

Slovenský hydrometeorologický ústav

**Analýza výskytu mimoriadnych meteorologických javov
na Slovensku**

Bratislava 2014

Jana Kušmíreková

Anotácia

Naša práca sa zaoberá extrémami počasia, so snahou o zistenie, ako rýchlo a či vôbec pribúdajú alebo naopak, či frekvencia ich výskytu klesá. Výnimočné počasie sa vyskytovalo už od nepamäti, no nie je jasné, v akej intenzite a ako často v porovnaní s dnešnými extrémnymi prejavmi počasia. Iba v posledných 100, ojedinele až 150 rokoch disponuje ľudská civilizácia približne homogénnymi záznamami o priebehu niektorých meteorologických prvkov, prípadne o výskyte atmosférických javov. V našej práci sme sa pokúsili zhodnotiť výskyt presne definovaných udalostí za roky 1951 – 2013 a hľadať ich prípadný trend v rámci tohto obdobia.

klúčové slová: početnosť, denná teplota vzduchu, úhrn zrážok, búrka, krupobitie, extrém

Annotation

Our thesis is dealing with the extremes of weather, with an effort to discover, how quickly and whether they increase or vice versa whether the frequency of their occurrence declines. Exceptional weather occurred a long time ago, but it is not clear, in which intensity and how often in comparison with nowadays extreme weather. Only over last 100, rarely over 150 years human civilization has rather homogeneous records of the course of some meteorological parameters, or records of occurrence of atmospheric phenomena respectively. In our thesis we tried to evaluate the occurrence of the well defined events for the years 1951 – 2013 and to find their potential trend during this period.

Key words: frequency of occurrence, daily air temperature, aggregate precipitation, storm, hail, extreme

Úvod

V súčasnosti sa už takmer každý deň môžeme dočítať z rôznych titulkov novín, či internetu o extrémnych prejavoch počasia, ako pustošivých suchách, katastrofálnych záplavách, neobyčajne silných zimných fujaviciach alebo dlhých vlnách horúceho počasia, ktoré sa striedajú v rôznych kútoch sveta. Ľudia často radi hovoria, že sa počasie v posledných rokoch jednoducho zbláznilo. Kým Británia bojuje s historickými záplavami, na Balkáne sužuje obyvateľov obrovská snehová kalamita, zaznamenali sa extrémne suchá v Číne, inokedy zas mimoriadne vlny horúčav v Rusku a mnoho ďalších. Môže za to všetko globálne otepľovanie? Túto a mnoho ďalších otázok si kladú v dnešnej dobe nielen vedci a zástupcovia štátov či samospráv, ale aj laici.

Keď sa už však hovorí o extrémoch, je dobré najskôr vysvetliť, čo to slovo v meteorológii a klimatológii znamená. Pod týmto pojmom sa myslí najvyššia alebo najnižšia hodnota meteorologického prvku zaznamenaná počas určitého obdobia na nejakom mieste. Najvyššia hodnota pre danú lokalitu sa označuje ako maximum, najnižšia zase minimum, pričom ich rozdiel je amplitúda. Hovoriť sa dá o extrémoch rôznych meteorologických prvkov v rôznych dobách, najčastejšie sa však hovorí o ročných, denných či sezónnych extrémoch.

Minulosť alebo súčasnosť, mimoriadne počasie sa nevyhýbalo ani územia Slovenska. Bolo prekonaných mnoho rekordov, nielen teplotných, ale aj zrážkových. V práci sme sa preto rozhodli preskúmať, do akej miery sa prejavujú zmeny vo výskyte extrémnych alebo inak význačných prejavov počasia na našom území od polovice minulého storočia. Konkrétne to, či sa na Slovensku vyskytujú častejšie (s vyššou frekvenciou) vysoké, prípadne nízke hodnoty niektorých charakteristík dennej teploty vzduchu, vysoké zrážkové úhrny za 24 hodín, búrky a s nimi občas spojené krupobitie, alebo naopak, či ich početnosť klesá oproti objektívne posúdiťnej minulosti. V závere práce sme sa pokúsili všetky získané poznatky zhrnúť a zhodnotiť všeobecne pre celé územie Slovenska.

Metodika

Základom práce bol vhodný výber meteorologických staníc. Vyberali sme ich tak, že sme prihliadali nielen na to, aby boli v rámci územia Slovenska približne rovnomerne rozdelené, ale aj na to, aby všetky stanice mali pozorovania vykonávané už v roku 1951. Nakoniec sme sa rozhodli pre 8 profesionálnych synoptických staníc s klimatickými pozorovaniami (Bratislava - letisko, Hurbanovo, Piešťany, Sliač, Lučenec-Boľkovce, Poprad, Košice - letisko a Kamenica nad Cirochou) a 1 dobrovoľnícku klimatologickú stanicu (Oravská Lesná). Pre všetky uvedené meteorologické stanice a skúmané obdobie (1. 1. 1951 až 31. 12. 2013) sme od SHMÚ získali nasledujúce údaje: maximálnu, minimálnu a priemernú dennú teplotu, 24 - hodinový úhrn zrážok, výskyt krupobitia, búrok na stanici

a vzdialených búrok, a to ku každému jednotlivému dňu. Keďže spracovanie zahŕňalo 63 rokov, vyžiadali sme si od SHMÚ aj metadáta k jednotlivým staniciam. Tieto metadáta nám poslúžili nielen k zisteniu jednotlivých zmien v polohách staníc, ale aj k identifikovaniu období pri výpadkoch meraní meteorologických prvkov, ktoré sme sa rozhodli analyzovať. Údaje o teplote vzduchu sme podrobili Craddockovmu testu homogenity, ktorého výsledky sme vedeli dobre zhodnotiť na základe informácií poskytnutých v metadátach. Ostatné analyzované meteorologické prvky sme takto netestovali.

Spracovanie maximálnej dennej teploty (ďalej len T_{\max}) na každej z vybraných meteorologických staníc zahŕňalo získanie všetkých dátumov, kedy bola T_{\max} vyššia alebo rovná $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, t. j., kedy bol na danej meteorologickej stanici letný deň, $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, t. j. tropický deň a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, resp. nižšia alebo rovná $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, t. j., kedy bol arktický deň na stanici, a $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po získaní všetkých dátumov sme po jednotlivých rokoch určovali početnosť výskytu dní, kedy T_{\max} spĺňala dané kritériá a následne vytvorili stĺpcové grafy početnosti. Nakoniec sme z hodnôt T_{\max} určili pre každý rok maximálnu a minimálnu hodnotu teploty vzduchu a osobitne zobrazili ich priebeh počas celého obdobia. Mohli sme tak sledovať premenlivosť absolútne najvyšších ročných hodnôt pre jednotlivé stanice, ale tiež premenlivosť absolútne najnižších hodnôt T_{\max} v jednotlivých rokoch.

Podobne sme postupovali i pri minimálnej dennej teplote (ďalej len T_{\min}). Tu sme však určovali, kedy bola T_{\min} nižšia, nanajvýš rovná $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, prípadne naopak, vyššia alebo rovná $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, t. j. kedy bol na meteorologickej stanici deň s tropickou nocou a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Aj pri T_{\min} sme na záver zistili najvyššiu a najnižšiu hodnotu pre každý rok a sledovali ich priebeh počas celého skúmaného obdobia.

Pri spracovaní priemernej dennej teploty (ďalej len T_{priem}) sme si najskôr zvolili za hranice hodnoty širšieho, hlavného a užšieho vegetačného obdobia (T_{priem} vyššia alebo rovná $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $15\text{ }^{\circ}\text{C}$) a potom sme hranicu postupne zvyšovali na $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, ak to bolo pri niektorých stanicích potrebné až na $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (teda T_{priem} vyššia alebo rovná $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a ak sa vyskytla aj $30\text{ }^{\circ}\text{C}$). Podobne sme zvolili aj hranice pri zápornej priemernej dennej teplote, teda $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pri takto zvolených hraniciach sme opäť zistili všetky dátumy výskytu T_{priem} na vybraných 9 stanicích a určili jej početnosť v jednotlivých rokoch, podobne ako pri T_{\max} a T_{\min} . Početnosti pri každom kritériu sme opäť vyjadrili aj graficky, kvôli prehľadnosti a lepšiemu porovnávaniu.

V práci sme sa nakoniec rozhodli podrobnejšie zanalyzovať vždy aspoň dve najextrémnejšie kritériá teploty vzduchu (T_{\max} , T_{\min} a T_{priem}) smerom nahor i nadol, a to tie, kde sa dané hodnoty vyskytli vo viacerých rokoch. Zároveň sme k nim pripojili grafické znázornenia, prípadne aj tabuľku s úplne najextrémnejšími hodnotami, ktoré sa v danej stanici vyskytli.

Pri 24 - hodinovom úhrne zrážok (ďalej len R) bolo tiež potrebné najskôr nájsť všetky dátumy, kedy boli zaznamenané úhrny vyššie, než nami zvolené hodnoty. Začínali sme na hranici R vyššie

alebo rovné 20 mm za 24 hodín, pričom sme ich ďalej triedili do kategórií aspoň 30 mm, 40 mm (až nad touto hranicou ide podľa kategorizácie SHMÚ o výdatné zrážky), 50 mm, 60 mm a 70 mm, pri niektorých stanicich je použitá aj hranica 80, prípadne 90 mm za 24 hodín. Opäť boli v jednotlivých rokoch zistené počty dní, kedy tento úhrn zrážok spĺňal dané kritérium. Početnosť pri najextrémnejších hraniciach sme nakoniec vyjadrili súhrnne po jednotlivých dekádach, keďže výskyt tých najvýdatnejších zrážok je veľmi zriedkavý, pričom sme všetko pre ľahšie porovnanie vyjadrili graficky.

Pri výskyte búrok sme rozlišovali dni s búrkou na stanici a dni so vzdialenou búrkou. Pri oboch parametroch sme teda opäť zistili početnosť výskytu daného javu v jednotlivých rokoch skúmaného obdobia, ktorá sa následne aj graficky vyjadrila. Výskyt krupobitia sme spracovali vo forme počtu dní s krupobitím v jednotlivých rokoch, aj v kalendárnych mesiacoch roka, získaných sumárne za celé spracovávané obdobie, čo sme opäť graficky vyjadrili. Jednotlivé dátumy výskytu krupobitia sme si kvôli prehľadnosti zaznačili do tabuľky, aby sme potom situácie, pri ktorých sa krúpy vyskytli, ľahšie porovnali s dátumami výskytu búrky na stanici, prípadne vzdialenej búrky.

Výsledky

Z analýzy údajov jednotlivých staníc na Slovensku, ktoré sme vybrali pre naše skúmanie, súhrnne vyplývajú pre obdobie 1951 – 2013 nasledovné závery:

- Pri kladných hodnotách priemernej dennej teploty sa prejavil na všetkých analyzovaných stanicich výrazný nárast v počte týchto dní. $T_{\text{priem}} \geq 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ sa začala na Slovensku častejšie vyskytovať v oblasti Podunajskej nížiny (stanice Hurbanovo, Bratislava - letisko, Piešťany) len v posledných 10 rokoch skúmaného obdobia. V Hurbanove a v Piešťanoch bola takáto hodnota zaznamenaná skôr len v jednom prípade, dňa 8. 7. 1957, v Piešťanoch opäť ešte v jednom dni v roku 1992 (29. 8.). Na stanicich severného Slovenska, v oblasti vysokých pohorí (Poprad a Oravská Lesná), sa tiež v posledných 10 rokoch začala vyskytovať hodnota priemernej dennej teploty $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a viac, ktorá sa tu predtým objavovala len sporadicky (v Oravskej Lesnej iba v jednom dni v roku 1963 (28. 6.), v Poprade len v roku 1998 (3.8.).
- Záporné hodnoty priemernej dennej teploty sa už takým výrazným trendom neprejavili. Na všetkých stanicich bol zaznamenaný len mierny pokles (prípadne stagnácia) počtu dní so zvolenou T_{priem} . Početnosť pri najextrémnejšom kritériu, na takmer všetkých stanicich, približne od polovice skúmaného obdobia, klesla úplne na nulu. Výnimkou v tomto sú len stanice Hurbanovo, kde sa hodnota $T_{\text{priem}} \leq -15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ vyskytla po roku 1987 ešte v roku 1996 (27. 12.), hodnoty priemernej dennej teploty nanajvyš $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, ktoré sú zaznamenané v roku 1956 a 1987, sa však už neobjavili, a stanica Lučenec-Boľkovce, na ktorej sa T_{priem} nanajvyš

-20 °C vyskytla v troch rokoch do roku 1985, a naposledy sa objavila ešte aj v roku 2003 (12. 1.). Podobne to je aj v stanici Kamenica nad Cirochou, kde bola $T_{\text{priem}} \leq -20$ °C po roku 1987 naposledy zaznamenaná dňa 28. 12. 1996. Absolútnou výnimkou pri záporných hodnotách priemernej dennej teploty je stanica Poprad, kde sa hodnoty nanajvyš -20 °C vyskytujú stále až do súčasnosti ($T_{\text{priem}} \leq -25$ °C v období 1951 – 2013 nebola zaznamenaná).

- Rovnako ako pri priemernej dennej teplote sa prejavili kladné hodnoty aj pri maximálnej dennej teplote. Okrem rapídneho rastu početnosti výskytu dní, spĺňajúcich zvolené kritériá, sa na staniciach začínajú čoraz častejšie a vo vyšších počtoch objavovať hodnoty T_{max} , ktoré sa pred rokom 1990 vyskytovali len ojedinele, prípadne v oveľa menších počtoch dní. Záporné hodnoty T_{max} (resp. $T_{\text{max}} \leq 0$ °C) vykazujú slabý až mierny pokles, prípadne stagnáciu vo výskyte pri všetkých kritériách. Pri najnižšom zvolenom kritériu pre dané stanice je vidieť, najmä v druhej polovici skúmaného obdobia, ako sa príslušné hodnoty maximálnej dennej teploty pomaly vytrácajú a v posledných 20 rokoch neobjavujú (Hurbanovo), prípadne sa objavujú len ojedinele v jednom, dvoch či troch, maximálne v štyroch rokoch (Bratislava - letisko (1 deň s $T_{\text{max}} \leq -10$ °C: 23. 1. 2006), Piešťany (1 deň s $T_{\text{max}} \leq -10$ °C: 23. 1. 2006), Poprad (1 deň s $T_{\text{max}} \leq -15$ °C: 3. 2. 2012), Lučenec-Boľkovce (4 dni s $T_{\text{max}} \leq -10$ °C v rokoch 1996, 2003 a 2010, T_{max} nanajvyš -15 °C sa však od roku 1985 už nevyskytla), Košice (7 dní s $T_{\text{max}} \leq -10$ °C v rokoch 2003, 2006, 2009 a 2012 (v tomto poslednom spomínanom roku sa vyskytli z týchto 7 dní až 4), Kamenica nad Cirochou (8 dní s T_{max} nanajvyš -10 °C, a to konkrétne v rokoch 1996, 2006 a 2012 (polovica z týchto dní sa zaznamenala opäť v roku 2012), hodnoty -15 °C a menej sa od roku 1964 nevyskytli). Vo viacerých rokoch sa tieto hodnoty vyskytujú len na stanici Sliač (13 dní s $T_{\text{max}} \leq -10$ °C v rokoch 1996, 1998, 2002, 2003, 2006, 2010 a 2012, ale $T_{\text{max}} \leq -15$ °C sa po roku 1987 už neobjavuje) a na stanici Oravská Lesná (28 dní s $T_{\text{max}} \leq -10$ °C v rokoch 1991, 1993, 1994, 1996, 1997, 1999, 2003, 2006, 2009, 2010 a 2012, avšak maximálna denná teplota nanajvyš -15 °C sa tiež po roku 1987 už neobjavuje).
- Početnosť pri kritériách pre minimálnu dennú teplotu sa správala rovnako ako v prípade maximálnej či priemernej dennej teploty. Okrem rapídnych nárastov počtu dní pri jej kladných hodnotách, najmä od 90-tych rokov 20. storočia, sa na staniciach začali postupne vyskytovať také vysoké hodnoty minimálnej dennej teploty, ktoré sa predtým buď vôbec nevyskytovali, alebo boli dosahované len veľmi ojedinele. Pri záporných hodnotách T_{min} je opäť badateľný slabý až mierny pokles (ojedinele i stagnácia) početnosti, teda situácia podobná ako pri záporných hodnotách T_{max} .
- Skúmané kritériá pre 24-hodinový úhrn zrážok neprejavili jednotne na všetkých staniciach nárast alebo pokles, dokonca ani v rámci danej jednej stanice nebola vždy prejavená narastajúca či klesajúca početnosť pri všetkých analyzovaných kritériách. V rámci Podunajskej nížiny pri úhrne $R \geq 20$ mm sa zaznamenal stagnujúci trend na staniciach

Hurbanovo aj Bratislava - letisko, v Piešťanoch mala táto stagnácia dokonca charakter nevýraznej tendencie poklesu. Stagnujúca početnosť tohto kritéria sa zaznamenala z ostatných staníc aj v Košiciach. Na stanici Lučenec-Bol'kovce je už zaznamenaný síce nevýznamný, no stúpajúci trend, na ostatných staniach (Oravská Lesná, Sliač, Poprad a Kamenica nad Cirochou) je však už jednoznačne stúpajúci trend. Kritérium $R \geq 30$ mm malo rovnaký charakter ako predchádzajúce kritérium, len na staniach Hurbanovo (stagnujúci), Sliač a Poprad (rastúci trend). Stagnácia početností sa prejavila aj v Piešťanoch, Lučenci-Bol'kovciach a Oravskej Lesnej, na stanici Bratislava - letisko je zaznamenaná tiež stagnácia, no už s nevýraznou tendenciou rastu. V Kamenici nad Cirochou majú početnosti tohto kritéria nevýznamný trend rastu, v Košiciach je oproti predchádzajúcemu kritériu naopak rastúci trend počtu dní s úhrnom 30 a viac mm. Vyššie úhrny sa vyskytujú už len ojedinele, preto sa trend už stanoviť nedal, porovnávali sme ich iba v rámci jednotlivých dekád. Poprad, Sliač a Oravská Lesná, spolu so stanicami na Podunajskej nížine, vykazujú pri úhrne $R \geq 40$ mm striedavo vyšší a nižší počet dní v dekádach, teda sa na nich neprejavuje výraznejšie ani rastúci ani klesajúci počet dní smerom k súčasnosti. Rastúci počet dní v tomto kritériu sa prejavil len na staniach Lučenec-Bol'kovce, Košice a Kamenica nad Cirochou.

- Na vybraných staniach sa prejavuje rôzny trend vo výskyte búrok. Pokles počtu dní s búrkami na stanici zaznamenali stanice Hurbanovo a Sliač, v početnosti dní so vzdialenými búrkami sa však už odlišovali, zatiaľ čo v Hurbanove je trend jednoznačne klesajúci, v Sliači počet dní so vzdialenými búrkami stúpa. Výrazný trend poklesu dní s búrkami na stanici majú aj Piešťany a Kamenica nad Cirochou. Trend v počte dní so vzdialenými búrkami na týchto staniach však už nebol taký jednoznačný, je skôr nevýznamný, v Piešťanoch klesajúci, ale v Kamenici nad Cirochou zase stúpajúci. Opačná situácia je na staniach Oravská Lesná a Košice. Na nich sa prejavil jednoznačný, výrazný trend v počte dní so vzdialenými búrkami, v Oravskej Lesnej počet dní so vzdialenými búrkami stúpa, v Košiciach zase klesá. Pri počte dní s búrkami na stanici sa v Oravskej Lesnej prejavuje skôr stagnácia trendu s nevýrazným charakterom poklesu, v Košiciach je trend rastúci, no len veľmi nevýznamný. Na staniach Bratislava - letisko, Lučenec-Bol'kovce a Poprad je zaznamenaná len stagnácia, prípadne slabý nárast či pokles počtu dní s búrkami na stanici, ako aj v počte dní so vzdialenými búrkami. Stagnujúci trend, so slabou tendenciou rastu počtu dní s búrkami na stanici, vykazujú Bratislava a Poprad, pričom počty dní so vzdialenými búrkami v Poprade úplne stagnujú, v Bratislave majú nevýraznú tendenciu poklesu. Na stanici Lučenec-Bol'kovce trend v počte dní s búrkou nevýrazne klesal, pri vzdialených búrkach sa, naopak, zaznamenal nevýrazný stúpajúci trend. Najviac dní s búrkami (na stanici a vzdialenými spolu) sa vyskytlo v Košiciach, kde bolo takýchto dní spolu 2256. Hodnotu 2000 búrkových dní za celé skúmané obdobie prekonal aj stanice Poprad (2149 dní), Kamenica nad Cirochou (2102 dní) a Sliač (2049 dní). Najmenej dní s búrkou bolo v Oravskej Lesnej, kde v období 1951 – 2013 sa ich

zaznamenalo len 1381. Stanica Hurbanovo bola pri hodnotení výskytu búrkových dní zaujímavá aj preto, lebo ako na jedinej stanici tu bolo zaznamenaných viac dní so vzdialenými búrkami ako dní s búrkou priamo na stanici. Natíska sa otázka, prečo to tak je. Čím to môže byť spôsobené? Ako si vysvetliť napríklad tiež výrazný pokles počtu dní s búrkou v Sliachi, a naopak výrazný nárast počtu dní so vzdialenou búrkou na tejto stanici, či žiaden deň s búrkou na stanici, ani vzdialenou búrkou v Lučenci-Bol'kovciach počas rokov 1961 – 1964? Pri pozorovaní búrok treba mať na pamäti, že ide o sledovanie javu. Teda veľmi závisí od pozorovateľa, a aj keď sme si vybrali prevažne profesionálne stanice (okrem Oravskej Lesnej), môže to ovplyvniť čiastočne aj náš celkový výsledok. Mohlo sa totižto za toto relatívne dlhé obdobie stať, že sa búrky jednoducho nezaznačili (najmä ak sa vyskytli v nočných hodinách), prípadne sa niektoré búrky na stanici klasifikovali ako vzdialené, alebo aj naopak. Vzhľadom na to, že počet dní s búrkami (na stanici aj vzdialenými) je relatívne vysoký a predpokladáme, že ide prevažne len o ojedinelé chyby, nemali by mať zásadný dopad na náš celkový výsledok. Preto ani my nevieme dať úplne jednoznačnú odpoveď na tieto otázky, no toto zdôvodnenie môže poskytnúť aspoň čiastkovú odpoveď.

- Na všetkých staniciach, okrem Popradu, je skôr klesajúca tendencia výskytu dní s krupobitím. Poprad je zároveň aj stanicou, kde sa zaznamenalo krúpových situácií (resp. dní s výskytom krupobitia) počas celého obdobia najviac, a to až 92. Za ňou nasleduje stanica Košice, kde sa ich vyskytlo 77 a nad 70 takýchto dní bolo dosiahnutých ešte na stanici Oravská Lesná (71), ďalšou v poradí je Hurbanovo a Kamenica nad Cirochou (63 dní). Z týchto 5 staníc sa 3 nachádzajú na východe Slovenska a Poprad s Oravskou Lesnou majú oveľa vyššiu nadmorskú výšku ako ostatné stanice. Prečo je to tak? Aby sa krúpy v búrkovom oblaku vytvorili, je potrebné, aby boli stredné a vysoké hladiny troposféry dostatočne studené. Teda búrky s krupobitím sa často tvoria v jarnom čase, prípadne na prelome jari a leta (mesiace máj, jún), najmä pri vpadе studeného vzduchu v relatívne hrubej vrstve nad naše územie. Vyššia pravdepodobnosť preniknutia studeného vzduchu nad územie Slovenska v dostatočnej miere na to, aby sa pri zohriatí spodných vrstiev troposféry v rámci denného chodu realizovala konvekcia s množstvom tvorby veľkých ľadových častíc, je na východe a severe nášho územia. Pri staniciach Poprad a Oravská Lesná k tomuto efektu napomáha aj veľká nadmorská výška. Na staniciach, ktoré ju majú nižšiu sa často stane, že sa krúpy jednoducho roztopia skôr, ako stihnú dopadnúť na zemský povrch a z oblaku potom vypadávajú len veľké dažďové kvapky. Najviac dní s krúpami za celé skúmané obdobie pripadá na mesiac máj, kedy ich bolo zaznamenaných (za obdobie 1951 – 2013) na všetkých 9 analyzovaných staniciach 136. Za ním nasleduje mesiac jún, v ňom sa vyskytlo 121 dní s krúpami a tretím najpočetnejším je nakoniec júl, kedy sa týchto dní vyskytlo 101. Podobne ako pri búrkach, aj pri počte dní s krúpami je dôležité zaznamenanie javu. Nesystematická chyba, ktorá sa tu mohla teda objaviť, je jeho nezaznačenie, ktoré opäť veľmi závisí od daného pozorovateľa, ktorý

na meteorologickej stanici vtedy pozoroval. Dní s krúpami je však podstatne menej ako dní s búrkami. Keďže ide o ojedinelý jav, ktorý sa vyskytuje len párkrát do roka, niekedy ani raz, každé nezaznačené krupobitie, ktoré priamo pre nás znamenalo aj ďalší deň s krúpami, výrazne ovplyvňuje výsledky. Je síce málo pravdepodobné, že by k takejto chybe malo na profesionálnych stanicach dochádzať, no faktom ostáva, že počas 63 - ročného obdobia dochádzalo aj k významným presunom meteorologických staníc a rovnako aj k striedaniu pozorovateľov, a teda takúto chybu nemôžeme úplne vylúčiť.

Záver

V práci sa analýzou meraní potvrdilo výrazné otepľovanie na území Slovenska, najviac prejavujúce sa od 90-tych rokov 20. storočia. Jeho dôkazom je stúpanie početnosti výskytu vysokých hodnôt teploty vzduchu, v menšej miere slabý pokles výskytu jej nízkych hodnôt. Otepľovanie sa za posledných približne 60 rokov prejavuje nielen stále vyššími dosahovanými hodnotami teploty vzduchu. Odzrkadľuje sa i dlhými vlnami horúčav a nadpriemerne teplého počasia vyskytujúceho sa už nielen počas leta, no aj výrazným suchom, ktoré postihuje, a niekedy až ničí krajinu, najmä v jej južných, nížinatých oblastiach Slovenska. Vysoká teplota vzduchu, skombinovaná s nedostatkom vody, pôsobí ako stresový faktor pre rastliny. Naopak, chladnejších dní v zimnom polroku slabo ubúda. Je možné, že si budeme musieť začať zvykať i na teplejšie zimy, počas ktorých sa ale môžu vyskytovať aj rýchle vpády studeného vzduchu, no pravdepodobne kratšie trvajúce oproti tým, z obdobia z polovice 20. storočia, z 50. a 60. rokov (Klučár, 2013). Čím je vzduch teplejší, tým je schopný transportovať viac vodnej pary, z ktorej neskôr vzniknú zrážkové úhrny. Treba na Slovensku počítať so zvýšením extrémnych úhrnov zrážok? Táto práca nenachádza na položenú otázku jednoznačnú odpoveď pre celé územie Slovenska. Je však jasné a v praxi už mnohokrát dokázané, že výdatné zrážky môžu spôsobiť výskyt ničivých povodní, najmä na malých tokoch, ktoré tak môžu spôsobiť obrovské, nielen materiálne škody. Je teda dôležité sa skúmaniu prebiehajúcich zmien v zrážkových pomeroch na našom území venovať na tej najvyššej odbornej úrovni.

Tabuľkový prehľad výsledkov:

1. kladné hodnoty teploty vzduchu

	T _{priem}				T _{max}			T _{min}			
	≥ 15 °C	≥ 20 °C	≥ 25 °C	≥ 30 °C	≥ 25 °C	≥ 30 °C	≥ 35 °C	≥ 10 °C	≥ 15 °C	≥ 20 °C	≥ 25 °C
11858	NIL	+	+	(+)	NIL	+	+	NIL	+	+	NIL
11816	NIL	+	+	(+)	NIL	+	+	NIL	+	+	NIL
11826	NIL	+	+	(+)	NIL	+	+	NIL	+	+	(+)
11927	NIL	+	+	NIL	NIL	+	+/0	+/0	+/0	(+)	NIL
11903	NIL	+	+	NIL	NIL	+	+	+	+	(+)	NIL
11868	+	+	(+)	NIL	+	+	NIL	+	+	NIL	NIL
11968	NIL	+	+	NIL	NIL	+	+	NIL	+	+	NIL
11993	NIL	+	+	NIL	+	+	(+)	+/0	+	(+/0)	NIL
11934	+	+	(+)	NIL	+	+	NIL	+	+	NIL	NIL

2. nula a záporné hodnoty teploty vzduchu

	T _{priem}					T _{max}				T _{min}				
	≤ -5 °C	≤ -10 °C	≤ -15 °C	≤ -20 °C	≤ -25 °C	≤ 0 °C	≤ -5 °C	≤ -10 °C	≤ -15 °C	≤ -10 °C	≤ -15 °C	≤ -20 °C	≤ -25 °C	≤ -30 °C
11858	-	-	-	NIL	NIL	-	-	(-)	NIL	-	-	(-)	NIL	NIL
11816	-	-	(-)	NIL	NIL	-/0	-	(-)	NIL	-	-	(-)	NIL	NIL
11826	0	-	(-/0)	NIL	NIL	-/0	-	(-)	NIL	NIL	-/0	-	(0)	NIL
11927	NIL	-	-	(0)	NIL	NIL	-/0	0	NIL	NIL	-	-	(-/0)	NIL
11903	NIL	-	-	(-)	NIL	NIL	-/0	-/0	(-/0)	NIL	NIL	-	-	NIL
11868	NIL	NIL	-	-	(-)	NIL	-	-	(-)	NIL	NIL	-	-	-
11968	NIL	-	-	NIL	NIL	NIL	0	-	NIL	-	-	(-)	NIL	NIL
11993	NIL	-	0	(-)	NIL	NIL	-	-/0	NIL	NIL	-	-/0	(-)	NIL
11934	NIL	-/0	-/0	(-/0)	NIL	NIL	-/0	-	(0)	NIL	NIL	0	-/0	NIL

3. zrážky

	24-hodinový úhrn zrážok			
	≥ 20 mm	≥ 30 mm	≥ 40 mm	≥ 50 mm
11858	0	0	(0)	(0)
11816	0	0/+	(0)	(0)
11826	0/-	0	(0)	(0/-)
11927	+/0	0	(+)	(0)
11903	+	+	(0/-)	(0)
11868	+	0	(+/0)	(+/0)
11968	0	+	(+)	(0)
11993	+	+/0	(+)	(+/0)
11934	+	+	(0)	(0)

4. búrky

	búrka na stanici	vzdialená búrka
11858	-	-
11816	0/+	0/-
11826	-	-/0
11927	-/0	+/0
11903	-	+
11868	0/-	+
11968	+/0	-
11993	-	+/0
11934	0/+	0

5. krúpy

11858	11816	11826	11927	11903	11868	11968	11993	11934
-/0	-/0	0	-/0	-/0	-/0	-	-/0	0/+

6. extrémny teploty vzduchu

stanica SHMÚ		min T _{priem}	max T _{priem}	min T _{max}	max T _{max}	min T _{min}	max T _{min}
11858	hodnota	-20,4 °C	32,0 °C	-15,7 °C	40,3 °C	-23,6 °C	24,8 °C
	výskyt	9.2.1956	8.8.2013	12.1.1987	20.7.2007	6.2.1954	29.7.2013
11816	hodnota	-20,9 °C	30,7 °C	-15,2 °C	39,4 °C	-24,6 °C	23,7 °C
	výskyt	9.2.1956	18.7.2007	12.1.1987	8.8.2013	17.2.1956/ 7.1.1985	9.8.2013
11826	hodnota	-21,9 °C	32,6 °C	-15,8 °C	38,4 °C	-29,8 °C	27,3 °C
	výskyt	12.1.1987	8.8.2013	12.1.1987	8.8.2013	13.1.1987	29.7.2013
11927	hodnota	-22,3 °C	29,3 °C	-16,7 °C	39,2 °C	-30,0 °C	21,0 °C
	výskyt	8.1.1985	16.8.1952/ 2.7.2012	8.1.1985	20.7.2007	17.2.1956	6.8.1993
11903	hodnota	-24,9 °C	27,5 °C	-18,0 °C	37,8 °C	-30,0 °C	20,7 °C
	výskyt	10.1.1968	8.8.2013	10.1.1968	18.7.2007/ 8.8.2013	11.1.1968	4.7.2012
11868	hodnota	-27,4 °C	26,8 °C	-19,0 °C	33,8 °C	-37,1 °C	19,2 °C
	výskyt	26.1.1954/ 27.1.1954	29.7.2013	1.2.1956	16.8.1952	27.1.1954	14.7.2011
11968	hodnota	-21,0 °C	29,8 °C	-16,0 °C	38,5 °C	-26,9 °C	22,2 °C
	výskyt	28.1.1954	20.7.2007	13.1.1987	20.7.2007	28.1.1954	25.8.2007/ 5.7.2012
11993	hodnota	-23,1 °C	29,7 °C	-15,7 °C	38,1 °C	-29,1 °C	23,4 °C
	výskyt	27.1.1954	20.7.2007	12.1.1964	9.8.2013	26.1.1954	9.8.1951/ 8.9.2008
11934	hodnota	-24,7 °C	25,7 °C	-17,7 °C	34,8 °C	-29,1 °C	18,8 °C
	výskyt	13.1.1987	8.8.2013	1.2.1956/ 12.1.1987	20.7.2007	14.1.1987	28.8.1992

7. extrémny 24 - hodinového úhrnu zrážok, počtu dní s búrkou na stanici a počtu dní s krúpami

stanica SHMÚ		max R _{24h}	min počet dní s búrkou za rok	max počet dní s búrkou za rok	max počet dní s krúpami za rok
11858	hodnota	81,8 mm	3	26	4
	výskyt	12.7.1992	2003	1963	1983/1991
11816	hodnota	78,4 mm	8	33	4
	výskyt	31.5.1995	1952	1975/2008	1994/1999
11826	hodnota	83,6 mm	7	32	4
	výskyt	19.7.1956	1952/2006/2013	1966	1956
11927	hodnota	105,0 mm	0	40	3
	výskyt	29.7.2003	1961-1964/2013	1972	1967/1981
11903	hodnota	108,1 mm	5	41	3
	výskyt	22.2.1958	2005	1963	1957/1965/1978
11868	hodnota	163,2 mm	3	31	6
	výskyt	18.7.1970	1980	2002	1956
11968	hodnota	110,5 mm	9	34	5
	výskyt	13.8.1963	1952/1953/1961	1984/1996	1962
11993	hodnota	85,5 mm	11	38	4
	výskyt	4.9.2007	2012	1971	1958/1964
11934	hodnota	79,3 mm	5	38	6
	výskyt	28.8.1996	1953	1972	1976

LEGENDA:

T_{priem} - priemerná denná teplota

T_{max} - maximálna denná teplota

T_{min} - minimálna denná teplota

- R_{24h} - 24 hodinový úhrn zrážok/denný úhrn zrážok
- +
- rastúci trend
-
- klesajúci trend
- 0
- bez trendu, stagnácia, resp. fluktuácie okolo konštantnej strednej hodnoty
- +/0
- nevýznamný trend rastu
- /0
- nevýznamný trend poklesu
- (...)
- trend nie je možné stanoviť (zväčša pre nedostatočnú veľkosť skúmaného súboru), v zátvorkách je uvedené iba subjektívne posúdenie pravdepodobného smeru vývoja
- NIL
- výstupy pre dané kritérium neboli analyzované alebo neexistujú žiadne výstupy, resp. údaje, ktoré by spĺňali dané kritérium

Zoznam literatúry

BRÁZDIL, R. – BUDÍKOVÁ, M. – FAŠKO, P. – LAPIN, M. Fluctuation of maximum and minimum air temperatures in the Czech and the Slovak Republics. In Atmospheric research. Amsterdam: Elsevier Science, 1994, č. 37, s. 53 – 65.

BRÁZDIL, Rudolf – CHROMÁ, Kateřina – DOBROVOLNÝ, Petr – TOLASZ, Radim. Climate fluctuations in the Czech Republic during the period 1961-2005. In International Journal of Climatology. 2009, č. 29, s. 223 – 242. DOI: 10.1002/joc.1718.

FAŠKO, Pavel – LAPIN, Milan – ŠTASTNÝ, Pavel. Maximálne denné úhrny zrážok na Slovensku v období 1951 – 2000. In Národný klimatický program SR. Bratislava: Ministerstvo životného prostredia SR a Slovenský hydrometeorologický ústav. 2000, č. 5, zväzok 9, s. 107 – 119. ISBN: 80-88907-08-X

KOHNNOVÁ, S. – LAPIN, M. – SZOLGAY, J. – GAÁL, L. Methodology for the selection of 10-day maximum precipitation totals and their statistical analysis in the upper Hron region. In Contributions to Geophysics and Geodesy. 2005, č. 35/3, s. 299 – 318.

KULČÁR, Ladislav – PRIBULLOVÁ, Anna. Základy meteorológie a klimatológie. 1. vydanie, Hurbanovo: Slovenská ústredná hviezdáreň, 2011. 199 s. ISBN: 978-80-85221-71-8.

LAPIN, Milan – DAMBORSKÁ, Ingrid – FAŠKO, Pavel – MELO, Marián – ŠTASTNÝ, Pavel. Scenarios of climatic extremes for Slovakia. In Prace Geograficzne. Kraków: Instytut Geografii UJ, 2000, č. 108, s. 160 – 170.

RĚZÁČOVÁ, Daniela – NOVÁK, Petr – KAŠPAR, Marek – SETVÁK, Martin. Fyzika oblaků a srážek. 1. vydanie, Praha: Academia, 2007. 576 s. ISBN: 978-80-200-1505

ŠAMAJ, Ferdinand – VALOVIČ, Šimon. Priestorové úhrny zrážok na Slovensku (1881 – 1980). In Meteorologické zprávy. Praha: Český hydrometeorologický ústav. 1982, č. 4, roč. 35, s. 108 – 112.

Abstrakt

Cieľom predloženej práce bolo exaktne preskúmať výskyt mimoriadnych meteorologických udalostí, ako sú vysoká a nízka teplota vzduchu, vysoký úhrn zrážok, a tiež výskyt búrok a krupobitia za posledných 63 rokov (teda za obdobie 1951 – 2013). Spracovanie sa vykonávalo v rámci územia Slovenska na deviatich zvolených meteorologických staniách: Bratislava - letisko, Hurbanovo, Piešťany, Lučenec-Boľkovce, Sliač, Oravská Lesná, Poprad, Košice a Kamenica nad Cirochou. Pri analyzovaných charakteristikách meteorologických prvkov, ktoré sa dajú kvantifikovať (maximálna, minimálna a priemerná denná teplota, 24-hodinový úhrn zrážok), boli zvolené kritériá, na základe ktorých sa zistila početnosť výskytu dní, spĺňajúcich dané limity pre každý rok skúmaného obdobia. Zároveň boli vypočítané aj dlhodobé priemery počtu dní pri jednotlivých kritériách za obdobia 1951 – 1980, 1961 – 1990 (normál), 1971 – 2000 a 1981 – 2010. Spravidla dve až tri najextrémnejšie kritériá poskytli výstupy, ktoré sa zanalyzovali, pričom sa zistil aj prípadný trend, teda či početnosť pri danom meteorologickom prvku a kritériu s časom stúpa alebo klesá. Hodnotenie početnosti v prípade najextrémnejšieho kritéria pre úhrn zrážok sa realizovalo pre jednotlivé dekády. Pri výskyte javov (krupobitie, búrka na stanici a vzdialená búrka) išlo len o vyhodnotenie počtu dní, v ktorých boli dané javy zaznamenané. Na základe tohto výskumu sa na každej stanici potvrdil významný rast početnosti výskytu dní s vysokými kladnými hodnotami teploty vzduchu (maximálnej, minimálnej aj priemernej dennej teploty). Pri nízkych záporných hodnotách je trend na niektorých staniách nevýznamný, početnosť je len slabo klesajúca, v niektorých prípadoch stagnuje. Hodnotenie zrážok už také jednoznačné výsledky neposkytlo: pri najextrémnejších kritériách pre hodnoty úhrnu trend nebolo možné stanoviť, pri nižších limitoch zväčša nebol zaregistrovaný významný trend, len ojedinele bola zaznamenaná rastúca početnosť. Pri búrkach sa trend tiež neprejavil na všetkých staniách rovnako, niekde početnosť ich výskytu klesala a inde zase stúpala, prípadne stagnovala. Výskyt krupobitia mal na všetkých staniách (s výnimkou Popradu) mierne klesajúci až stagnujúci charakter.

Abstract

The aim of this thesis is to exactly examine the occurrence of extraordinary meteorological events such as high and low air temperature, high aggregate precipitation as well as the occurrence of storms and hail over the last 63 years (i.e. for the period between 1951 – 2013). The observation in Slovakia has been done at nine designated meteorological stations: Bratislava – airport, Hurbanovo, Piešťany, Lučenec-Boľkovce, Sliac, Oravská Lesná, Poprad, Košice and Kamenica nad Cirochou. The analysis of quantifiable traits pertaining to meteorological phenomena (maximums and minimums of average daily temperature values, aggregate precipitation spanning 24 hours) drew on criteria which served as a basis for establishing the number of days meeting the given limits in each year of the period under examination. In addition, long term medians of number of days meeting individual criteria between 1951 – 1980, 1961 – 1990 (normal), 1971 – 2000 and 1981 – 2010 respectively, have been calculated. It were usually two to three most extreme criteria whose measurements have been analyzed in order to establish whether a tendency can be observed, i.e. whether the frequency of occurrence of a particular meteorological phenomenon as a criterion tends to increase or decrease over time. Evaluation of the frequency of occurrence of the most extreme criteria pertaining to the aggregate volume of precipitation was done for individual decades. With respect to occurrence of the following phenomena (hail, storm at the station and a distant storm), the aim was only to calculate the number of days in which these phenomena occurred. The outlined research as carried out at each station equally confirmed substantial growth in the number of days with high positive air temperature values (maximum, minimum and average daily temperature). Considering low negative values, the tendency at some stations is negligible; the frequency of occurrence decreases slightly or in some cases remains stable. Evaluation of precipitation proved to be less straightforward: it was impossible to establish a tendency concerning the aggregate values of the most extreme criteria. No significant tendency has been generally noted at lower limits, an increasing number of occurrences have been observed only sporadically. No tendency could have been established about the storms, which manifested themselves differently at different stations. At some, the frequency of their occurrence rose, at some it fell and at some it remained stagnant. The occurrence of hail has showed a slightly downward or stagnant trend at all stations (except for Poprad).