v radiánoch na základe vzťahu

$$\theta_i = (JulianDate)_i \left(\frac{2\pi}{365} \right) \quad (1)$$

Dátum výskytu ročného maxima hydrologického javu sa tak môže interpretovať ako vektor s jednotkovou dĺžkou a s orientáciou θ_i . Priemerná orientácia n -ročného súboru je

$$\bar{\theta} = \tan^{-1} \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right), \quad (2)$$

kde $\bar{\theta}$ je v radiánoch, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(\theta_i)$ je priemer x -ových súradníc a $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin(\theta_i)$ je priemer y -ových súradníc n -člennej množiny vektorov. Priemerná orientácia $\bar{\theta}$ sa dá transformovať späť na deň v roku:

$$MD = \bar{\theta} \frac{365}{2\pi} \quad (3)$$

Variabilitu okolo priemernej hodnoty dostaneme, ak vypočítame modul priemerného vektora:

$$\bar{r} = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2}. \quad (4)$$

Dvojica $(\bar{\theta}, \bar{r})$ definuje **Burnov vektor**. $\bar{\theta}$, resp. MD predstavuje mieru priemerného dátumu výskytu ročného maxima zrážkových úhrnov (MD – Mean Day). \bar{r} predstavuje bezrozmernú mieru

rozptylu dátumov výskytu a môže nadobudnúť hodnoty medzi 0 a 1. Krajný prípad $\bar{r} = 0$ znamená, že ročné maximá sú rozdelené rovnomerne počas roku; druhý extrém predstavuje situáciu, keď všetky ročné maximá sa pozorujú v rovnaký deň roka. Čím vyššiu hodnotu má teda \bar{r} , tým regulárnejšie sa vyskytujú ročné maximá hydrologických javov (atmosférických zrážok či prietokov).

3.2 Interanuálna variabilita zrážok: Lapinove indexy

Lapin sa spolu s Faškom (Lapin et al., 1995, 1997) pokúšali už dávnejšie rozdeliť Slovensko aspoň na dve časti podľa ročného chodu zrážok, ktorý je určený predovšetkým podielom vplyvu Stredomoria, Atlantiku a vnútrozemia kontinentu. Takéto tendencie sa ukázali aj vo výstupoch modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry (GCMs), kde uzlový bod na severozápade má zreteľný ročný chod zrážok typický pre atlantický vplyv, uzlový bod na severovýchode pre vnútrozemský vplyv a dva južné uzlové body (SW Maďarsko a W Rumunsko) reprezentujú stredomorský ročný chod zrážok, vrátane zníženia ročných úhrnov na východe (Lapin et al., 2000). To zrejme priviedlo Lapina k myšlienke jednoznačnejšie definovať vplyv Stredomoria a vnútrozemia Európy na režim ročného chodu zrážok na Slovensku pomocou dvoch jednoduchých indexov (Lapin, 2000, Hlavčová et al., 2000). Kvôli jednoduchosti a v neposlednom rade kvôli úcte k autorovi by sme tieto indexy odteraz radi nazývali Lapinovým indexom vplyvu Stredomoria, resp. Lapinovým indexom vplyvu vnútrozemia.

Predpokladajme, že charakteristický vnútrozemský režim ročného chodu zrážok má iba jedno výrazné maximum v júli a chýba jesenné podružné maximum. Potom môžeme považovať za prejav vplyvu Stredomoria posun hlavného maxima smerom k jari na jednej strane a veľkosť jesenného maxima na strane druhej. V prípade výraznejšieho vplyvu vnútrozemského režimu zrážok prevažuje západné až severné výškové prúdenie s výrazne nižšími úhrnmi zrážok na juhu Slovenska na jar, pričom je tam na jar počasie relatívne teplé. Pri Stredomorskom režime zrážok je na jar oblačné, daždivé a trochu chladné počasie na juhu Slovenska, hlavne južne od Poľany až po Maďarsko.

K určeniu Lapinovho indexu vplyvu Stredomoria zoberme do úvahy nasledujúce 3 kvantitatívne charakteristiky:

- a) pomer úhrnu v mesiaci s ročným maximom zrážok k úhrnu v mesiaci júl (posun maxima):

$$Q_1 = \frac{R_{Max}}{R_{VII}}; \quad (5)$$

- b) pomer úhrnu v máji k úhrnu v júli (v máji je maximum na severnom Balkáne a v júli vo vnútrozemí):

$$Q_2 = \frac{R_V}{R_{VII}}; \quad (6)$$

- c) pomer úhrnu zrážok v mesiaci s podružným maximom a podružným minimom (podružné maximá sa obvykle pozorujú v X.-XI., výnimočne v XII.-I., podružné minimá v IX.-X.; ak neexistuje podružné maximum, položíme tento pomer za rovný jednej):

$$Q_3 = \frac{R_{Max2}}{R_{Min2}}. \quad (7)$$

Za nulový vplyv Stredomoria považujeme stav, ak:

- a) ročné maximum zrážok je v júli – $Q_1 = 1$;
- b) májový úhrn zrážok nedosahuje polovicu júlového úhrnu zrážok – $Q_2 \leq 0,5$;
- c) neexistuje jesenné podružné maximum zrážok – $Q_3 = 1$.

Lapinov index vplyvu Stredomoria L_S definujeme súčtom uvedených troch kvocientov, znížené o 2,5, t.j. o sumu troch nulových stredomorských vplyvov:

$$L_S = Q_1 + Q_2 + Q_3 - 2,5. \quad (8)$$

Postupy pri určení Lapinovho indexu vplyvu vnútrozemia sú podobné, iba rozhodujúce kvocienty zrážkových úhrnov sa definujú rozdielnym spôsobom. Uvažujeme 2 kvantitatívne charakteristiky:

- a) pomer úhrnov zrážok v mesiaci s maximom a minimom v ročnom chode:

$$Q_4 = \frac{R_{Max}}{R_{Min}}; \quad (9)$$

- b) pomer úhrnu zrážok v mesiaci s hlavným maximom k mesiacu s vedľajším maximom (ak neexistuje podružné maximum zrážok, tento pomer položíme rovný jednej):

$$Q_5 = \frac{R_{Max}}{R_{Max2}}. \quad (10)$$

Za nulový vplyv vnútrozemia považujeme stav, keď mesačné úhrny zrážok sú rovnomerne rozdelené počas roka, t.j. všetky extrémne hodnoty sa navzájom rovnajú – $Q_4 = 1$, resp. aj $Q_5 = 1$. **Lapinov index vplyvu vnútrozemia** L_V definujeme súčtom uvedených dvoch kvocientov, znížené však o hodnotu 2, t.j. o sumu dvoch nulových vnútrozemských vplyvov:

$$L_V = Q_4 + Q_5 - 2 \quad (11)$$

Uvedené indexy ďalej Lapin analyticky upravil tak, aby na stanici s maximálnym vnútrozemským vplyvom (Kuková) bo vplyv vnútrozemia rovný 1,00 a vplyv Stredomoria rovný 0,00. Na stanici s najväčším stredomorským vplyvom (Plachtince) je to naopak (Lapin, 2000). Toto škálovanie je možné aj dodatočne upraviť. Na krajnom severozápade Slovenska trochu komplikuje takéto jednoduché rozdelenie atlantický vplyv na režim zrážok, prejavujúci sa zvýšenými úhrnmi zrážok od novembra po január a menej výrazným ročným chodom (Lapin a Tompain, 2001).

4 Diskusia výsledkov analýzy / Ciele do budúcnosti

Na tomto mieste zatiaľ nemôžeme uviesť diskusiu výsledkov analýzy, pretože ich ešte nemáme. Veľa času nám zabralo zber základných údajov, detailná úprava podkladov, resp. príprava a kontrola počítačových programov na spracovanie charakteristík (o.i. balík počítačových programov v jazyku

Fortran pre regionálnu frekvenčnú analýzu – Hosking, 2000). Myslíme však, že už máme k dispozícii dostatočne široké pozadie na to, aby sme mohli začať experimentovať s údajmi – od tejto chvíle by mohla nasledovať ozajstná práca klimatológa. Výsledky samozrejme chceme prekonzultovať s odborníkmi a akonáhle budú zmysluplné, odprezentujeme ich priamo na konferencii vo forme analýz, tabuliek, grafov a máp.

Samozrejme, už v tejto fáze spracovania máme nejaké predstavy o tom, k akým výsledkom by sme sa najradšej dopracovali. Veľké nádeje vkladáme do úspešnej aplikácie klastrovej analýzy. Najideálnejšie by bolo to, keby sa nám po vykonaní zhlukovej analýzy vykreslili také oblasti, o ktorých vieme, že existujú a ktoré sa naozaj vyznačujú špecifickými pomermi normálnych, resp. extrémnych úhrnov zrážok. Úspešná klastrová analýza by mohla znamenať, že sme sa nám podarilo definovať a kombinovať také parametre, ktoré dobre vystihujú fyzikálne mechanizmy tvorby zrážkovej klímy, a teda pravdepodobne máme recept na objektívnu regionalizáciu extrémnych úhrnov zrážok na celom území SR. Veríme hlavne v úspešnom použití Burnovho vektora a Lapinových indexov, pokusy budeme robiť aj charakteristikami prahových hodnôt úhrnov zrážok. Je tu samozrejme aj nemalá šanca na to, že sa pri prvých pokusoch ešte nedopracujeme k vytúženým výsledkom. Ak nám to nevyjde, budeme musieť modifikovať definíciu kľúčových parametrov, nájsť namiesto nich alternatívy alebo zobrať do úvahy aj iné charakteristiky. Už teraz máme niekoľko nápadov (detailne však ešte nevypracované), aké ďalšie parametre by neskoršie mohli prichádzať do úvahy:

- spriemerovaná nadmorská výška blízkeho okolia zrážkomernej stanice z DEM (digitálny elevačný model terénu) – namiesto bodového vyjadrenia nadmorskej výšky by sme definovali určitú priemernú nadmorskú výšku okolia stanice, ktorá by mala výpovednú hodnotu o tom, ako je stanica tienená orografickými prekážkami v jej najbližšom okolí. Mohlo by to byť aj vektor priemerných nadmorských výšok do určitej vzdialenosti od stanice, napr. v 8 hlavných smeroch veternej ružice;
- určité hydrogeografické charakteristiky blízkeho okolia zrážkomernej stanice z DEM (nápady ako sklon svahu, lesnatosť, zásoby vody v povodí atď.);
- makrosynoptická typizácia – existuje síce veľký počet makrosynoptických typov (rádovo 20), avšak málo z nich je potenciálne schopný prinášať extrémne úhrny zrážok; budeme uvažovať o tom, akými spôsobmi by sme mohli zakomponovať tieto informácie do klastrovej analýzy.

Po úspešnom zvládnutí klastrovania by sme mali k dispozícii homogénne regióny a mohli by sme pokračovať v ostatných krokoch RLMA, t.j. vybrať rozdelenia pravdepodobnosti maximálnych ročných úhrnov zrážok, odvodiť regionálne kvantilové funkcie (návrhové hodnoty) odhadnúť intervaly spoľahlivosti kvantilových funkcií a prípadne sa ešte pokúsiť o odhad kvantilov pre miesta bez priamych pozorovaní.

5 Záver

Regionálna frekvenčná analýza úhrnov zrážok (prietokov) je metóda odhadu návrhových hodnôt mimoriadnych klimatologických (hydrologických) javov, ktorá si našla široké uplatnenie v mnohých krajinách sveta a pomaly sa dostáva do povedomia odborníkov aj v našich končatinách. Predkladaná práca (resp. momentálne iba jej koncepcia) by mala byť prvým krokom na ceste k vypracovaniu komplexnej regionálnej frekvenčnej analýzy zrážkových úhrnov na Slovensku. Ako sme už spomínali, v čase písania príspevku sme ešte nemali k dispozícii výsledky analýzy, ale dúfame, že priamo už na Bioklimatologických dňoch budeme môcť prezentovať naše výsledky účastníkom konferencie. Navyiac ak naše výsledky budú uspokojivé, budeme sa snažiť zverejniť ich v čo najkratšej dobe vo forme časopiseckého článku, aby sa to dostalo – už v ucelenej podobe – aj k širšej odbornej verejnosti.

Pod'akovanie

Výsledky projektov VEGA č. 1/1042/04 (Grantová agentúra SR), POVAPSYS (SHMÚ) a APVT-51-006502 (ÚH SAV) ako aj údaje SHMÚ boli využité v tomto príspevku. Autor ďakuje za podporu výskumu a za poskytnutie podkladov.

Literatúra

- ADAMOWSKI, K., ALILA, Y., PILON, P. J., 1996. Regional rainfall distribution for Canada. *Atmospheric Research*, 1996, vol. 42, no. 1-4, p. 75-88.
- BURN, D. H., 1990. Evaluation of regional flood frequency analysis with a region of influence approach. *Water Resources Research*, 1990, vol. 26, no. 10, p. 2257-2265.
- BURN, D. H., 1997. Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures. *Journal of Hydrology*, 1997, vol. 202, no. 1-4, p. 212-230.
- CASTELLARIN, A., BRATH, A., 2002. Descriptive capability of seasonality indicators for regional frequency analysis of flood and rainfall (Abstract). In: *International Conference on Flood Estimation, Berne, Switzerland, 2002*. (+ osobná komunikácia)
- ČUNDERLÍK, J. M., BURN, D. H., 2001. The use of flood regime information in regional flood frequency analysis. *Hydrological Sciences Journal*, 2001, vol. 47, no. 1, p. 77-92.
- ČUNDERLÍK, J., 1999. *Regionálny odhad N-ročných prietokov vo vybraných povodiach Slovenska*. [Doktorská dizertačná práca]. Slovenská technická univerzita v Bratislave. Stavebná fakulta; Katedra vodného hospodárstva krajiny. Bratislava, 1999. 144 s.
- DE MICHELE, C., ROSSO, R., 2002. A multi-level approach to flood frequency regionalisation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2002, vol. 6, no. 2, p. 185-194.
- DEWAR, R. E., WALLIS, J. R., 1999. Geographical patterning of interannual rainfall variability in the tropics and near tropics: An L-moment approach. *Journal of Climate*, 1999, vol. 12, no. 12, p. 3457-3466.

- GAÁL, L., 2001. *Klimatická zabezpečenosť maximálnych denných úhrnov zrážok a mesačných úhrnov zrážok v oblasti Malých Karpát*. [Diplomová práca]. Univerzita Komenského v Bratislave. Fakulta matematiky, fyziky a informatiky; Katedra meteorológie a klimatológie. Bratislava, 2001. 127 s.
- GAÁL, L., 2003. *Prehľad metód výpočtu štatistických charakteristík návrhových hodnôt krátkodobých až viacdenných úhrnov zrážok*. [Písomný projekt dizertačnej práce]. Univerzita Komenského v Bratislave. Fakulta matematiky, fyziky a informatiky; Katedra meteorológie a klimatológie. Bratislava, 2003. 86 s.
- GAÁL, L., LAPIN, M., 2002. Extreme several day precipitation totals at the Hurbanovo observatory (Slovakia) during the 20th century. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 2002, vol. 32, no. 3, p. 197-213.
- GUTTMAN, N. B., 1993. The use of L-moments in the determination of regional precipitation climates. *Journal of Climate*, 1993, vol. 6, no. 12, p. 2309-2325.
- HLAVČOVÁ, K., SZOLGAY, J., MACURA, V., LAPIN, M., KOHNOVÁ, S., ČUNDERLÍK, J., PARAJKA, J., MELO, M., 2000. *Vplyv očakávanej zmeny klímy na odtokové pomery a výdatnosť vodných zdrojov v SR, II. etapa*. Záverečná správa. SvF STU, Bratislava, 2000.
- HOSKING, J. R. M., 2000. *FORTTRAN routines for use with the method of L-moments – Version 3.03*. Research Report RC 20525 IBM Research Division, Yorktown Heights, NY, USA, 2000, 33 p.
- HOSKING, J. R. M., WALLIS, J. R., 1997. *Regional frequency analysis: an approach based on L-moments*. Cambridge University Press, 1997, 224 p. ISBN 0-521-43045-3.
- JURČOVÁ, S., KOHNOVÁ, S., SZOLGAY, J., GAÁL, L., 2002. K výberu vhodnej distribučnej funkcie maximálnych 5-denných úhrnov zrážok. *Acta Hydrologica Slovaca*, 2002, vol. 3, no. 2, p. 165-173.
- KJELDEN, T. R., SMITHERS, J. C., SCHULZE, R. E., 2002. Regional flood frequency analysis in the KwaZulu-Natal province, South Africa, using the index-flood method. *Journal of Hydrology*, 2002, vol. 255, no. 1-4, p. 194-211.
- KOHNOVÁ, S., SZOLGAY, J., 2000. Identifikácia homogénnych regionálnych typov pre regionálne určovanie návrhových prietokov. In: *Hladný, J. et al.: Hydrologické dny – nové podněty a vize pro příští století*, ČVH, SVH, ČHMÚ, Plzeň, 2000. p. 291-298.
- LAPIN, M., 2000. *Upresnenie kombinovaných scenárov zmien zrážkových úhrnov WP a SD pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075*. Interná priebežná správa k riešeniu úlohy V2F35. KMK FMFI UK, Bratislava, 2000, 10 s.
- LAPIN, M., DAMBORSKÁ, I., GAÁL, L., MELO, M., 2003. Possible precipitation regime change in Slovakia due to air pressure and circulation changes in the Euro-Atlantic area until 2100. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 2003, vol. 33, no. 3, p. 161-189.

- LAPIN, M., MELO, M., DAMBORSKÁ, I., GERA, M., FAŠKO, P., 2000. Nové scenáre klimatickej zmeny pre Slovensko na báze výstupov prepojených modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry. In: *Národný klimatický program SR*, zv. 8. MŽP SR, SHMÚ, Bratislava, 2000, s. 5-34.
- LAPIN, M., NIEPLOVÁ, E., FAŠKO, P., 1995. Regionálne scenáre zmien teploty vzduchu a zrážok na Slovensku. In: *Národný klimatický program SR*, zv. 3. MŽP SR, SHMÚ, Bratislava, 1995, s. 17-57.
- LAPIN, M., TOMLAIN, J., 2001. Všeobecná a regionálna klimatológia. Vydavateľstvo UK, Bratislava, 2001, 184 s.
- LAPIN, M., ZÁVODSKÝ, D., MAJERČÁKOVÁ, O., MINĎÁŠ, J., ŠPÁNIK, F., 1997. *Vulnerability and adaptation assessment for Slovakia*. Final Report of the Slovak Republic's Country Study, Element 2, U.S. Country Studies Program. Slovak Ministry of the Environment, Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, 1997, 219 p.
- PILON, P. J., ADAMOWSKI, K., ALILA, Y., 1991. Regional analysis of annual maxima precipitation using L-moments. *Atmospheric Research*, 1991, vol. 27, p. 81-92.
- SMITHERS, J. C., SCHULZE, R. E., 2001. A methodology for the estimation of short duration design storms in South Africa using a regional approach based on L-moments. *Journal of Hydrology*, 2001, vol. 241, p. 42-52.
- STEHLOVÁ, K., KOHNOVÁ, S., SZOLGAY, J., 2001. Analýza dvojdňových úhrnov zrážok v oblasti horného Hrona. *Acta Hydrologica Slovaca*, 2001, vol. 2, no. 1, p. 167-174.
- STEHLOVÁ, K., KOHNOVÁ, S., SZOLGAY, J., 2002. Regionálna analýza maximálnych 2-dňových úhrnov zrážok v oblasti horného Hrona. *Acta Hydrologica Slovaca*, 2002, vol. 3, no. 2, p. 174-182.
- SVEINSSON, O. G. B., SALAS, J. D., BOES, D. C., 2002. Regional frequency analysis of extreme precipitation in Northeastern Colorado and Fort Collins Flood of 1997. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2002, vol. 7, no. 1, p. 49-63.

Použité skratky

RFA – regionálna frekvenčná analýza; RLMA – regionálny L-momentový algoritmus;

DEM – digitálny elevačný model

Adresa

MGR. LADISLAV GAÁL

Oddelenie meteorológie a klimatológie, Katedra astronómie, fyziky Zeme a meteorológie

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského

Mlynská dolina, Pavilón F1, 84248 Bratislava

e-mail: gaal@fmph.uniba.sk