

VÝSKYT VEĽKÝCH KRÚP NA SLOVENSKU V ROKOCH 2007 – 2019

MIROSLAV ŠINGER^{1,2}, ŠTEFAN DLHOŠ¹

¹ Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

² Fakulta matematiky, fyziky a informatiky UK, Bratislava

We analyse the occurrence of large hail (with diameter of at least 2 cm) in Slovakia and its surroundings from 2007 to 2019 using the reports from the European Severe Weather Database and radar data of the Slovak Hydrometeorological Institute. The number of reports and the length of time series allow only for limited statistical evaluations. On average, 18 large hail producing cells occurred in Slovakia each year, typically in summer and late spring. In most of the cases (70%) they produced hail with a maximum diameter of 2–3 cm and only 6% of the cells were capable of producing hail at least 6 cm in diameter. Eastern Slovakia experiences large hail 2.5 times more frequently than the western part and 10 times more if only hail at least 5 cm in diameter is considered. All reports of hail with a diameter of 5 cm or more were related to supercells.

V práci analyzujeme výskyt krúp s priemerom 2 a viac cm na území Slovenska a v blízkom okolí v rokoch 2007 až 2019 na základe záznamov v European Severe Weather Database a radarových dát Slovenského hydrometeorologického ústavu. Množstvo záznamov a zvolený časový rad umožňuje len obmedzené štatistické výhodnotenia. Zistili sme, že ročne sa na Slovensku vyskytuje v priemere 18 buniek s veľkými krúpami, najčastejšie v lete a na konci jari. Vo väčšine prípadov (70 %) vyprodukovať krúpy s maximálnym priemerom 2–3 cm a len v 6 % sa jednalo o krúpy s priemerom 6 cm a viac. Na východnom Slovensku sme identifikovali 2,5-krát vyššiu početnosť výskytu veľkých krúp ako na západe, pričom početnosť krúp 5 cm a viac bola až 10-krát vyššia. Všetky krúpy s priemerom 5 cm a viac boli vyprodukované supercelami.

Key words: hail, climatology, ESWD, cell

ÚVOD

Búrky sú často sprevádzané nebezpečnými javmi ako napr. prívalový dážď, krúpy, silný vietor či tornáda. Všetky spomínané javy sa vyskytujú aj na Slovensku, vrátane tornád, napr. Šinger (2018). Často spôsobujú veľké škody na majetku a ohrozujú občanov (Dotzek a kol., 2009), a preto je nutné im venovať zvýšenú pozornosť a ďalej ich skúmať. Niekoľkoročné systematické sledovanie týchto javov, tvorba európskej databázy European Severe Weather Database (ESWD – Dotzek a kol., 2006, 2009) na základe reportovania nebezpečných prejavov počasia od náhodných pozorovateľov a pracovníkov národných meteorologických služieb, už umožňujú podrobnejšiu analýzu výskytu týchto javov. V analýze pomáhajú aj kvalitné rádiolokačné dátá, čiastočne aj údaje zo sieti profesionálnych meteorologickej meraní.

Spomedzi nebezpečných búrkových javov sme v článku analyzovali len krúpy. Práve krúpy totiž spôsobujú obrovské škody, v niektorých prípadoch sa počítajú v stovkách miliónov až miliardach EUR (Zimmerli, 2005; Hilfiker, 2009; SwissRe, 2014; Punge a Kunz, 2016; Púčik a kol., 2019). Podľa Kemény a kol. (2012) sú v Maďarsku po suchu druhým najvýznamnejším zdrojom škôd v polnohospodárstve. Škody krúpami v polnohospodárstve zmapovali aj ďalší autori (Hrudička, 1937; Roncali, 1955; Morgan, 1973; Dessens, 1986a; Formayer a kol., 2001; Lindlöff, 2003; Malkarová, 2011). Porras a kol. (2013) uvádzajú, že priemerné ročné kompenzácie za škody v polnohospodárstve v Španielsku sú 240 mil. EUR. Krúpy

spôsobujú aj významné škody na budovách (poškodené strechy, fasády, okná...), napr. Kunz a kol. (2009) uvádzajú, že budovy v juhozápadnom Nemecku sú najčastejšie poškodené práve krúpami.

Škody spôsobené veľkými krúpami registrujeme aj na Slovensku. Dobre zdokumentované sú najmä prípady z posledných rokov, napr. búrky z východného Slovenska 14. 6. 2015 alebo 27. 8. 2017 (Šinger, 2015, 2017), kde sú okrem škôd v polnohospodárstve zaznamenané škody na strechách budov, prípadne aj na autách, predovšetkým pri búrke v Košiciach 27. 6. 2019 (Šinger, 2019). Odborných prác na túto tému však zatiaľ existuje veľmi málo a týkajú sa budť jednotlivých prípadov (napr. Kaňák a kol. 2007), alebo možností ich detekcie prostredníctvom rádiolokátorov (Lišková, 2006). Ucelený prehľad o problematike však chýba, čo dokladujú aj Punge a Kunz (2016), ktorí sa snažili zhrnúť výskum krúp v Európe do jednej práce, no práce zo Slovenska v nej absentujú. Okrem toho existuje aj niekoľko historických záznamov z kroník. Napr. búrka 1. 7. 1853 v oblasti pozdĺž Dunaja medzi Viedňou a Bratislavou priniesla kúpy s veľkosťou až 7 cm, pričom takto veľké krúpy boli zaznamenané aj priamo v Bratislave (Plieninger, 1856). V rámci blízkeho okolia slovenských hraníc je z minulého storočia známy prípad z 22. júla 1939, kedy na Morave v meste Bylnice (nedaleko okresu Ilava) padali krúpy s priemerom nad 10 cm, pričom kroniky uvádzajú, že ich váha v niekoľkých mestach na Morave dosahovala 500–750 g (Munzar a kol., 1989). Spomedzi okolitých krajín však má najlepšie záznamy Poľsko.

Z minulého storočia má zdokumentované veľké množstvo prípadov, v ktorých padali krúpy s priemerom 2–5 cm, výnimočne aj viac, napr. 12. júna 1935 mali krúpy v obci Moszczaniec priemer až 9 cm (nedaleko okresu Medzilaborce) (ESWD).

V niektorých krajinách Európy sú k dispozícii dlhšie a robustnejšie časové rady výskytu krúp ako na Slovensku, napr. v Rakúsku (Svabik a kol., 2013), v Portugalsku (Santos a Pereira, 2018), v Rumunsku (Burcea a kol., 2016), v Turecku (Kahraman a kol., 2015) v Taliansku (Baldi a kol., 2014), vo Francúzsku (Vinet, 2001), v Slovinsku (Skok a kol., 2014), na Britských ostrovoch (Webb a kol., 2009), v Nemecku (Puskeiler, 2013), v Rusku (Abshaev, 2009) a ďalšie práce, prípadne súhrnné štúdie v rámci celej Európy (Punge a Kunz, 2016; Púčik a kol., 2019; Punge a kol., 2014) a v nich možno nájsť podrobnejšie spracované klimatologické charakteristiky krúp.

Počet záznamov krúp v posledných rokoch postupne narastá aj na Slovensku, až po súčasnosť (2019), kedy ich máme k dispozícii už dostatočné množstvo na podrobnejšiu analýzu a niekoľko základných vyhodnotení. V práci sa budeme snažiť doplniť medzera v našich znalostiah o výskytu veľkých krúp a ich materských búrok na Slovensku. Cieľom je načerňať základnú klimatológiu búrok, ktoré prinášajú veľké krúpy, teda ich priestorovú distribúciu, v akých oblastiach padajú najčastejšie, kolko búrok ako nositeľov takýchto krúp v našom regióne priemerne vzniká a pod. Z časového hľadiska vyhodnotíme len základné štatistické parametre, ako napr. početnosť udalostí v jednotlivých mesiacoch a rokoch. Časové trendy však odhadovať nebude-mo, keďže analyzované obdobie (2007–2019), z ktorého existuje dostatočné množstvo záznamov, je príliš krátke.

METODIKA

Základom analýzy boli záznamy o veľkých krúpach v ESWD spravovanej ESSL (European Severe Storm Laboratory), ktorej členom je aj SHMÚ. Do databázy najčastejšie pridávajú záznamy pracovníci ESSL, národných meteorologických služieb (teda SHMÚ za Slovensko), amatérskych organizácií atď., no môže tam prispievať ktokoľvek a údaje sú následne verifikované zodpovednými organizáciami.

Autori článku ešte pred spísaním a vyhodnotením výsledkov z ESWD hľadali záznamy krúp aj z ďalších dostupných zdrojov (najčastejšie zo správ z médií na internete, zo záznamov užívateľov sociálnych sietí a z interných zdrojov) a tie následne pridali do ESWD. Vedľajším prínosom tohto článku tak bolo aj rozšírenie databázy, ako aj verifikácia už existujúcich záznamov krúp z územia Slovenska v ESWD od r. 2000 do konca septembra r. 2019.

V ESWD sú záznamy krúp, ktorých maximálny priemer bol aspoň 2 cm. V niekoľkých prípadoch však nebol bližšie špecifikovaný, no z popisu škôd vyplývalo, že toto kritérium bolo v danej situácii splnené. Do analýzy sme zahrnuli aj také prípady a priradili sme im priemer 2 cm. Okrem záznamov priamo z územia Slovenska sme využili aj záznamy z okolitých krajín, ktoré boli od slovenských hraníc vzdialenosť najviac 15 km. Vo viacerých situáciách totiž chýbali záznamy z územia Slovenska, no bunka, ktorá

vyprodukovala krúpy v blízkosti slovenských hraníc, sa podľa radaru vyskytla aj na Slovensku a je tak zvýšená pravdepodobnosť, že krúpy padali aj území Slovenska. Na základe týchto dát sme s pomocou radarových meraní SHMÚ určili počet buniek, ktoré vyprodukovali veľké krúpy tak, že jednej bunke sme priradili len jeden záznam o najväčších krúpach, ktoré daná bunka na celej dĺžke trasy vyprodukovala. Vzhľadom na nejednotnú metodiku meraní v priebehu sledovaného obdobia nebolo možné zvoliť konkrétnu hranicu hodnotu rádiolokačnej odrazivosti pre identifikáciu bunky. Tú sme preto identifikovali ako jadro lokálne najvyšších hodnôt odrazivosti v porovnaní s okolím. Na identifikáciu jednotlivých buniek sme využívali produkty CAPPI 2 km (rádiolokačná odrazivosť v nadmorskej výške 2 km) a cmAX (maximálna rádiolokačná odrazivosť v stĺpici) s vertikálnymi priemetmi odrazivosti. Vo všetkých prípadoch bolo možné jednotlivé záznamy o krúpach priradiť ku konkrétnym bunkám, v niekoľkých prípadoch však bol záznam v ESWD s veľkou neurčitosťou (+/- 3 hodiny), no podľa rádiolokačných dát bolo možné záznam priradiť ku konkrétnej bunki. Ak sa krúpy vyskytli v rámci väčšieho búrkového systému, záznam o krúpach sme priradili k najvyššej detegovanej rádiolokačnej odrazivosti v rámci systému. V analýze je celkovo zahrnutých 359 záznamov, z toho 207 je z územia Slovenska a 152 z 15 kilometrového okolia susedných štátov. V prípadoch, v ktorých bola veľkosť krúp uvádzaná s presnosťou desatin centimetra, sme údaj matematicky zaokruhlili.

Početnosť výskytu veľkých krúp sme interpretovali v gridovej sieti. Skúšali sme veľkosť gridu 15 x 15, 20 x 20 a 30 x 30 km, pričom 20 x 20 najlepšie vyslovilo nášmu cieľu – ukázať s dostatočnou presnosťou regionálne rozdiely. Pri menšom gride sa častejšie vyskytovali veľmi veľké rozdiely v rámci susedných štvorcov a pri väčšom zanikali regionálne rozdiely a výsledky už viac záviseli od konkrétnego umiestnenia gridovej siete. Výsledná siet má celkovo 179 štvorcov, ktoré pokrývali celé územie Slovenska a blízke okolie, pričom do analýzy sme zahrnuli aj štvorce, ktoré boli celé mimo Slovensko, no len v prípade, ak ich najbližšia časť bola od slovenských hraníc vzdialenosť najviac 5 km. Vznikla tak ďalšia databáza, v ktorej sme celkovo analyzovali 296 záznamov veľkých krúp. Pre ďalšie vyhodnocovanie sme siet rozdelili na tri časti – západ (Bratislavský, Trnavský, Trenčiansky a Nitriansky kraj) 63 štvorcov, stred (Banskobystrický a Žilinský kraj) 52 štvorcov a východ (Košický a Prešovský kraj) 64 štvorce, pričom štvorce, ktoré sa nachádzali na rozhraní oblastí, sme pričlenili k tej, v ktorej mal štvorec väčšinu plochy. Ak sa v danom štvoreci vyskytlo viac záznamov o krúpach, ktoré priniesla rovnaká bunka, do štatistik sme zahrnuli len jeden záznam o najväčších krúpach. Tá istá bunka však mohla priniesť krúpy rozličnej veľkosti do viacerých štvorcov. Keďže nás v tomto vyhodnotení zaujímala početnosť výskytu krúp z hľadiska jednotlivých štvorcov, nie buniek, ako v predošom vyhodnotení, do našej databázy sme zahrnuli aj tieto prípady¹.

¹ Stále však najviac jeden záznam pre jeden štvorec z tej istej bunky.

Pri zobrazení záznamov do mapovej formy môžu byť malé odchýlky ich polohy od skutočnej z dôvodu lepšej prehľadnosti máp, ako aj priestorovej korelácie záznamov s ostatnými mapami.

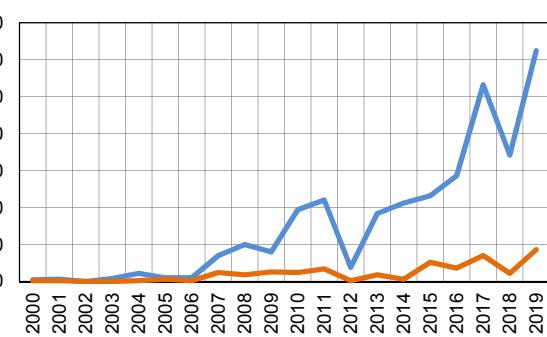
Obdobie analyzovaných rokov 2007 až 2019 (do 30.9.2019) sme vybrali podľa toho, aby sme boli schopní priradiť záznamy o krúpach ku konkrétnym bunkám. Na to sme potrebovali kompletnej archív radarových dát, ktorý je z radaru Kojšovská hoľa dostupný od leta roku 2006 (z radaru Malý Javorník už skôr). Aby sme teda začali uceleným rokom, prvý rok našej analýzy bol 2007. Zhodou okolností, práve v r. 2007 je v ESWD výraznejší nárast záznamov z územia Slovenska, čo dokumentuje graf na obrázku 1, pričom nárast v rokoch 2006 alebo 2007 zaznamenali aj všetky okolité krajinu, ktorých záznamy sme taktiež využívali v analýze (Obr. 2). Množstvo záznamov pribúdalo aj v ďalších rokoch, no jednotlivé krajinu už nevykazujú rovnaký trend nárastu. Nárast záznamov v ESWD nesúvisí s nárastom počtu udalostí, ale s väčšou informovanosťou používateľov o existencii ESWD, ktorá je v online prevádzke od r. 2006 (Dotzek a kol., 2006).

V práci sme pre niektoré účely rozdelili záznamy do skupín podľa veľkosti na dve skupiny 2–4 cm a 5–8 cm. Delenie sme zvolili na základe škôd, ktoré krúpy najčastejšie spôsobujú v závislosti od veľkosti. Podľa Púčik a kol. (2019) výraznejšie narastajú škody práve od hranice 5 cm, keď už typicky dochádza k poškodeniu striech, okien, áut a pod. a výrazne rastie riziko zranenia ľudí. Pri krúpach

2–3 cm sú typické škody skôr na poľnohospodárskych plodinách, stromoch či skleníkoch, no ak takéto krúpy vypadávajú pri downburste, môžu spôsobiť aj výraznejšie škody (napr. prípadová štúdia Kaňák a kol., 2007).

Obrázok 1. Časový vývoj všetkých záznamov v ESWD (modrá krivka) a záznamov krúp (oranžová krivka) z územia Slovenska od 1.1.2000 do 30.9.2019. Nárast počtu záznamov od roku 2007, dovtedy väčšinou do 5 záznamov/rok. Záznamy krúp vykazujú výrazne menší nárast v ďalších rokoch oproti všetkým záznamom spolu.

Figure 1. Temporal development of all records in ESWD (blue curve) and hail records (orange curve) in Slovakia from 1.1.2000 to 30.9.2019. Increase in records since 2007, until then mostly up to 5 records/year. The hail records show a significantly smaller increase in the following years compared to all records together.



Obrázok 2.

Časový vývoj počtu
(a) všetkých záznamov
v ESWD v jednotlivých
štátoch, (b) záznamov krúp
v jednotlivých štátoch, od
1.1.2000 do 30.9.2019
(maximálne hodnoty pre
Pol'ško z posledných rokov
nie sú zobrazené, pretože boli
príliš vysoké a pri prešká-
lovaní by tak vývoj záznamov
v iných krajinách neboli
rozoznateľný).

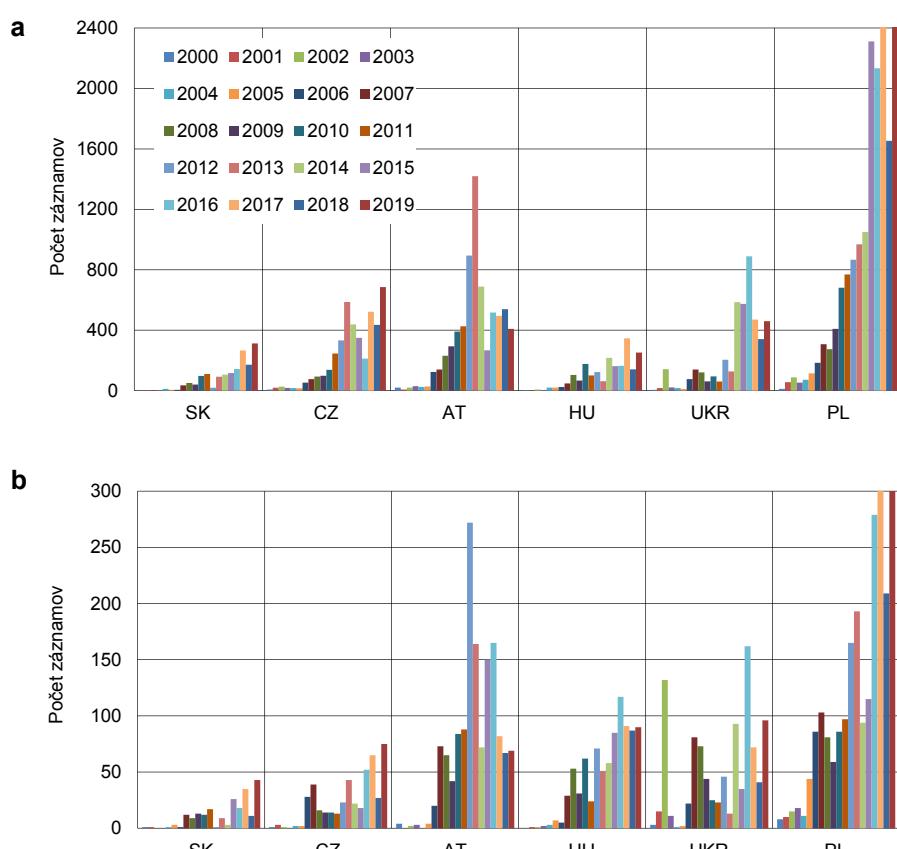


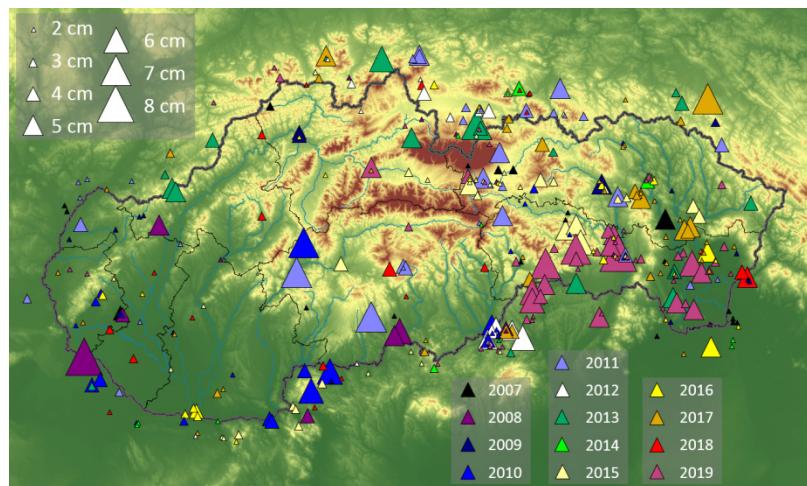
Figure 2.
Temporal development of
(a) all ESWD records by
countries, (b) hail records by
countries, from 1st January
2000 to 30th September 2019
(maximum values for Poland
from recent years not shown
because they were too high
and scaled the development
of records in other countries
would not be discernible).

Obrázok 3.

Všetky záznamy krúp na Slovensku a v okolí 15 km od slovenských hraníc v období 1.1.2007 – 30.9.2019, veľkosť symbolov predstavuje maximálny priemer krúp, farba predstavuje rok, v ktorom boli krúpy zaznamenané (legenda v obrázku).

Figure 3.

All hail records in Slovakia and around 15 km surrounding from 1st January 2007 to 30th September 2019, the size of the symbols represents the maximum diameter of hail, the color represents the year in which the hail was recorded (legend in the picture).

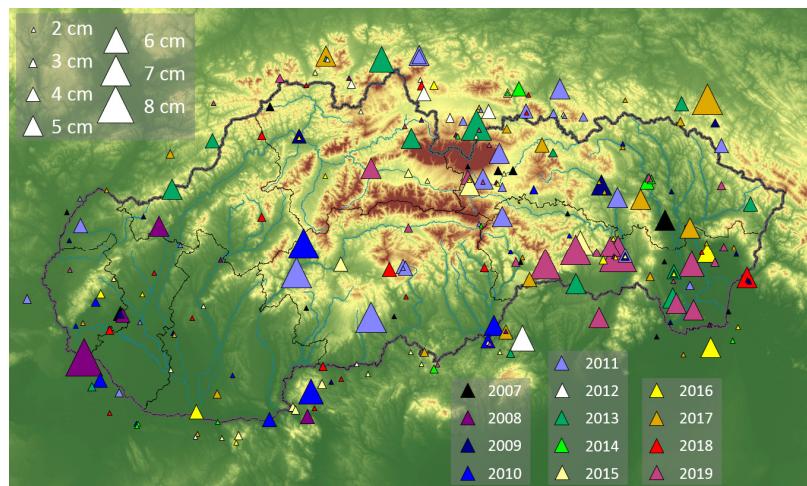


Obrázok 4.

Výskyt krúp pre jednotlivé bunky v období 2007–2019. Pre každú bunku je uvedený len jeden symbol s maximálnou veľkosťou krúpy, ktorá daná bunka počas svojej existencie vyprodukovala (popis symbolov rovnaký ako na Obr. 3).

Figure 4.

Occurrence of hail for individual cells in the period 2007–2019. Only one symbol is shown for each cell, with the maximum hail size it produced (symbol description as in Fig. 3).



VÝSLEDKY

Z analyzovaných rokov 2007 až 2019 sme zistili, že záznamy sú výrazne nehomogénne priestorovo rozložené. Na obrázku 3 sú všetky zaznamenané krúpy s priemerom 2 cm a viac (ďalej 2cm+) zo Slovenska a z blízkeho okolia do 15 km od slovenských hraníc. Najviac ich je v Košickom kraji, v okolí Prešova, v tatranskej oblasti a v slovensko-maďarskom pohraničí v údolí rieky Slaná. Naopak, málo záznamov je z Nitrianskeho a Trenčianskeho kraja, na väčšine stredného Slovenska, Horného Zemplína a časti Šariša.

Samotné záznamy sú však ovplyvnené viacerými faktormi, ktoré musíme odfiltrovať a až následne môžeme výsledky interpretovať. Pre zaznamenávanie krúp je sieť profesionálnych staníc SHMÚ s pozorovateľmi absolútne nedostatočná, pretože sú od seba vzdialé desiatky km, no krúpové jadra sú rádovo menšie, v niektorých prípadoch len 1–2,5 km (Changnon, 1970), a preto je len malá pravdepodobnosť, že veľké krúpy padajú priamo na stanici. Drivivá väčšina záznamov teda pochádza od náhodných pozorovateľov. Tí sú v určitých oblastiach aktívnejší alebo je ich viac, čo môže lokálne navyšovať množstvo záznamov.²

² Neznamená, že údaje sú nesprávne. Ide len o relatívne nadhodnotenie, napr. Reca, Gíraltovce či Košické Olšany.

Ďalším faktorom je počet záznamov k jednej bunke. Na obrázku 4 sme zobrazili záznamy krúp tak, že jednej bunke sme priradili práve jeden záznam s najväčšími krúpami. Dôležité je zistenie, že počas sledovaného obdobia postupne narastá rozdiel v počte všetkých záznamov krúp oproti počtu jednotlivých buniek, ktoré tieto krúpy priniesli, čo ilustruje graf na obrázku 5a. Taktiež sme zistili, že množstvo záznamov (prípadne jednotlivých buniek, ktoré priniesli veľké krúpy) s krúpami 5 cm a viac (5cm+), nevykazuje žiadny významný trend, no výrazne narastá množstvo záznamov menších krúp, čo zobrazuje obrázok 5b. Vzhľadom na koreláciu s rastúcim trendom v počte všetkých záznamov a príliš krátke časový rad nemôžeme usudzovať, že sa počet situácií s krúpami v priebehu analyzovaného obdobia zvýšil, skôr sa zvýšila pravdepodobnosť, že ich niekto zdokumentuje. Navyše, menšie krúpy (2–3 cm) spôsobujú menšie škody ako krúpy 5cm+, preto častokrát ujdú pozornosti médií a späť sa k takýmto udalostiam už väčšinou nedá dostať, no záznamy o krúpach 5cm+ sa dajú nájsť aj s väčším časovým odstupom. Okrem toho, jedna bunka môže počas svojej existencie produkovať krúpy rôznej veľkosti, no záznam mohol existovať len jeden. Napr. v rokoch 2007–2014 evidujeme len 2 prípady s aspoň piatimi záznamami pre jednu bunku, no v rokoch 2015–2019 je takýchto prípadov 6.

Obrázok 5. (a) Rozdiel počtu všetkých záznamov (All) a záznamov pre jednu bunku (Cells), (b) počet záznamov jednotlivých skupín veľkostí krúp v jednotlivých rokoch (legenda v obrázku).

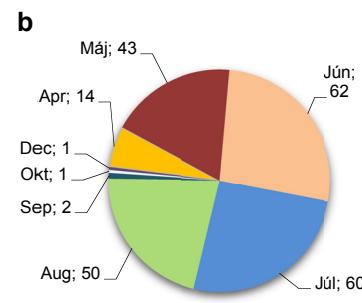
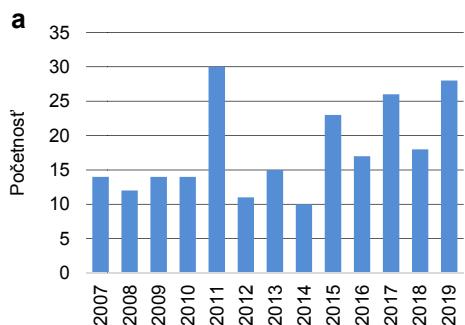
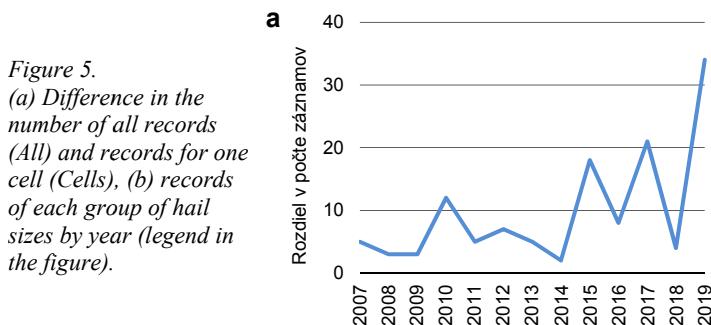
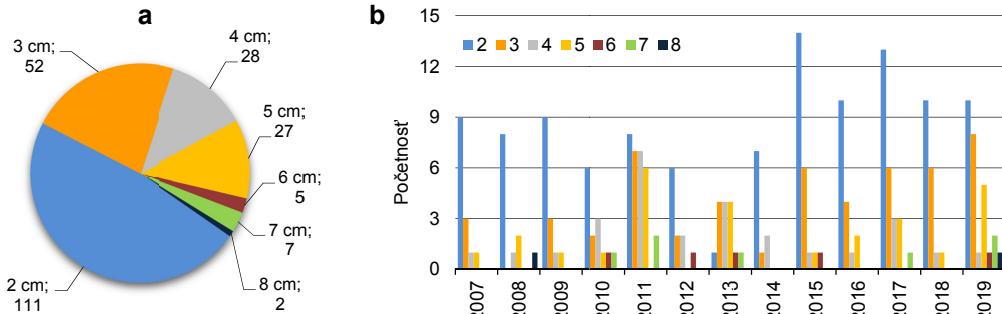


Figure 7.

(a) Number of hail cell records with the maximum hail size in cm shown in the graph, (b) their distribution in each year, all data are for individual cells.



Na Slovensku a v okolí 15 km od hraníc sme za sledované obdobie celkovo identifikovali 232 buniek, ktoré výrobujú krúpy 2cm+. Početnosť v jednotlivých rokoch je na obrázku 6a. Ročne sme v priemere zaznamenali 18 takýchto buniek, pričom najviac ich bolo v r. 2011, až 30, naopak najmenej, 10, v r. 2014. Taktiež sme výhodnocovali, kedy sa ich vyskytuje najviac v rámci roka. Na obrázku 6b vidieť, že najčastejšie sa vyskytujú v lete, čiastočne aj na jar, no na jeseň a v zime je ich výskyt mimořiadne zriedkavý. 5cm+ sme zaznamenali najviac v r. 2019, kedy ich bolo 9, no väčšinou (8/13 rokov) sa vyskytovali 1–3 takéto bunky ročne (Obr. 5b).

Na obrázku 7 je počet buniek, ktoré priniesli krúpy výhodnotené z hľadiska veľkosti krúp (7a) a v jednotlivých rokoch (7b). Bunky najčastejšie produkovať krúpy 2 cm, až v takmer polovici prípadov, v niečo menej ako štvrtine 3 cm, približne osminu prípadov tvorili 4 a 5 cm. Výrazný pokles sme zaznamenali pri bunkách s krúpami 6 cm+.

Krúpy 6 a 7 cm výrobujú 4 až 5-krát menej buniek ako 4 a 5 cm, pričom len dvakrát sme zaznamenali bunku, ktorá priniesla krúpy 8 cm – 7.7.2008 v Maďarsku južne od Bratislavu a 27.6.2019 v Košiciach.

Vyhodnotenie výskytu jednotlivých buniek nehovorí o početnosti výskytu padania krúp v určitej oblasti. Pre tento účel sme zvolili gridovú sieť 20 x 20 km zobrazenú na obrázku 8 (podrobnejší popis v kapitole Metodika), pričom pre jeden štvorec sme použili najviac jeden záznam z jednej bunky³. Počet záznamov v jednotlivých štvorcích sme následne vydeleni počtom analyzovaných rokov, z čoho sme dostali odhad relatívnej početnosti výskytu krúp 2cm+ a 5cm+ v jednotlivých štvorcích počas sledovaného obdobia. Výsledky sú na obrázkoch 9a a 9b.

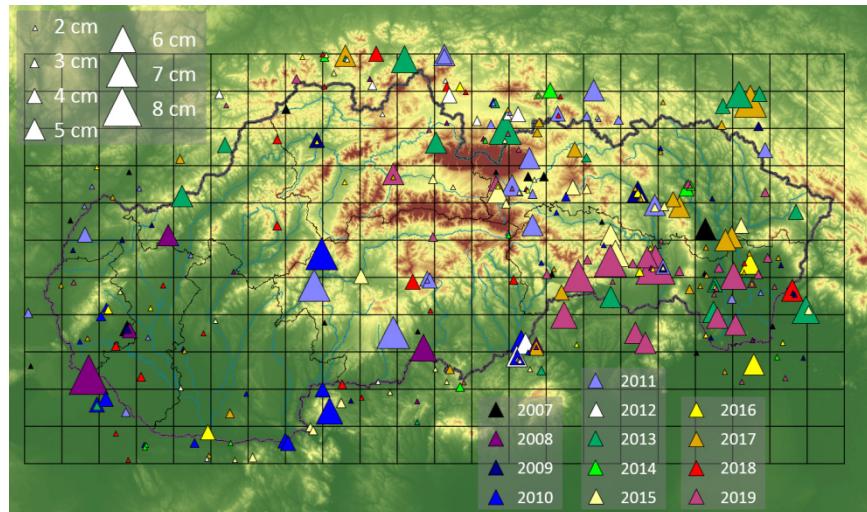
³ Tá istá bunka však môhla výrobovať krúpy vo viacerých štvorcoch.

Obrázok 8.

Záznamy krúp v gridovej sieti
20x20 km v období 1.1.2007 –
30.9.2019 (popis symbolov
rovnaký ako pri obrázku 3).
V jednom štvorcí je najviac
jeden záznam pre jednu bunku.

Figure 8.

Records of hail in a grid
of 20x20 km in the period
1.1.2007 – 30.9.2019
(description of the symbols
is the same as in Fig. 3).
There is at most one record
per cell in one square.



Kedže počet záznamov v jednotlivých štvorcoch gridovej siete je závislý od konkrétneho umiestnenia gridovej siete, pri interpretácii výsledkov je vhodné sa viac zameriavať na jednotlivé oblasti, ako na konkrétné štvorce. Na obrázku 9a vidíme, že najčastejší výskytu krúp 2cm+ je na východnom Slovensku, predovšetkým vo Východoslovenskej nížine, vo východnej polovici Volovských vrchov a príľahlej časti Košickej kotliny, v okolí Prešova a v Po-pradskej kotline, kde je to v jednotlivých štvorcoch väčšinou raz za dva až tri roky. Vyššia početnosť je podľa obrázku 9a ešte na Zamagurí, na pohraničí stredného Slovenska – s Poľskom i s Maďarskom, ako aj v pohraničných oblastiach v okolí juhu západného Slovenska. Pri porovnaní s obrázkom 8 však vidíme, že pri pohraničných oblastiach ide vo väčšine prípadov o záznamy mimo územie Slovenska, čo však samozrejme nevylučuje, že sa krúpy mohli vyskytnúť aj na Slovensku. Podobne, ako sme popisovali obrázku 3, aj tu vidieť, že väčšina západného, stredného Slovenska, Horného Zemplína, horného Šariša vykazuje len nízku početnosť výskytu, väčšinou do 0,1.

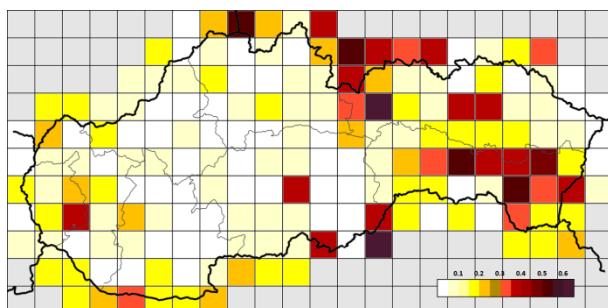
V prípade výskytu krúp 5cm+ je len malá početnosť v celej sledovanej doméne (Obr. 9b), ale predsa je možné identifikovať relatívne rozdiely v rámci Slovenska. Najvyšší priemerný výskyt sme zaznamenali v Košickom kraji a blízkom okolí a v tatranskej oblasti. Naopak na západnom a strednom Slovensku je početnosť v jednotlivých štvorcoch veľmi nízka až nulová, resp. vo väčšine štvorcov sa takéto krúpy za sledované obdobie nevyskytli vôbec. To samozrejme neznamená, že ich výskyt tu nie je možný, ale períoda výskytu môže byť podstatne väčšia ako násť analizovaný rad. Vzhľadom na to, že v celej doméne máme zo 179 štvorcov len 40 s krúpami 5cm+, nemá zmysel ich hlbšie analyzovať v jednotlivých gridoch siete.

Typickými producentami veľkých krúp sú supercely (Browning, 1964; Blair a kol., 2017; Smith a kol., 2012,), teda bunky s rotujúcim výstupným prúdom, ktorý je do-statočne silný a stabilný, a umožní tak rast krúp do veľkých rozmerov. Všetky prípady 5cm+ a väčšina prípadov 3–4 cm bola spojená s bunkami, ktoré na poliach rádiolokačnej odrazivosti vykazovali niektoré črty typické pre supercely – mezocyklóna, hook echo, weak echo region/bounded

weak echo region, V-notch (Chisholm a Renick, 1972; Lemon, 1980; Moller a kol. 1994, Markowski 2002a), tzv. štiepenie buniek a ich výrazný odklon oproti priemernému prúdeniu v troposfére (Rotunno a Klemp, 1982, 1985; Klemp, 1987). Priestorová distribúcia krúp uvedená na obrázkoch 9a a 9b sa zhoduje s najčastejším výskytom supercel na Slovensku a v okolí podľa Šinger (2013), teda najviac ich je na východnom Slovensku, menej na strednom a minimum na západnom Slovensku.

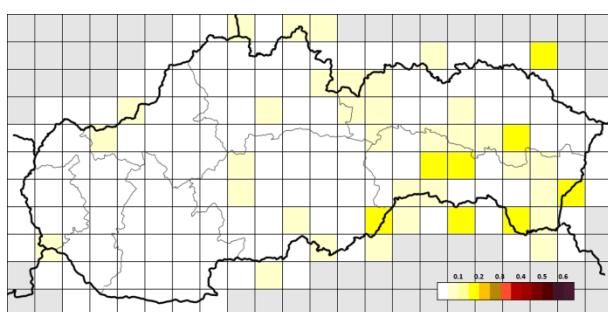
Obrázok 9a. Početnosť výskytu krúp 2cm+ v gridovej sieti 20x20 km za rok v období 1.1.2007 – 30.9.2019.

Figure 9a. Frequency of occurrence of hail 2cm+ in grid network 20x20 km per year in the period 1.1.2007 – 30.9.2019.



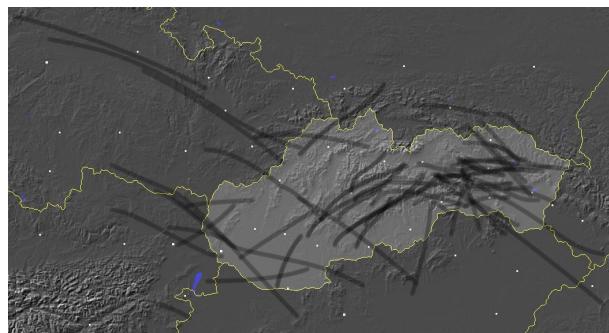
Obrázok 9b. Početnosť výskytu krúp 5cm+ v gridovej sieti 20x20 km za rok v období 1.1.2007 – 30.9.2019.

Figure 9b. Frequency of occurrence of hail 5cm+ in grid network 20x20 km per year in the period 1.1.2007 – 30.9.2019.



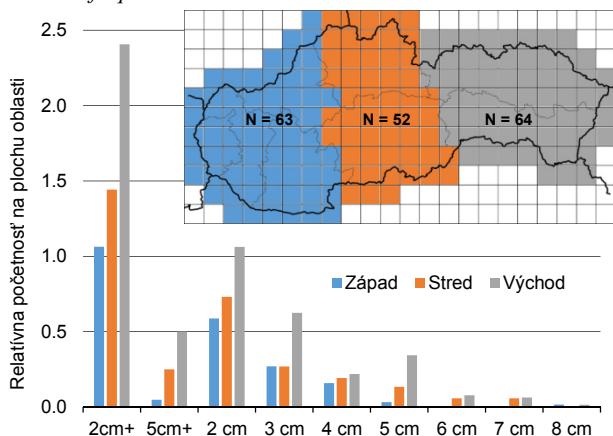
Obrázok 10. Trajektórie supercelí v rokoch 2006 – 2012 (Šinger, 2013).

Figure 10. Supercell trajectories in 2006 – 2012 (Šinger, 2013).



Obrázok 11. Relatívna početnosť jednotlivých udalostí na štvorec $20 \times 20 \text{ km}$ v období 1.1.2007 – 30.9.2019 na západnom, strednom a východnom Slovensku. Vpravo hore v obrázku je rozdelenie územia do jednotlivých oblastí aj s uvedením počtu štvorcov v jednotlivých oblastiach⁴.

Figure 11. Relative frequency of individual events per square $20 \times 20 \text{ km}$ in the period 1.1.2007 – 30.9.2019 in western, central and eastern Slovakia. The division of the territory into individual areas is at the top right of the figure, including the number of squares in each area.



Zanalyzujme teraz našu gridovú sieť rozdanením do troch väčších celkov – západ (Bratislavský, Trnavský, Nitriansky a Trenčiansky kraj), stred (Banskobystrický a Žilinský kraj) a východ (Košický a Prešovský kraj) a príľahlé okolie pri hraniciach. Na obrázku 11 je zobrazená početnosť v jednotlivých oblastiach normovaná na počet štvorcov danej oblasti (počet je uvedený v pravej hornej časti obrázku) pre krúpy $2\text{cm}+$, $5\text{cm}+$ a pre jednotlivé veľkosťi krúp. Z histogramu je vo všetkých skupinách zjavné, že najvyššia početnosť je na východe oblasti⁵. Krúpy $2\text{cm}+$ sa tu v jednom štvorci priemerne vyskytli cca 2,5-krát, pričom vysokú početnosť, až 0,5 na štvorec, vykazujú aj krúpy $5\text{cm}+$. V strede oblasti je početnosť nižšia, $2\text{cm}+$

⁴ Stred má najmenej štvorcov, pretože má podstatne kratšiu hranicu so susednými štátmi.

⁵ Výnimku tvoria len krúpy 8 cm , ktoré boli zaznamenané na západe aj východe oblasti, no vzhľadom na to, že existujú len dva takéto záznamy, nie je možné ich štatisticky spracovať.

približne 1,5-krát v jednom štvorci a $5\text{cm}+$ 0,25/štvorec, čo je o polovicu menej, ako na východe. Najnižšia početnosť je na západe, kde sa krúpy $2\text{cm}+$ vyskytli v jednom štvorci priemerne raz za celé sledované obdobie, pričom početnosť $5\text{cm}+$ je veľmi nízka, len 0,05/štvorec, čo je až desaťnásobne menej, ako na východe oblasti.

DISKUSIA A ZÁVER

Článok predstavuje prvé systematické spracovanie výskytu krúp na Slovensku. V minulosti totiž spracovanie nebolo možné, pretože databáza prípadov prakticky neexistovala. Spred roku 2007 sme našli len niekoľko záznamov a výrazne prevažovali také, ktoré mali veľký dopad na socioekonomickej sfére, čo však na systematickú analýzu nestačilo. Dokumentácia krúp, nanešťastie, silno závisí od reportovania náhodných pozorovateľov, pretože sieť profesionálnych meteorologických staníc s pozorovateľmi je príliš riedka na to, aby z nej bolo možné zbierať postačujúce množstvo údajov o krúpach vhodných na klimatologické spracovanie (Punge a Kunz, 2016). V posledných rokoch sa však vďaka vedecko-technickému pokroku výrazne zlepšili podmienky zaznamenávania aj takých meteorologických javov, ktoré sa odohrávajú na malej časopriestorovej škále, akými sú napr. búrkové javy, vrátane krúp. Možnosť odfotografovať a zdieľať fotografie má už väčšina populácie, a preto je podstatne väčšia pravdepodobnosť, že aj krúpy niekto zaznamená, najmä v hustejšie obývaných oblastiach. Predovšetkým meteorológovia SHMÚ sa v posledných rokoch na Slovensku výrazne pričinili o systematické vyhľadávanie a zadávanie záznamov o nebezpečnom počasí do databázy ESWD, vďaka čomu je možné tieto javy podrobnejšie skúmať.

Pri analýze sme v niektorých pohraničných oblastiach identifikovali podstatne väčšie množstvo záznamov z okolitých krajín ako zo Slovenska. Je však pravdepodobné, že príčinou týchto rozdielov nie sú rozličné atmosférické podmienky, ale lepšie reportovanie udalostí z okolitých krajín. Týka sa to najmä Poľska alebo slovensko-maďarského pohraničia v údolí rieky Slaná (čo dokumentuje aj Obr. 2), kde sme podľa radarových dát vo viacerých prípadoch registrovali tú istú bunku na slovenskej aj maďarskej strane hranice, no záznamy boli, až na jednu výnimku (3.7.2010), len z Maďarska⁶.

V článku sme ukázali, že vzhľadom na množstvo záznamov a rádiolokačné dátá má zmysel systematicky analyzovať krúpy na Slovensku od roku 2007, analyzované obdobie končí septembrom r. 2019. Významnou pridanou hodnotou článku je predovšetkým roztriedenie záznamov podľa jednotlivých buniek, ktoré krúpy priniesli. Počas sledovaného obdobia sme identifikovali 232 buniek, ktoré vyprodukovali krúpy s priemerom 2 cm a viac, pričom 41 z nich prinieslo krúpy s priemerom 5 cm a viac. Bunky s krúpami 2 a 3 cm predstavovali 70 % z nich, 4 a 5 cm 24 %, pričom výrazný pokles početnosti sme zaznamenali pri bunkách s krúpami s priemerom 6 cm, ktorých bolo len

⁶ Zreteľné je to v prípadoch z 24.6.2008, 7.7.2008, 4.8.2012, 9.7.2012, 12.5.2013 či 3.5.2017.

6 %. Najväčšie krúpy mali za sledované obdobie 8 cm, a vyskytli sa len v dvoch prípadoch, čo však nevylučuje, že sa u nás mohli, prípadne v budúnosti môžu, vyskytnúť aj väčšie krúpy. Svedčia o tom aj staršie záznamy z blízkeho pohraničia Slovenska, kde boli zaznamenané krúpy s priemerom až okolo 10 cm (ESWD), prípadne záznamy z ďalších európskych krajín, kde sa vyskytli ešte väčšie krúpy. Tie najväčšie boli zaznamenané 20. júna 2016 v Sâncandrei v západnom Rumunsku a ich priemer dosahoval až 15 cm (Púčik, 2019), prípadne 14 cm 6. augusta 2013 v Undingen v juhozápadnom Nemecku a 10. júla 2019 v talianskom meste Pescara (ESWD). Všetky spomínané udalosti spôsobili obrovské škody na majetku, porastoch a zranili mnoho ľudí.

Na území Slovenska a v blízkom okolí sa v priemere ročne vyskytlo 18 buniek s krúpami s priemerom 2 cm a viac, najviac ich bolo v rokoch 2011 a 2019, pričom väčšina sa viazala na leto a neskorú jar, čo je v zhode s pozorovaniami z okolitých krajín (Punge a Kunz, 2016; Púčik a kol. 2019). Buniek s krúpami s priemerom 5 cm a viac sme zaregistrovali v priemere 1–3 za rok, najviac taktiež v rokoch 2011 a 2019, no napr. v r. 2014 sa podľa dostupných záznamov nevyskytla žiadna. Pre analýzu príčinných súvislostí rozdielov početnosti výskytu krúp v rámci jednotlivých rokov však bude nutné podrobnejšie zanalyzovať strihové podmienky, ktoré v daných rokoch prevládali.

Pre ilustráciu regionálnych rozdielov sme záznamy o krúpach umiestnili do gridovej siete s rozmerom štvorca 20×20 km, územie Slovenska sme rozdelili na západ, stred a východ a plochu sme normovali pre jednotlivé oblasti a na jednu bunku, vďaka čomu sme ich mohli porovnávať. Po takto spracovaných údajoch sme najvyššiu početnosť výskytu krúp 2 cm a viac identifikovali na východnom Slovensku, kde bola až 2,5-krát vyššia ako na západnom, pričom pri krúpach s priemerom 5 cm a viac bola až 10-krát vyššia. Vyššiu mieru rizika padania krúp na východnom ako na západnom Slovensku identifikovali aj Punge a kol. (2014), či Púčik a kol. (2019). V rámci východného Slovenska sa veľké krúpy najviac sústredili na Východoslovenskú nížinu, východnú polovicu Volovských vrchov a priľahlú časť Košickej kotliny, okolie Prešova a Popradskú kotlinu, kde sa veľké krúpy v oblasti 20×20 km priemerne vyskytli raz za dva až tri roky. Výsledky prác zameraných na výskyt krúp v okolitých štátoch nadvádzajú na naše výsledky. Napr. Seres a Horváth (2015) identifikovali zvýšenú pravdepodobnosť výskytu krúp v severovýchodnej časti Maďarska, Kolkowska a Lorenc (2012) v južnom Poľsku, pričom v rámci jednotlivých meteorologických staníc vyzkazuje najvyššiu početnosť výskytu dní s krúpami stanica Zakopane v tatranskej oblasti, čo je v zhode s lokálnym maximom, ktoré sme tu identifikovali aj my⁷.

Vzhľadom na to, že typickými producentmi veľkých krúp sú práve supercely (Blair a kol., 2017; Smith a kol., 2012), nie je prekvapivé, že distribúcia krúp na Slovensku

sa približne zhoduje s oblasťami, kde sa supercely vyskytujú najčastejšie (Šinger, 2013). Supercela je konvektívna štruktúra, ktorá pre svoj vznik vyžaduje, okrem základných ingrediencií dôležitých pre vývoj hlbokej konvekcie (Doswell, 1996)⁸, aj silný vertikálny strih vetra - vo vrstve $0-6$ km typicky okolo 20 m.s^{-1} (Rasmussen a Blanchard, 1998). Dôsledkom silného strihu vetra v supercele vznikne silný a kvázistacionárny rotujúci výstupný prúd, ktorý tak dokáže udržať krúpy dlhšiu dobu, čím im umožňuje dostatok času na rast. Popísaná distribúcia výskytu krúp na Slovensku naznačuje, že vo výšie spomínaných lokalitách zrejme dochádza k takýmto podmienkam častejšie.

V synoptickej škále môže byť príčinou nerovnomernej priestorovej distribúcie výskytu krúp v rámci Slovenska kombinácia veľkopriestorovej cirkulácie a väčších pohorí (Alpy, Karpaty), kvôli čomu dochádza k ovplyvňovaniu vývoja tlakových útvarov a atmosférických frontov. V závetri pohorí môže dochádzať k tzv. závernej cyklogenéze (McGinley 1982), k ovplyvňovaniu postupu atmosférických frontov (Schumann, 1987; Dickinson a Knight, 1999), prípadne k zvýšenej tendencii ich vlnenia v blízkosti pohorí (Bluestein, 1993). Tento vývoj následne ovplyvňuje prúdenie a distribúciu veličín aj v menšej škále (Markowski a Dotzek, 2011; Schneider, 2009), zosilnenie advekcie (Bosart a kol., 2006), zosilnenie výstupného prúdu búrky (Bluestein, 2000; Schneider 2009), prípadne tornádogenézu (Peyraud, 2013). V niektorých prípadoch dokonca prostredie z hľadiska veľkopriestorových parametrov vôbec nemusí byť vhodné na vznik napr. superciel, no orografia môže lokálne podmienky natoľko modifikovať, že supercela vznikne (Gaffin a Hotz, 2011).

Veľkopriestorová cirkulácia v atmosfére v kombinácii s lokálnymi efektami, vyvolanými jej interakciou s orografiou, tak podľa viacerých štúdií ovplyvňuje vznik a vývoj búrok (prípadne typ konvektívnej štruktúry), a teda aj ich sprievodné javy. To potvrdili napr. Stucki a Egli (2007) alebo Púčik a kol. (2019), ktorí uvádzajú, že v podhorských oblastiach Álp sa búrky s krúpami vyskytujú častejšie, ako v samotných Alpách. Podobnú závislosť na príklade Kaukazu uvádzajú aj Abshaev (2009), v okolí Pyrenejí a Francúzskeho stredohoria (Vinet, 2001), v oblasti Pyrenejí a Iberského pohoria (Burgaz, 2004). Vzhľadom na to, že značnú časť Slovenska pokrývajú pohoria (Karpaty), ako aj distribúciu a frekvenciu krúp a superciel v rámci jednotlivých časťí krajiny, sa dá predpokladať, že orografia zohráva významnú úlohu aj na Slovensku. Analýza príčinných súvislostí preto bude predmetom nášho ďalšieho výskumu.

Okrem toho sme pre potreby tohto článku zhromaždili veľké množstvo údajov a výsledkov, ktoré spolu tvoria databázu, na základe ktorej je možné výskum v budúnosti rozšíriť, napr. o analýzu radarových dát a následných možností detekcie krúp, ktoré by mohli byť využívané aj v operatívnej prevádzke.

⁷ Práce však nepojednávajú priamo o veľkostiach krúp, ale o rádiolokačnej odrazivosti či počte dní s krúpami bez ohľadu na ich veľkosť, teda sú v nich zahrnuté aj prípady s krúpami s priemerom menej ako 2 cm.

⁸ Dostatok vlhkosti v spodných hladinách troposféry v kombinácii s výraznejším vertikálnym teplotným gradientom v spodnej a strednej troposfére a iniciácia konvekcie.

Podákovanie

Podákovanie patrí predovšetkým náhodným svedkom nebezpečných meteorologických javov (teda aj veľkých krúp), ktorí ich zdokumentovali a tieto informácie zdieľali či už cez facebookový profil SHMÚ, mail alebo galériu, alebo cez iný portál, čím sa spolupodieľali na vytvorení databázy ESWD. Bez týchto záznamov by nebolo možné skúmať výskyt veľkých krúp na Slovensku. Obzvlášť sa chceme podákať užívateľom, ktorí sami pridávajú záznamy do databázy ESWD a galérie SHMÚ. Tento článok bol čiastočne podporený grantovou agentúrou Slovenskej republiky v rámci projektu Vega č. 1/0940/171.

Zoznam skratiek

ESSL – European Severe Storms Laboratory,
ESWD – European Severe Weather Database,
SHMÚ – Slovenský hydrometeorologický ústav
krúpy 2cm+, 5cm+, 6cm+
– krúpy s maximálnym priemerom 2/5/6 cm a viac

LITERATÚRA

- Abshaev, M.T.–Malkarova, A.M.–Borisova, N.A., 2009, Zoning of the territory by hail hazard. Tech. Rep. RD 52.37.722-2009. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (ROSHYDROMET), Nalchik (in Russian).
- Baldi, M.–Ciardini, V.–Dalu, J.D.–Filippis, T.D.–Maracchi, G.–Dalu, G., 2014, Hail occurrence in Italy: towards a national database and climatology. *Atmos. Res.* 138, 268–277.
- Blair, S. F., and Coauthors, 2017, High-resolution hail observations: Implications for NWS warning operations. *Wea. Forecasting*, 32, 1101–1119.
- Bluestein, H.B., 1993, Synoptic-Dynamic Meteorology in Mid-latitudes. Vol. II: Observations and Theory of Weather Systems. Oxford University Press, 594 pp.
- Bluestein, H.B., 2000, A Tornadic Supercell over Elevated, Complex Terrain: The Divide, Colorado, Storm of 12 July 1996. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 795–809.
- Bosart, L.F.–Seimon, A.–LaPenta, K.D.–Dickinson, M.J., 2006, Supercell Tornadogenesis over Complex Terrain: The Great Barrington, Massachusetts, Tornado on 29 May 1995. *Wea. Forecasting*, 21, 897–922.
- Browning, K.A., 1964, Airflow and precipitation trajectories within severe local storms which travel to the right of the winds. *J. Atmos. Sci.*, 21, 634–639.
- Burcea, S., R. Cică, and R. Bojariu, 2016: Hail Climatology and Trends in Romania: 1961–2014. *Mon. Wea. Rev.*, 144, 4289–4299, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-16-0126.1>.
- Burgaz, F., 2004. Experiencia española. IICA Biblioteca Venezuela, Santiago, Chile URL <https://books.google.de/books?id=3zwqAAAAAYAAJ>.
- Dickinson, M.J.–Knight, D.J., 1999, Frontal Interaction with Mesoscale Topography. *J. Atmos. Sci.*, 56, 3544–3559.
- Dessens, J., 1986a, Hail in southwestern France. I: Hailfall characteristics and hailstrom environment. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 25, 35–47.
- Doswell, C.A.–Brooks, H.E.–Maddox, R.A., 1996, Flash Flood Forecasting: An Ingredients-Based Methodology. *Wea. Forecasting*, 11, 560–581.
- Dotzek, N.–Kratzsch, T.–Groenemeijer, P., 2006, The European Severe Weather Database (ESWD): An inventory of convective high-impact weather events for forecast and warning evaluation, climatology, and risk assessment. *Preprints, 2nd THORPEX International Science Symposium (STISS), Landshut, 4–8 December 2006, WMO/TD No. 1355, WWRP/THORPEX No. 7*, 228–229.
- Dotzek, N.–Groenemeijer, P.–Feuerstein, B.–Holzer, A.M., 2009, Overview of ESSL's severe convective storms research using the European Severe Weather Database ESWD. *Atmos. Res.*, 93, 575–586, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.10.020>.
- Formayer, H.–Eitzinger, S.–Nefzger, H.–Simic, S.–Kromp-Kolb, H., 2001, Auswirkungen einer Klimaveränderung in Österreich: Was aus bisherigen Untersuchungen ableitbar ist. *University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna (in German)*.
- Gaffin, D.M.–Hotz, D.G., 2011, An Examination of Varying Supercell Environments over the Complex Terrain of the Eastern Tennessee River Valley. nwafiles.nwas.org/digest/papers/2011/Vol35No2/Pg47-Gaffin_Hotz.pdf.
- Hilfiker, H., 2009, Impact and implications of Swiss hailstorms in July 2009. *Tech. Rep. Guy Carpenter [Online; accessed 04-November-2014]*. URL <http://www.gccapitalideas.com/2009/10/10/>
- Hrudička, B., 1937, Über Hagelschlag in Mähren-Schlesien. *Československé Společnosti Zeměpisné* 54 (7), 265–267 (in German).
- Changnon, S.A., 1970, Hailstreaks. *J. Atmos. Sci.* 27, 109–125.
- Chisholm, A.J.–Renick, J.H., 1972, The kinematics of multicell and supercell Alberta hailstorms, *Alberta Hail Studies*, 1972. *Research Council of Alberta Rep.* 72–2, 24–31.
- Chromá, K.–Brázdil, R.–Tolasz, R., 2005, Spatio-temporal variability of hailstorms for Moravia and Silesia in the summer half-year of the period 1961–2000. *Meteorologický časopis*, Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav, 2005, roč. 8, č. 2, 65–74.
- Kahraman, A.–Tilev-Tanriover, Ş.–Kadioglu, M.–Schultz, D.M.–Markowski, P.M., 2016, Severe Hail Climatology of Turkey. *Mon. Wea. Rev.*, 144, 337–346, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-15-0337.1>.
- Kaňák, J.–Benko, M.–Simon, A.–Sokol, A., 2007, Case study of the 9 May 2003 windstorm in southwestern Slovakia, *Atmospheric Research, Volume 83*, 162–175. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2005.09.012>.
- Kemény, G.–Varga, T.–Fogarasi, J.–Tóth, K.–Tóth, O., 2012, Problemkreis und Schadenkalkulation einer Mehrgefahrendversicherung in dem ungarischen Ackerbau. *Ökosystemdienstleistungen und Landwirtschaft*. Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie, 41–42 (in German).
- Klemp, J.B., 1987, Dynamics of tornadic thunderstorms. *Ann. Rev. Fluid Mech.*, 19, 369–402.
- Kolkowska, K.–Lorenc, H., 2012, Klęski Zywiolowe a Bezpieczeństwo Wewnętrzne Kraju. *Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa*, 80–97 Ch. Ryzyko wysiępowania gradu w Polsce. [in Polish]. URL klimat.imgw.pl/wp-content/uploads/2013/01/tom3.pdf.
- Kunz, M.–Sander, J.–Kottmeier, C., 2009, Recent trends of thunderstorm and hailstorm frequency and their relation to atmospheric characteristics in southwest Germany. *Int. J. Climatol.* 29 (15), 2283–2297.
- Lemon, L.R., 1980, Severe thunderstorm radar identification techniques and warning criteria: A preliminary report. *NOAA Tech Memo. NWS NSS FC-1*, 60 pp. [NTIS PB273049].

- Lindloff, V., 2003, *Hagel—Jedes Jahr Schäden in Millionenhöhe*. Kurier – Das Bayer CropScience Magazin für die moderne Landwirtschaft Heft 2, 18–21 (in German).
- Lišková, M., 2006, Možnosti detekcie kríp pomocou odvodnených veličín z meteorologického rádiolokátora. Diplomová práce, Univerzita Komenského, Bratislava.
- Malkarova, A., 2011, Estimation of physical efficiency of hail protection accounting for changes in hail climatology. *Russ. Meteorol. Hydrol.* 36 (6), 392–398 (Jun).
- Markowski, P.A., 2002a, Hook echoes and rear-flank down-drafts: A review. *Mon. Wea. Rev.*, 130, 852–876.
- Markowski, P.M.–Dotzek, N., 2011, A numerical study of the effects of orography on supercells. *Atmos. Res.*, 100, 457–478.
- McGinley, J., 1982, A Diagnosis of Alpine Lee Cyclogenesis. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 1271–1287.
- Moller, A.R.–Doswell III, C.A.–Foster, M.P.–Woodall, G.R., 1994, The operational recognition of supercell thunderstorm environments and storm structures. *Wea. Forecasting*, 9, 327–347.
- Morgan, G.M., 1973, A general description of the hail problem in the Po Valley of northern Italy. *J. Appl. Meteorol.* 12, 338–353.
- Munzar J. a kol., 1989: Malý průvodce meteorologií. Mladá fronta Praha, s. 247.
- Peyraud, L., 2013, Analysis of the 18 July 2005 Tornadic Supercell over the Lake Geneva Region. *Wea. Forecasting*, 28, 1524–1551, <https://doi.org/10.1175/WAF-D-13-00022.1>.
- Santos, J.A.–Pereira, M.B., 2018, A comprehensive analysis of hail events in Portugal: Climatology and consistency with atmospheric circulation. *International Journal of Climatology*. 10.1002/joc.5794.
- Stucki, M.–Egli, T., 2007, Synthesebericht Elementarschutzregister Hagel. Tech. rep. Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen (in German).
- Plieninger, 1856, Neunundzwanzigster und dreissigster Jahresbericht über die Witterungsverhältnisse in Württemberg. Jahrgang 1853 und 1854. Verlag von Ebner und Seubert, Stuttgart, 1856. 404–493.
- Porras, I.–Sairouni, A.–Aran, M., 2013, Climatología de la probabilidad de calamarsa a Catalunya. [in Catalan]. URL <http://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2014/11/18130754/nota-estudi-climatologia-calamarsa-n74.pdf>.
- Punge, H.J.–Kunz, M., 2016, Hail observations and hailstorm characteristics in Europe: A review. *Atmos. Research*, 176–177, 159–184, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.02.012>.
- Puskeiler, M., 2013, Radarbasierte Analyse der Hagelgefährdung in Deutschland (Ph.D. thesis) Institute of Meteorology and Climate Research, Karlsruhe Institute of Technology (KIT) [in German]. URL https://www.imk-tro.kit.edu/download/Dissertation_Puskeiler_Marc.pdf.
- Púčik, T.–Castellano, C.–Groenemeijer, P.–Kühne, T.–Rädler, A.T.–Antonescu, B.–Faust, E., 2019, Large Hail Incidence and Its Economic and Societal Impacts across Europe. *Mon. Wea. Rev.*, 147, 3901–3916, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-19-0204.1>.
- Púčik, T., 2019, Giant hail in Europe, ESSL, <https://www.essl.org/cms/giant-hail-over-europe/>.
- Rasmussen, E.N.–Blanchard, D.O., 1998, A baseline climatology of sounding-derived supercell and tornado forecast parameters. *Wea. Forecasting*, 13, 1148–1164.
- Roncali, G., 1955, Sui danni della grandine in Italia. Tech. rep. Ufficio Centrale di Ecologia Agraria, Rome (in Italian).
- Rotunno, R.–Klemp, J.B., 1982, The influence of the shear-induced pressure gradient on thunderstorm motion. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 136–151.
- Rotunno, R.–Klemp, J.B., 1985, On the rotation and propagation of numerically simulated supercell thunderstorms. *J. Atmos. Sci.*, 42, 271–292.
- Seres, A.–Horváth, 2015, Thunderstorm climatology in Hungary using Doppler radar data. *Idojaras* 119 (2), 185–196.
- Schneider, D.G., 2009, The impact of terrain on three cases of tornadogenesis in the Great Tennessee Valley. *Electronic J. Operational Meteor.*, 10 (11), 1–33.
- Schumann, U., 1987, Influence of mesoscale orography on idealized cold fronts. *Journal of the Atmospheric Sciences* 44: 3423–3441.
- Skok, G.–Rakovec, J.–Strajnar, B.–Bacmeister, J.–Tribbia, J., 2014, Applications of custom developed object based analysis tool: precipitation in Pacific, tropical cyclones precipitation, hail areas. *EGU General Assembly Conference Abstracts*. of EGU General Assembly Conference Abstracts vol. 16, p. 14293 (May).
- Smith, B.T.–Thompson, R.L.–Grams, J.S.–Broyles, C.–Brooks, H.E., 2012, Convective modes for significant severe thunderstorms in the contiguous United States. Part I: Storm classification and climatology. *Wea. Forecasting*, 27, 1114–1135.
- Svabik, O.–Meyer, V.–Tüchler, L.–Zenkl, G., 2013, Hail risk areas in Austria, on the basis of reports 1971–2011 and weather radar images 2002–2011. 7th European Conference on Severe Storms. Helsinki, Finland, p. 2 URL <http://www.essl.org/ECSS/2013/programme/abstracts/50.pdf>
- SwissRe, 2014, Sigma: Natural- and Man-made Catastrophes 2013. Tech. Rep. Swiss Re Economic Research and Consulting.
- Šinger, M., 2013, Supercely v strednej Európe. Diplomová práca, FMFI, KAFZM UK, Bratislava, 149 str.
- Šinger, M., 2015, Mimoriadne veľké krípy v okolí Kojšovskej hole 14. júna 2015, aktuality SHMÚ. <http://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=628>
- Šinger, M., 2017, Supercela 27.8.2017 pri Prešove s krípami s priemerom až 5 cm!, aktuality SHMÚ. <http://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=829>
- Šinger, M., 2019, Krípy v Košiciach 27. júna 2019, aktuality SHMÚ. <https://www.facebook.com/shmu.sk/posts/2868916036515284/>
- Šinger, M., 2018, Tornádo v Lekárovciach 3. októbra 2018. Meteorologický časopis, 21/2018, 109–116.
- Vinet, F., 2001, Climatology of hail in France. *Atmos. Res.* 56 (1–4), 309–323.
- Webb, J.–Elsom, D.–Meaden, G., 2009, Severe hailstorms in Britain and Ireland, a climatological survey and hazard assessment. *Atmos. Res.* 93 (1–3), 587–606.
- Zimmerli, P., 2005, Hailstorms in Europe – A New Look at a Familiar Risk, Swiss Re Fokus Report, Zurich.