

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Geografie a kartografie



Přehled klimatologie krupobití

Summary of hailstorm climatology

Bakalářská práce

Jan Brych

Praha 2013

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Miroslav Müller, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že závěrečnou práci jsem zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 13. srpna 2013

.....
podpis

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval RNDr. Miroslavu Müllerovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a čas věnovaný přípravě mé bakalářské práci.

Abstrakt:

Tato bakalářská práce se snaží nastínit ucelený pohled na roční rozložení četnosti krupobití ve světě. Nejprve podává obraz o vzniku krupobití a poté o nejpoužívanějších metodách pro detekci krupobití. V poslední části se věnuje přehledu oblastí ve vybraných zemích s nejvyšší četností krupobití a jejich ročnímu chodu. Zde se pomocí map snaží poukázat na prostorové rozložení oblastí zasažených krupobitím. V neposlední řadě se snaží nastínit nejzákladnější faktory ovlivňující krupobití pomocí analýz rozložení četnosti krupobití v jednotlivých zemích. U těchto faktorů (zeměpisná šířka, nadmořská výška, vliv topografie a atmosférické cirkulace) se snaží objasnit důvod ovlivňování vzniku a síly krupobití.

Klíčová slova: krupobití, kroupa, detekce krupobití, klimatologie, faktory

Abstract:

The aim of this thesis is to point out the frequency of hailstorm in the world per year. In the first part we describe the genesis of hailstorm and most used methods for hailstorm detection. In the last part we describe summary of areas in selected countries with the biggest frequency of hailstorm and its annual variation. Here we try to point out the spatial scatter of affected areas. Also we try to describe the most basic hailstorm - affecting factors with the analysis of frequency of distribution in individual countries. By these factors (geographical latitude, height above sea level, influence of topography and atmospheric circulation) we try to clarify the affecting reason of genesis and power of hailstorm.

Key words: hailstorm, hailstone, detection of hailstorm, climatology, factors

OBSAH

1. Úvod	6
1.1 Cíle a struktura bakalářské práce	7
2. Metodika	7
3. Vlastnosti a vznik krup	8
3.1 Růst krup	9
3.2 Struktura a tvar krup	10
3.3 Podmínky vzniku	11
3.4 Extrémní kroupy	11
4. Detekce krupobití	13
4.1 Detekce krupobití pomocí pozorování člověkem	13
4.2 Detekce pomocí meteorologických radiolokátorů	15
4.2.1 Radar s lineární polarizací	15
4.2.2 Duální polarizační radar	17
5. Klimatologie krupobití	19
5.1 Globální klimatologie	19
5.2 Klimatologie vybraných států	22
5.2.1 Klimatologie výskytu krupobití v USA	22
5.2.2 Klimatologie výskytu krupobití v Argentině	25
5.2.3 Klimatologie výskytu krupobití ve Francii	30
5.2.4 Klimatologie výskytu krupobití v Číně	32
5.2.5 Klimatologie výskytu krupobití ve Velké Británii	36
5.3 Faktory ovlivňující krupobití	40
6. Diskuse	43
7. Závěr	46
8. Seznam použité literatury	47

1. Úvod

S rozvojem vědy a informačních technologií se v poslední době stávají velkým tématem změny klimatu spojené s extrémními projevy počasí. Krupobití, jakožto jev s velmi impozantním vizuálním jevem, se řadí mezi tyto extrémní projevy. Ovšem není tomu tak jen z hlediska již zmíněných projevů. Krupobití může mít opravdu velmi ničivé následky, ve výjimečných případech i ztráty na životech. Kroupy jsou vytvářeny v silných bouřkových oblacích se silnými vzestupnými proudy (updrafts), které mají dostatek síly, aby se v nich dokázaly vytvořit kroupy o takové velikosti, aby cestou k povrchu neroztály. Krupobití se může vyskytnout na většině území Země, pokud jsou splněny podmínky pro pravděpodobný vznik krup. V České republice se krupobití vyskytuje poměrně vzácně, silné krupobití ještě méně často. Probíhající krupobití se projevuje jen na malém území, kde z bouřkového útvaru kroupy vypadnou.

Jelikož je velmi těžké určit, kdy kroupy z oblaku vypadnou, je prakticky nemožné vytvořit přesnou předpověď. V minulosti byla jakákoliv předpověď krupobití nemožná. Jednalo se prakticky jen o sběr dat z již proběhlých krupobití pomocí pozorování obyvatel a zjištění škod na majetku a přírodě. S rozmachem vědy a technologií nastal zlom v detekci krupobití. Pomocí moderních technologií již umíme předpovědět krupobití, jedná se však stále jen o určení pravděpodobnosti výskytu a ne o přesnou předpověď pro konkrétní území.

Velikost kup není stejná, závisí na síle vzestupných proudů uvnitř bouřkových útvarů. Kroupami označujeme ledové útvary s velikostí nad 5 mm. Průměrná velikost se pohybuje v rozmezí od 5 mm do 5 cm. V historických materiálech lze nalézt mnoho zpráv popisující extrémně velké krupobití, ovšem většinou se jedná o nedůvěryhodné zdroje. Škody, které způsobuje krupobití, jsou obrovské. I přes to, že je krupobití lokálním jevem, způsobuje velké škody na majetku. Ztráty na životech se vyskytují velmi výjimečně a většinou pouze v odlehlých oblastech (např. severní Indie). Největší škody způsobené krupobitím jsou v zemědělství. Kroupy ničí plodiny a tak jsou obrovské ztráty na úrodě. V USA jsou škody v zemědělství hlavním důvodem pro monitoring a vyhodnocování rizik vyplývajících z krupobití. Hlavním důvodem pro

vytváření studií a analýz krupobití ve světě se tak stalo zemědělství. V poslední době se také velký počet analýz vypracovává na objednávku firem zabývajících se pojišťovnictvím. Stejně jako u povodní se pojišťovny snaží určit míru nebezpečí pro daná místa a podle toho nastavovat pojistné částky. V neposlední řadě se snaží o monitoring různé meteorologické služby a jednotlivé státy.

1.1 Cíle a struktura práce

Jelikož je monitoring krupobití spíše otázkou zkoumání jen vybraného území, snaží se tato práce vytvořit globální přehled o klimatologii krupobití pomocí shrnutí výsledků prezentovaných ve studiích vytvořených pro mnou vybrané státy a organizace. Cílem bakalářské práce je také odvození faktorů ovlivňujících vznik a sílu krupobití na základě dat z již výše zmíněných studií a vyvolání diskuse o zvýšení zájmů o studii krupobití.

Bakalářská práce je dělena do tří hlavních kapitol. V kapitole 3 se zabývá obecným vznikem a tvarem krup. V kapitole jsou také zmíněné a popsány doposud největší zaznamenané kroupy. Kapitola 4 se zabývá nastíněním doposud známých a nejpoužívanějších metod a způsobů detekce krupobití. V nejobsáhlejší kapitole 5 se pak věnuje nejprve obecnému nastíněním klimatologie krupobití ve světě, poté nastíněním ročního chodu četnosti krupobití v jednotlivých vybraných státech a v podkapitole 5.3 udává faktory, které ovlivňují vznik krupobití pomocí analýzy rozložení četnosti krupobití v jednotlivých zpracovaných státech.

2. Metodika

V této práci je pracováno s odbornými texty povětšinou z odborných publikací. Formou rešeršní práce se vyzdvihují závěry těchto prací. Jednotlivé zdroje používají různé výchozí data a metody pro zpracování již zmíněných výsledků.

3. Vlastnosti a vznik krup

Slovem kroupy označujeme kulovité, kuželovité nebo nepravidelné kusy ledu, které mají zároveň průměr větší než 5 mm (obr. 1). Vytvářejí se ve vertikálně mohutných konvekčních bouřích, jejichž část je nad hladinou mrznutí a kde se také vyskytuje dostatečná zásoba přechlazené vody. Vytvářejí se namrzáním vodních částic na ledovém zárodku. „Kroupy jsou kousky ledu kulatého nebo nepravidelného tvaru, o průměru 5 až 50 mm, nebo i větším. Jsou buď matné nebo průsvitné, nebo jsou složeny ze střídavě čirých a kalných vrstev ledu. Při pádu se někdy roztříští a tak vznikají ostré hrany. Jsou příznačným průvodním zjevem silných bouřek“ (Hrubeš, Kocourek, 1955, str. 98).



Obr. 1: Kroupy vyfocené 15. 4. 1999 v USA. (zdroj:: <http://www.erh.noaa.gov>)

3.1 Růst krup

První stádium pro vznik krup je vývoj ledových zárodků. Tyto zárodky mají jen několik milimetrů a jsou viditelné při řezu kroupou. Drtivou většinu ledových zárodků vytvářejí krupky, které mají základ ledový krystal nebo zmrzlou kapku. Kroupa roste zachycováním přechlazených kapek a agregací krystalů na ledový zárodek. Dalším stádiem vzniku krup je stádium samotného růstu. Růst probíhá namrzáním vody, kterou kroupa zachytí (Řezáčová, 2007).

Pokud se podíváme na řez kroupou, můžeme rozeznat řadu vrstev s různou průzračností (obr. 2). Vrstvy, které se v odraženém světle jeví matně až bíle, vznikají při suchém růstu. Při tomto růstu díky tomu, že zachycené kapky zmrznou dříve, než dojde k zachycení další kapky, dochází ke vzniku ledové struktury, která obsahuje velké množství vzduchových bublin, což vyvolává matně bílé zbarvení. Při vlhkém růstu je rychlost zachycování vody vyšší než zamrznání vody na povrchu kroupy. Vzniká tedy jakási mokrá vrstva, která pokrývá celou kroupu. Voda na povrchu postupně zamrzá a tak nedochází ke vzniku vzduchových bublin. Jelikož se ve struktuře nenacházejí vzduchové bubliny, v odraženém světle je led průhledný. Při růstu padající kroupy ve vlhkém režimu může docházet k tomu, že je část zachycené vody odstříknuta, nebo dojde k nepravidelnému namrzání a vzniknou tzv. ledové výběžky. Tyto výběžky následně mohou ovlivnit pohyb kroupy (Řezáčová, 2007).



Obr. 2: Řez kroupou. (zdroj: <http://www.grotonweather.com/severe.php>)

3.2 Struktura a tvar krup

Krupobití se vyskytuje v různé síle a době trvání, obvykle se jedná o časově velmi krátký jev. Struktura a tvar obvykle závisí na síle vzestupného proudu (updraftu) při němž se kroupa formuje. Obecně se dá tvrdit, že tvar a objem krup je velmi rozdílný. Dokonce se nezdá, že objevuje velká rozdílnost mezi jednotlivými kroupami vypadnuvšími za stejného krupobití. Často se objevuje silně nepravidelný tvar u velkých krup. Oproti tomu menší kroupy jsou kulatější. Proč tomu tak je, není zcela jasné. Důvody mohou být v silnějším proudění uvnitř bouřkového útvaru, větší teplotní amplitudě, následkem tření a kolizí, rozdílném obsahu vlhkosti v bouřkovém útvaru a následkem vyšší váhy a tudíž větší deformaci kroupy při dopadu na překážku (zemský povrch, střecha atd.). Kroupy se objevují v mnoha formách: kulaté, oválné, pytlíkové nebo extrémně nepravidelné.

Kroupy mohou obsahovat kromě ledu také vodu a vzduch (vzduchové bubliny). Kroupa má obvykle vrstevnatou strukturu. Průhlednost je závislá na obsahu vzduchu. Pokud led namrzá rychle, zůstávají viditelné bublinky vzduchu, ovšem pokud led namrzá pomaleji namrzáním větších přechlazených kapek, tvoří se průhledné vrstvy ledu. Nevyskytují se pouze kulovité a kuželovité tvary krup, ale také různé elipsoidy, nepravidelné tvary s různými výběžky, laloky a také pravidelné krystaly (List, 1985).

3.3 Podmínky vzniku

Jako hlavní podmínku lze označit dostatečně dlouhé setrvání ledové částice v oblacích bohatých na přechlazenou vodu a s teplotou, která je pod 0°C. Jelikož je proces vytváření krup velmi složitý, existuje mnoho teorií růstu a formování krup.

Jak šel čas, preferovali se různé teorie. V minulosti se považovala za správnou teorie mnohonásobného unášení vzestupným a sestupným proudem, dokud nedosáhla kroupa kritickou hmotnost a nevypadla z oblaku (Řezáčová, 2007). Ovšem kroupy mohou pomalu klesat vzduchem, který je bohatý na vodu. Z ledových částic, nalézající se v jádru výstupního proudu se obvykle nevytváří kroupy, protože silný vzestupný proud je odnese do kovádliny. Kroupy, které vstoupí do bočních částí vzestupného proudu, jsou díky pomalejšímu růstu vypadnušími, avšak poté znovu unesené do výšky vzestupným proudem. Velké kroupy vznikají nejvíce v supercelách.

Velmi důležitá je hladina s nulovou teplotou. Měla by být okolo 2200 – 2800 m. Pokud je tato hladina moc nízko, znamená to, že chladnější vzduch při povrchu znemožní vytvoření silného vzestupného proudu. Naopak pokud je moc vysoko, kroupy, které vypadnou z oblaku cestou k povrchu, tají, a tudíž se na povrchu neobjeví krupobití.

3.4 Extrémní kroupy

Talman (1936) popisuje extrémně velké krupobití v Německu v roce 1925. Tehdy byla zachycena kroupa o velikosti 26 cm x 14 cm x 12 cm s hmotností, předpokládanou podle rozměrů, 2,06 kg. Tento popis se uvádí jako první důvěryhodná informace o výskytu extrémně velkého krupobití. Velké kroupy, na rozdíl od průměrných, mají nepravidelný a členitý tvar (obr. 3). Oficiálně největší kroupa byla zaznamenána 3. září 1970 ve městě Coffeyville, které se nalézá v Kansasu v USA. Měla hmotnost 766 g a obvod 44 cm (Roos, 1972). Tento rekord je uznáván jako největší spadlá kroupa, avšak například ve francouzské obci St. Julien-les Villas spadl 8. července 1984 kus ledu o hmotnosti kolem 10 kg, nicméně nepodařilo se prokázat, že šlo skutečně o kroupu.



Obr. 3: Velká kroupa spadlá v Kansasu. 3. září 1970. Průměr 14,4 cm, váha 0,75 kg
(zdroj NOAA Photo Library)

4. Detekce krupobití

Detekce krupobití se provádí pomocí meteorologických radiolokátorů a různých zdrojů vycházejících z lidského pozorování. U metod používajících meteorologických radiolokátorů se jedná o dálkovou detekci, kdy se pomocí určených mezních hodnot odrazivosti detekují kroupy a pomocí dlouhodobého sledování se na základě těchto údajů dají odvodit místa se zvýšenou četností krupobití. Nejprve se naměří odrazivost, z které se určí odvozené veličiny, ke kterým se vezmou v potaz podmínky v atmosféře, a vznikne pravděpodobnost výskytu krupobití. Radiolokátory využívající tuto metodu se však potýkají s problémem rozeznání krupobití od intenzivních dešťových srážek. Jednotlivé metody, uvedené níže, se snaží tento problém vyřešit různými způsoby, ale i ty nejsou stoprocentní.

V poslední době se díky obrovskému rozmachu vědy a techniky vyvíjí stále nové způsoby detekce pomocí meteorologických radiolokátorů. Velkou výzvou do budoucna je vývoj takové technologie, která bude schopna krupobití předpovědět. Další možnosti, jak detekovat krupobití, jsou metody spojené s detekcí tohoto jevu na povrchu. Tyto metody se využívají spíše pro dlouhodobější sledování četnosti krupobití a jeho plošnému rozmístění. Hlavní výhodou je dlouhodobé sledování území a také nepoměrně menší náklady než u meteorologických radiolokátorů. V této kapitole uvádím mnou vybrané nejpoužívanější metody detekce.

4.1 Detekce krupobití pomocí pozorování člověkem

Povrchová detekce je spjata s nutnou činností člověka, ať už laika nebo odborníka. Jednotlivé metody, které uvedu níže, se velmi liší v přesnosti a v čase od kdy se dají získávat data o krupobití.

Data z meteorologických stanic:

Jedná se o data získaná pomocí profesionálních meteorologických stanic, na kterých je neustálá přítomnost odborníka, který zaznamenává neobvyklé jevy (např.: krupobití).

Pozorování obyvatel:

Data získaná z pozorování obyvatel je stále jedním z hlavních zdrojů informací. Velkým problémem je nerovnoměrná hustota obyvatel a tudíž zkreslené informace. Pokud si vezmeme oblast s velmi vysokou zástavbou a hustotou obyvatel, tak zde budou při menší síle krupobití mnohem větší škody na majetku, než v oblasti s téměř žádným zalidněním.

Pojistné události:

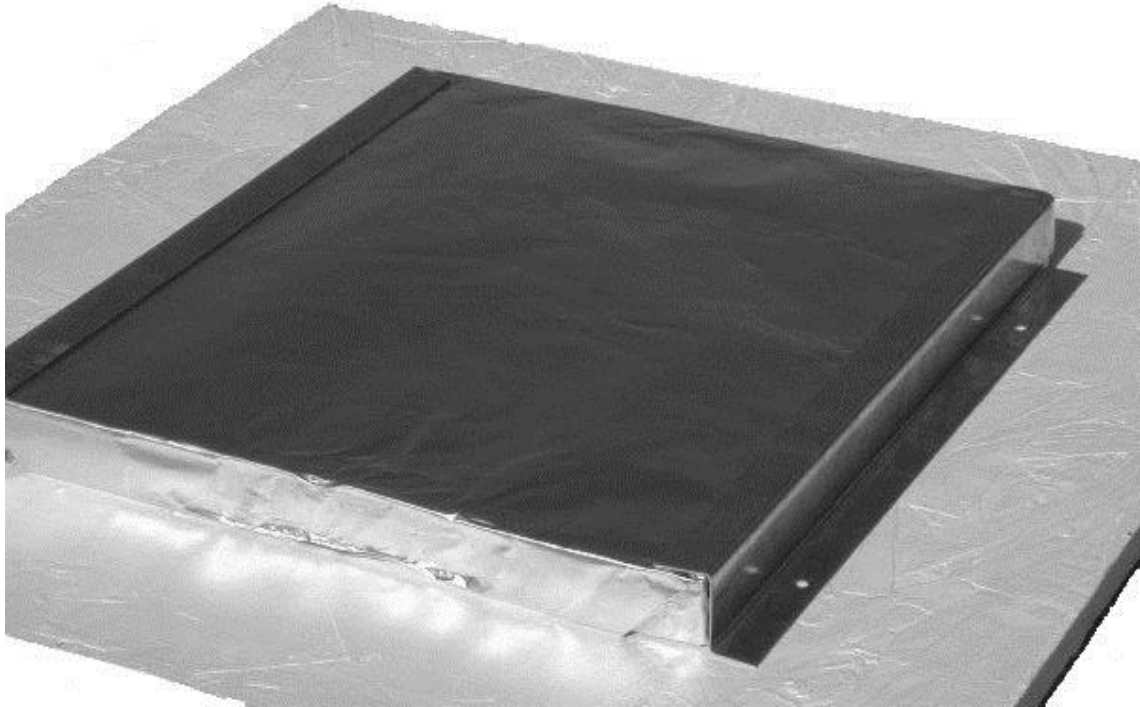
Jedná se o informace získané z archivů firem z oblasti pojišťovnictví. Samy pojišťovny mají zájem o zjištění rizika výskytu projevů počasí, které mají za následek škody na majetku a zdraví. V roce 2010, krupobití ze dne 15. srpna, způsobilo větší škody než povodně v témže roce na severní Moravě.

Data z médií:

Zde se jedná o data o síle a místu již proběhlého krupobití, která byla získána díky redaktorům. Jedná se o velmi lokalizovaná data, jelikož v minulosti, před rozvojem výpočetní techniky a způsobů rychlého přenosu dat, nebyla snadná dostupnost informací z jiných regionů a existovala většinou pouze regionální média.

Hailpads:

Tento způsob se považuje za nejpřesnější povrchovou detekci. Jelikož je velice náročné na obsluhu, není vhodné pro monitorování větších oblastí. Velmi využíváné je na jihozápadě Francie. Metoda byla vyvinuta organizací Nationale d'étude et de Lutte contre les Fléaux Atmosphériques (ANELFA) pro přesnější získání dat pro vytvoření obrazu o klimatologii v různých oblastech. Bylo rozmístěno několik stanic, kde se pomocí polystyrénové desky o rozměrech 42 x 30 cm a o tloušťce 2 cm měří krupobití (promáčknutí desky dopadem kroupy). Tato deska je znázorněna na (obr. 4). Po proběhlém krupobití zapíše dobrovolník datum a hodinu události a data poskytne pro ANELFA. S postupem času se počet těchto stanic stále navyšuje.



Obr. 4 : Měřicí deska pro metodu Hailpad. (zdroj <http://weatherglossary.owlinc.org>)

4.2 Detekce pomocí meteorologických radiolokátorů

V této části kapitoly se věnuji detekci pomocí vybraných metod používajících meteorologické radiolokátory.

4.2.2 Radar s lineární polarizací

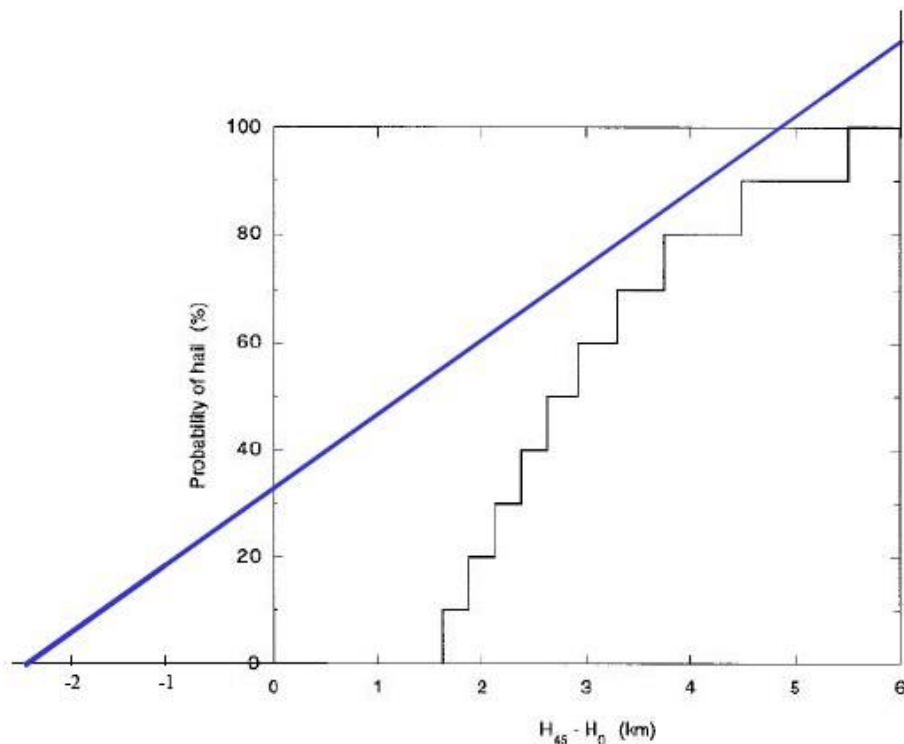
Existuje mnoho metod, které využívají radar s lineární polarizací. Dnes nejpoužívanějšími metodami jsou Waldvogelova metoda a VIL metoda

Waldvogelova metoda

Tato metoda je využívána v řadě zemí jako například: Nizozemí, Česká republika, Slovinsko, Německo či Rakousko. Základy jsou soubory kritérií, které používal Sovětský svaz na ovlivňování počasí pomocí zásahů do oblaků (Holleman, 2001).

Jedná se o měření odrazivosti a následná analýza pomocí určených kritérií a podmínek v atmosféře. Konkrétně na základě pozorování nulové izotermy (H_0) a horní hranice 45dBz odrazivosti (H_{45}) (obr. 5). Pokud je rozdíl mezi H_{45} a H_0 alespoň 1,4

km, pak se s vysokou pravděpodobností jedná o krupobití a ne o déšť. Jestliže vzdálenost mezi hladinami odrazivosti H45 a H0 roste, pak můžeme říci, že roste pravděpodobnost výskytu krupobití.



Obr. 5: Závislost pravděpodobnosti výskytu krup od rozdílu výšky hladiny 45 dBz H45 a nulové izotermy H0. Schodovitá funkce podle Witt et al. 1998; lineární závislost odvozena Hollemanem, 2001. (zdroj: Delobbe et al., 2003)

VIL metoda

Vertikálně integrovaný vodní obsah (VIL) je nelineární funkce odrazivosti převádějící údaje o radarové odrazivosti pro ekvivalent vodního obsahu na základě teoretických studií rozdělení velikosti kapek empirických studií odrazivosti a vodního obsahu (Amburn a Wolf, 1997). VIL ve skutečnosti udává množství potenciálního srážkového objemu na 1 metr čtvereční plochy povrchu.

Pro každý den se stanovuje hodnota kritické úrovně VIL. Hlavní důvod pro stanovení kritické hodnoty pro každý den je, že v různé teplotě vznikají silné bouřky a krupobití v různé hustotě. Ve studené vzduchové hmotě může být kritická hodnota VIL už při úrovních okolo 25 - 35 kg/m². Ovšem pokud kritickou hodnotu ve studené vzduchové hmotě srovnáme s tou v teplé vzduchové hmotě, vyjde nám poměrně velký rozdíl, protože v teplé vzduchové hmotě se kritická úroveň může dostat až nad 60 kg/

m². Stanovení kritické úrovně je různé a zohledňují se různé parametry (např.: teplota v hladinách 400 hPa a 500 hPa) (Kitzmilller, 1993).

SWP algoritmus

Tento algoritmus byl vyvinutý pro Spojené státy. Hlavním úkolem je detekce počasí s ničivými účinky, jako jsou tornáda nebo velmi silný vítr. SWP algoritmus (Severe Weather Potential algorithm) lze však využít také pro detekci krup s velikostí nad 1,9 cm. Pravděpodobnost výskytu jako výsledek regrese je funkcí maximální VIL v bouřkové buňce a horizontálních rozsahů oblastí, v nichž VIL přesahuje určité hodnoty (10,15, 20, 25 kg/m²) (Kitzmilller et al., 1995).

Auerova metoda

Jedná se o kombinaci dat meteorologického radiolokátoru a geostacionární družice. Auerova metoda pracuje s odrazivostí v nízkých hladinách a s teplotou v horní části oblaků pro odlišení bouří obsahující kroupy od bouří se silným deštěm.

Detekce dvěma vlnovými délkami

Radiolokační odrazivost kulatých krup o průměru 1 - 4 cm je při paprsku s vlnovou délkou 10 cm větší než u 3 cm vlnách. Díky tomu lze kroupy odlišit od dešťových kapek, u kterých jsou odrazivosti prakticky stejné. (Jameson a Srivastava, 1978).

4.2.2 Duální polarizační radar

Výhodou této metody detekce je fakt, že pomocí duálního polarizačního radaru můžeme měřit nejen odrazivost, ale i horizontální (Z_h) a vertikální (Z_v) polarizační složky, díky čemuž dokážeme určit tvar měřené částice.

Pokud srovnáme zobrazení krup a dešťových kapek pomocí tohoto radaru, je patrný rozdíl ve tvaru v jakém se nám zobrazují. Kroupy mají sférický tvar a odrážejí vlnu do všech stran přibližně stejně, a tudíž duální polarizační radar detekuje přibližně stejnou vertikální a horizontální výšku. Pro potřebu odlišení krup od dešťových kapek se udává diferenciální odrazivost:

$$Z_{dr} = 10 \cdot \log\left(\frac{Z_h}{Z_v}\right)$$

(zdroj: Holleman, 2001)

V případě výskytu krup je Zdr velmi blízké nule a Zh má zároveň vysokou hodnotu, naopak pokud jsou detekovány dešťové kapky je Zdr kladné (Holleman. 2001).

5. Klimatologie krupobití

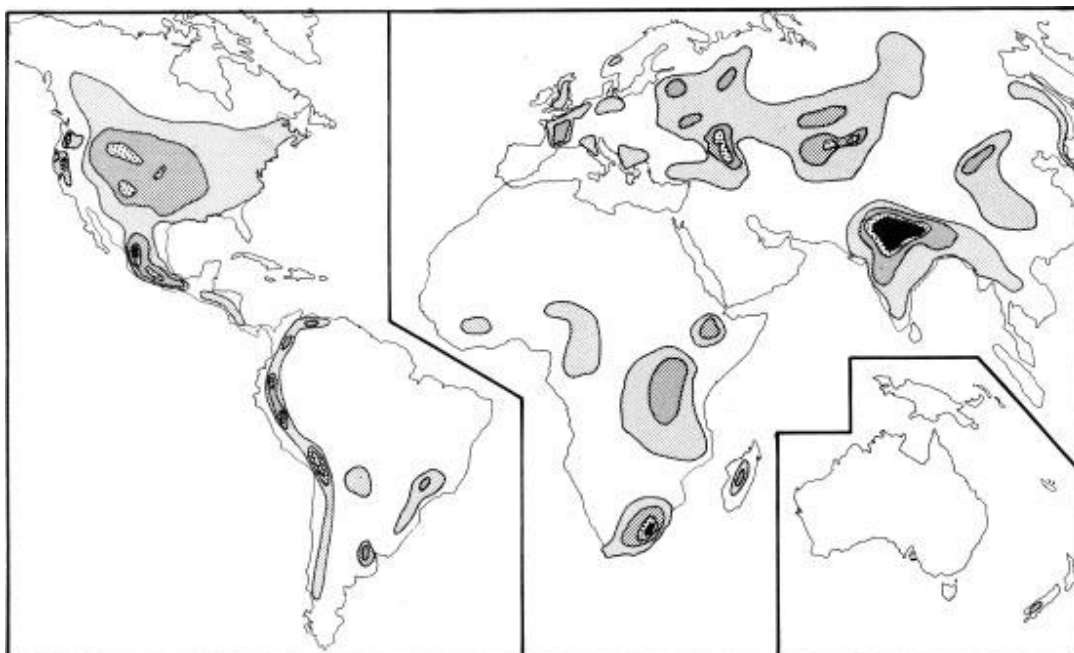
5.1 Globální klimatologie

Extrémní projevy počasí se objevují po celém světě. Pokud se podíváme konkrétně na krupobití, je téměř pravidlem, že se objevuje v oblastech, kde se objevují velmi silné bouřkové útvary. Pokud se podíváme na frekvenci výskytu a síly krupobití můžeme říci, že mnohem častěji se krupobití objevuje v kontinentálním klimatu ve středních zeměpisných šířkách a to hlavně, když se zároveň pohybuje hranice nulové teploty ve výšce pod 4 000 metrů.

Jestliže se suchý vzduch dostává do bouřkového útvaru nad kontinentálními oblastmi, pak se zvyšuje frekvence výskytu krupobití, jelikož se snižuje výška mrznoucí hranice a tím vzniká větší vertikální mohutnost oblaku potřebná pro větší růst krup. Díky této podmínce je frekvence krupobití v tropech menší, nežli ve středních zeměpisných šířkách. Neznamena to, že by se kroupy v tropech vůbec nevyskytovali, pouze jsou méně časté. I zde jsou však oblasti, kde bychom mohli nalézt velmi časté a také velmi silné krupobití. Jsou to zejména oblasti s vyšší nadmořskou výškou.

Dalšími oblastmi s častým výskytem jsou pohoří, které vytvářejí velmi dobré podmínky pro vznik krupobití díky orografickému nadzdvihnutí a zesílení vertikálních proudů. (Pokecal, 2009). Typickou oblastí je severní Indie a Bangladéš (Frisby a Sanson, 2007). Zde se nalézá oblast s nejvyšší frekvencí krupobití na světě, kde jsou pozorovány i jedny z největších krup. Jelikož tato část Indie a Bangladéše je velmi zaostalá, je zde i nejvíce hlášených úmrtí kvůli tomuto jevu.

Na (obr. 6) můžeme pozorovat mapu průměrné frekvence krupobití za rok, kterou vytvořil Court and Griffiths (1986). V Evropě nejpostiženější oblasti se nalézají v západní až střední Evropě. V těchto oblastech se krupobití nejčastěji objevuje v Německu, Francii a ve Švýcarsku. Hand a Cappelluti (2011) udává jako příklad Bádensko – Würtensbersko na jihozápadě Německa, kde se udává, že 40 % škod na budovách způsobených v důsledku přírodních katastrof je způsobeno krupobitím. V Evropě stojí za zmínku také Chorvatsko a Srbsko.



Obr. 6: Mapa světa znázorňující průměrnou roční četnost krupobití. Nejtmaší barva znázorňuje oblasti s četností nad 9 dnů, nejsvětlejší 1 den. (zdroj: Court and Griffiths, 1986)

Nejfrekventovanější oblastí na světě je oblast severní Indie a Bangladéše. V Indii registrujeme nejtragičtější krupobití v historii, kdy 30. dubna 1888, při extrémně silném krupobití, přišlo o život přes 230 lidí a tisíce hospodářských zvířat. Severně od této oblasti se rozkládá území Tibetu a Číny. Zde již tento jev nemá tak vysokou hodnotu četnosti jako v severní Indii a Bangladéši, nicméně jedná se o jedno z nejvíce postižených území. Objevuje se však problém s velmi malou hustotou obyvatel, a tím pádem ve spolehlivosti údajů. V Africe je nejvýznamnější oblastí severovýchod Jihoafrické republiky, oblast Etiopské vysočiny a ostrov Madagaskar. Zde jsou obrovské rozdíly ve výsledcích rozdílných metod, je to dáno hlavně velmi malou hustotou obyvatel a nízkou sítí meteorologických stanic.

Velkým problémem se ukazuje fakt, že pozorování krupobití jsou omezená. Kvůli tomu také v současné době neexistuje ucelený atlas přímého pozorování, který by ukazoval globální pohled na výskyt krupobití. V dnešní době se spíše klade důraz na to, že jednotlivé země se snaží určit frekvenci a síly krupobití na svém území. I zde se však objevuje problém, jelikož jde o lokalizovaný jev, kde informace musí být z různých zdrojů a zároveň z pozorování populací. Výsledné mapy jsou tak často zkreslené díky různé hustotě obyvatel a tudíž zkreslenému pozorování. Krupobití je lokální jev, který

se velmi špatně dokumentuje, a tedy je velký problém s následnou spolehlivou statistickou analýzou větší oblasti (Schuster et al., 2005).

Velkým problémem pro vytvoření uceleného atlasu je také to, že jednotlivé studie v jednotlivých zemích používají různé metody k výslednému obrazu o frekvenci výskytu krupobití na daném území. Poté vzniká problém s ucelením více studií do jedné zprávy. Velmi často se používá pojem „den s krupobitím“ (Hail Day). Tento pojem znamená, že krupobití bylo zaznamenáno v průběhu jednoho dne. Mnoho událostí není detekováno, jelikož jsou velmi slabé a tak nejsou zpozorovány. Velmi důležité je mít co nejpočetnější síť meteorologických stanic, čím více stanic pro dané území je schopno detekovat krupobití, tím je výsledek přesnější.

V posledních dvou až třech desetiletích dochází k nárůstu škod způsobených tímto jevem. Řada studií a prací potvrzuje tuto teorii, například Schiesser (2003) zaznamenal značný nárůst krupobití v Evropě mezi lety 1980 až 1994. Ve Francii narostly škody v letech 1989 až 2009 až o 70 %, přičemž četnost zůstala nezměněná (Berthet et al., 2011). Cao (2008) zdokumentoval zvýšení frekvence silných ničivých krupobití. Z výše zmíněných údajů lze vyvodit trend v podobně nárůstu silných krupobití vyvolávajících velké škody na majetku, četnost však zůstává až na výjimky nezměněná.

5.2 Klimatologie vybraných států

5.2.1 Klimatologie výskytu krupobití v USA

Z hlediska sledování krupobití jsou USA velmi významnou zemí. Škody způsobené krupobitím jsou zde největší ze všech států světa (Hughes a Wood, 1993). Nebezpečí způsobená krupobitím nejsou jen z hlediska lidských životů (velmi zřídka) ale i na hospodářských zvířatech a zemědělských plodinách. V posledních sedmdesáti letech bylo způsobeno pouze 8 úmrtí tímto nebezpečným meteorologickým jevem. Právě kvůli zemědělství se v USA provádí řada studií a analýz rozložení a síly krupobití v zemědělských oblastech. V USA jsou zaznamenávány obrovské škody na automobilech. Pravděpodobně kvůli těmto škodám se do analýz pouštějí stále častěji i firmy z oblasti pojišťovnictví.

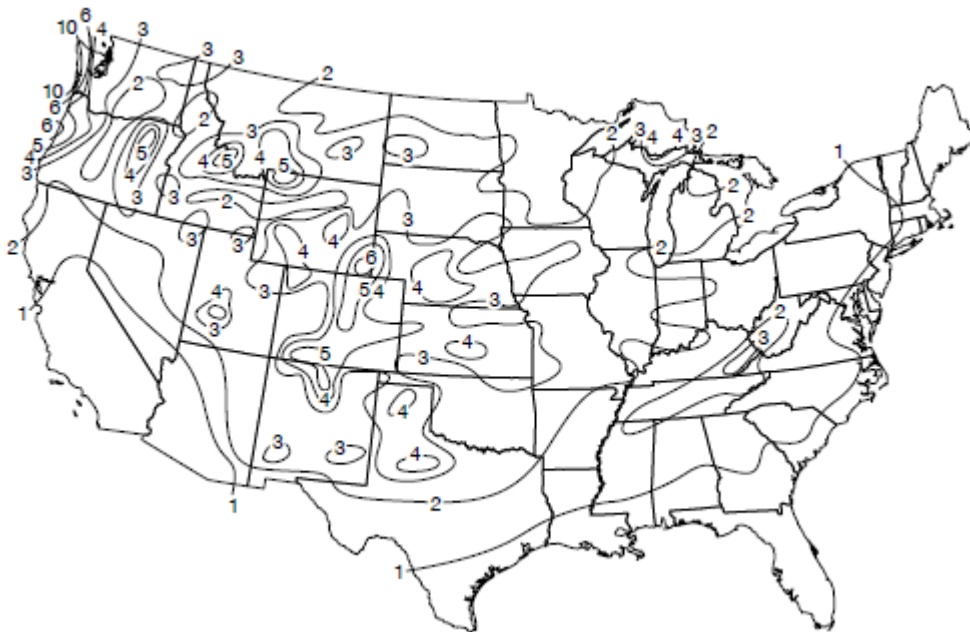
(Changnon, 2009) definoval klimatologii krupobití v USA s použitím údajů ze čtyř hlavních zdrojů. Nejdůležitějším a zároveň primárním zdrojem se staly data meteorologických stanic z National Weather Service od roku 1895. Poté byly použity data, které vychází ze záznamů nahlášených pojistných událostí v zemědělství a ekonomice spojených s krupobitím, od roku 1940 škody vyplývající z evidence majetku a v neposlední řadě data získaná z terénních studií zaměřených na krupobití v malých oblastech. Nejničivější krupobití bylo 13. až 14. dubna 2006. Škody se vyšplhaly na 1,8 miliardy \$. Tato velmi vysoká částka je dána vysokými škodami v metropolitní oblasti Chicaga, Indianapolis a Milwaukee. V těchto dnech se vytvořil velký počet krupobití v relativně malém regionu. Tato extrémní událost zasáhla nejvíce Illinois, Indianu, Iowu a Wisconsin.

Četnost krupobití na území USA

Spojené státy jako třetí největší země na světě má pochopitelně velkou variabilitu jak z hlediska celé země, tak i uvnitř jednotlivých států. Pro nastínění klimatologie krupobití v USA jsem použil výsledky zkoumání z (Changnon, 2009). Jako zdrojová data byla použita data o průměrné frekvenci krupobití za rok z NWS stanic po celých spojených státech. Bylo sledováno období od roku 1901 až 2006.

Po analýze výsledků a vytvoření mapy (obr. 7) lze rozeznat dvě oblasti, které, co se týče frekvence krupobití, dominují. Jedná se o Rocky Mountains a severozápadní pobřeží Tichého oceánu. Naopak oblasti s nejnižším průměrným výskytem nalezneme v jihozápadních a jihovýchodních regionech. Průměrná roční frekvence krupobití začíná na východním pobřeží a jihozápadních pouštích na hodnotě pod 1 krupobití za rok a dosahuje až hodnoty vyšší než 5 krupobití za rok v oblastech Colorada, Wyomingu a podél severozápadního pobřeží Pacifiku. Několik lokalit s velmi vysokou hodnotou frekvence se nachází v Rocky Mountains. Velké množství krupobití je důsledkem orografického efektu. Naopak na jihu a severně od Mexického zálivu je sice velká frekvence bouřek, avšak pod základnami mraků se nachází velmi teplý vzduch, který kroupy vypadlé z mraku rozpustí na dešťové kapky, a tak se zde krupobití vyskytují jen výjimečně. Nejnižší intenzita krupobití je na Floridě (jihovýchod USA) a v Arizoně a Kalifornii (jihozápad USA).

Velké kroupy, přesahující 5 cm v průměru, se objevují po celých Spojených státech, avšak nejčastěji se vyskytují v jihovýchodním Wyomingu (jednou za pět let), nejméně často v oblastech, kde je velmi nízká frekvence krupobití (průměrně jednou za 100 let). Krupobití, která způsobují velké škody na majetku a zemědělských plodinách, mají, co se týče četnosti, vzestupnou tendenci. Potvrzením tohoto trendu jsou dvě nejničivější krupobití v historii USA, ke kterým došlo od roku 2000.



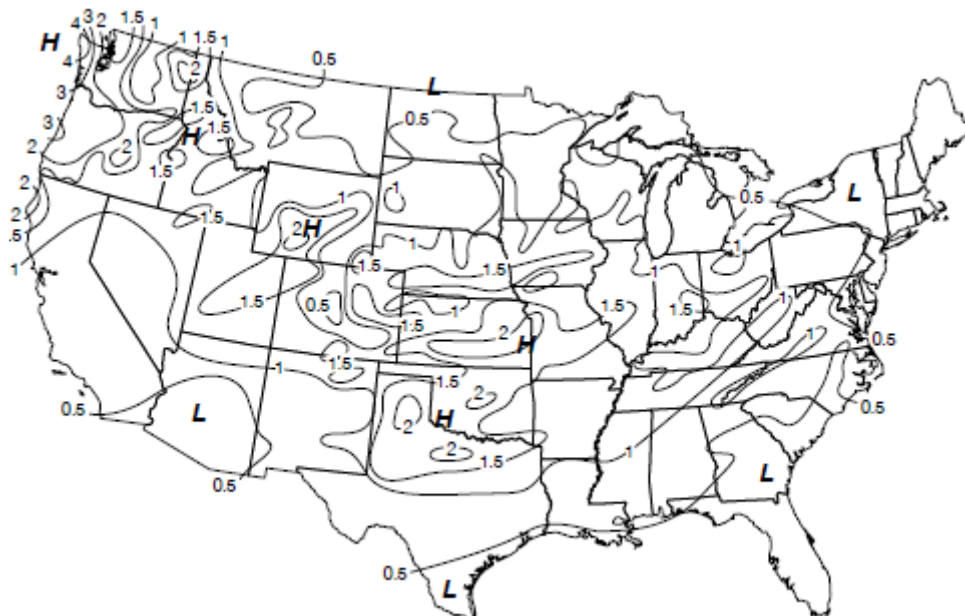
Obr. 7: Průměrná roční četnost krupobití v USA. (zdroj: Changnon, 2009)

Roční chod výskytu krupobití

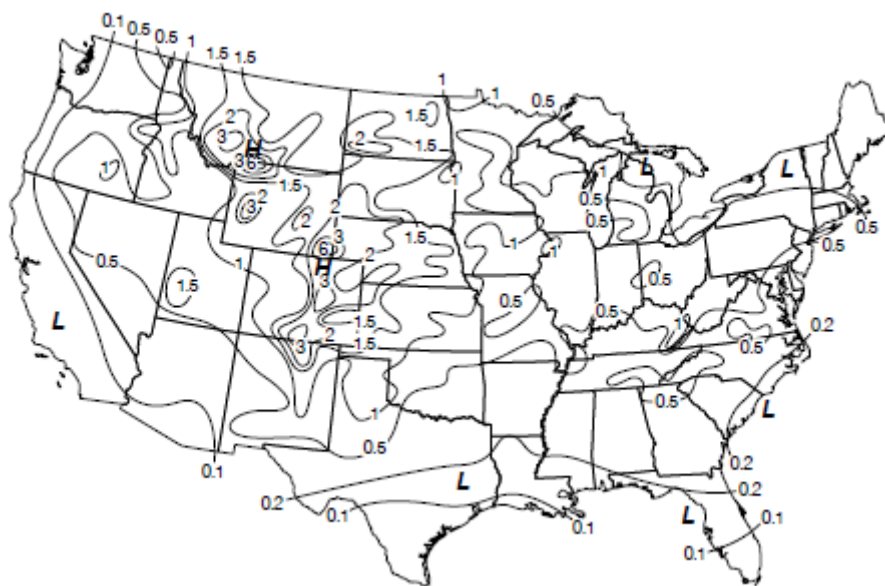
Četnost krupobití se v jednotlivých ročních obdobích mění stejně jako maxima výskytu podle geografického položení dané oblasti.

Průměrný roční výskyt krupobití za období 1901 až 2005 na jaře (březen – květen) je znázorněn na (obr. 8). V tomto období je maximální výskyt v pásu od východního Colorada přes středozápad a Rocky Mountain po severozápadní pobřeží Pacifiku. V létě, (obr. 9) od června do srpna, se maxima nacházejí v Rocky Mountains (od Montany po Nové Mexiko). V tomto období se krupobití vyskytuje často podél předního rozsahu těchto hor. Rocky Mountain svým tvarem směřují krupobití směrem na východ do Dakoty, Nebrasky a Kansasu.

V létě je nejfrekventovanější měsíc červen, poté červenec a nejméně častým měsícem je srpen. Na podzim (září až listopad) se již maxima objevují v jiných částech USA (pobřeží Tichého oceánu ve Washingtonu a Oregonu a v oblasti po větru od Velkých jezer). V horských oblastech se maxima objevují v létě, naopak například v oblastech u Velkých jezer se maximum objevuje až na podzim. Je to způsobeno vlivem vody v jezerech, která je po proběhnutém létě teplá a tím ohřívá vzduch, který posiluje bouře po větru od těchto jezer a tím způsobuje vyšší výskyt krupobití.



Obr. 8: Průměrný počet dnů s krupobitím na jaře (březen – květen). Hodnota 0,5 znamená, že krupobití je průměrně detekováno jednou za dva roky a hodnota 1,5 tři krupobití za dva roky. (zdroj: Changnon 2009)



Obr. 9: Průměrný počet dnů s krupobitím v letním období (červen – srpen). Hodnota 0,1 označuje jeden den s krupobitím za 10 let. (zdroj: Changnon 2009)

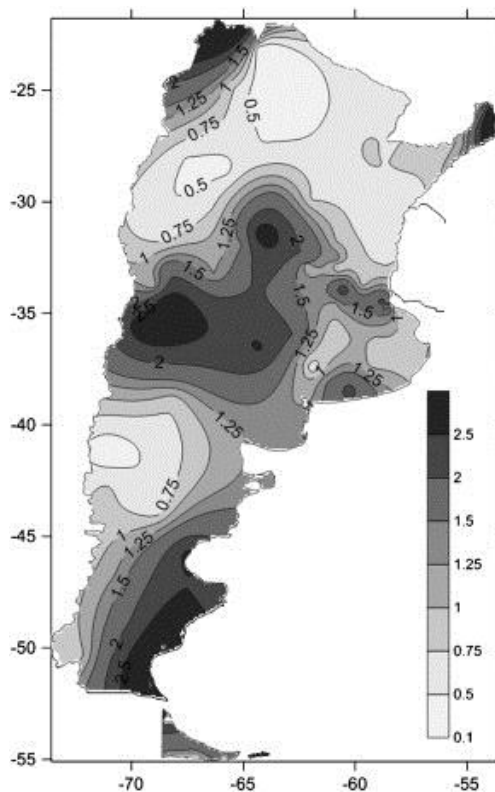
5.2.2 Klimatologie krupobití v Argentině

Jelikož je Argentina co se týče rozlohy poměrně rozsáhlou zemí (2 780 400 km²), má i velmi různorodé podnebí. Pokud se podíváme čistě na extrémní počasí projevující se krupobitím, dříve se objevovaly studie, které měli jen regionální charakter. Oblast, které byla věnována extrémní pozornost, je oblast Mendoza, která se nachází na středozápadě Argentiny. O celkový pohled na klimatologii výskytu krupobití na celém území Argentiny se snaží až (Mezher, 2012). Problémem pro tuto studii se stal nedostatek spolehlivých informací a dat o velikosti a výskytu krup, výjimkou byly jen oblasti Mendoza a Rio Negro. V oblasti Rio Negro, která se nachází v severní Patagonii, jsou spolehlivé informace pouze za posledních několik let. Jako výchozí údaje byly použity data z meteorologických stanic Service National Meteorologic a klimatických stanic z Národního ústavu zemědělské techniky v letech 1908 – 2008.

Četnost krupobití na území Argentiny

Na (obr. 10) lze vidět prostorové rozlišení rozmístění průměrné roční četnosti krupobití v Argentině v období 1960 – 2008. V Argentině existují dvě oblasti, které, co se týče frekvence výskytu krupobití, dominují. Jedná se o provincii Mendoza a jihovýchodní oblast Patagonie.

V provincii Mendoza je největší průměrný výskyt krupobití ročně v její jižní části s průměrnou hodnotou 3,2. V pořadí druhé a třetí místo, co se týče frekvence, v této provincii se nalézá u města Córdoba (2,9 krupobití za rok) a východně od Córdoba na Pilar (2,7 krupobití za rok). Západně od Córdoba na Pilar se nalézají oblasti Villa Dolores a San Luis s velmi vysokou frekvencí a to 1,4 respektive 1,2 krupobití za rok.



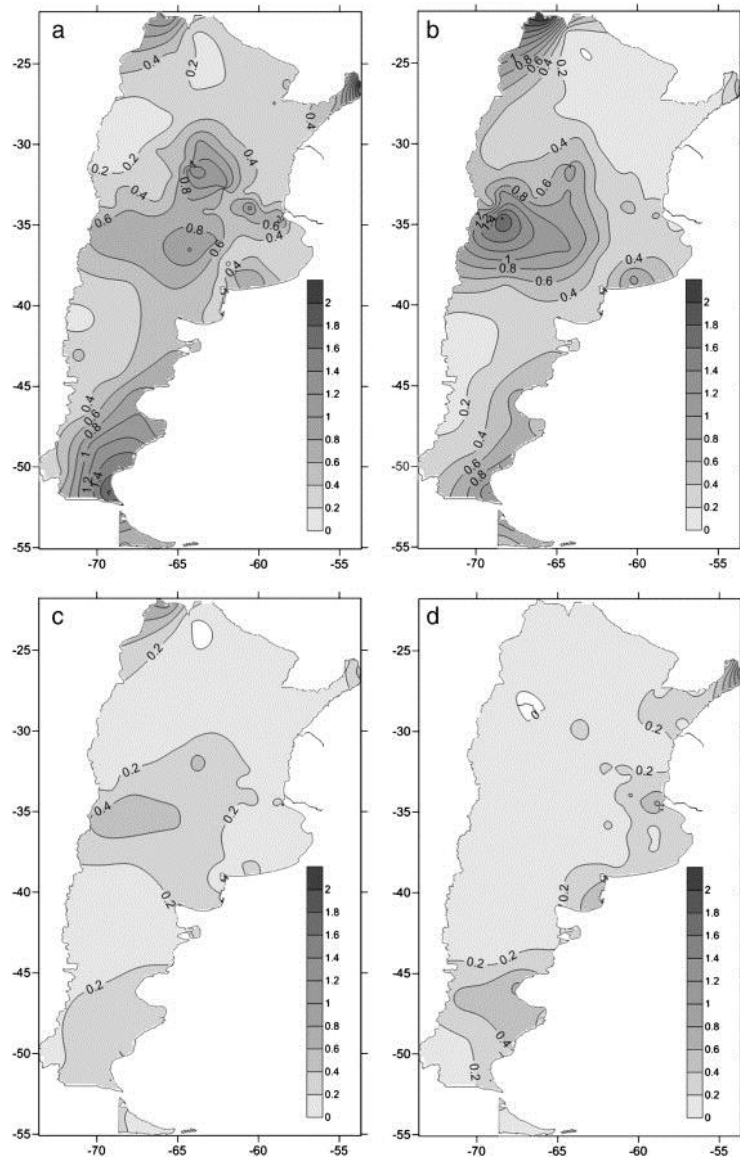
Obr. 10: Prostorové rozmístění průměrných ročních četností v Argentině v období 1906 – 2008
(zdroj: Mezher, 2012)

Pobřežní část jihovýchodní oblasti Patagonie má průměrnou hodnotu 3,6 krupobití za rok. Zde se frekvence snižuje směrem k pohoří Andy. I přes to, že oblasti výše zmíněné, co se týče četnosti krupobití, dominují, jedná se spíše o větší oblasti. Na severu Argentiny existují dvě stanice, jejichž hodnoty se naprosto vymykají zbytku země. V severozápadních Andách ve výšce 3459 m n. m. leží stanice La Quiane, kde byla zjištěna hodnota 4,5 krupobití za rok. Ovšem ani tato stanice není místo s nejvyšším výskytem krupobití. V provincii Misiones v severovýchodní Argentině je stanice Bernardo se Irigoyen (815 m n. m.), kde se zjistil nejvyšší průměr zaznamenaných krupobití v celé zemi za rok (4,8). Obecně se dá říci, že v nejčastěji se vyskytuje krupobití v horských a pobřežních oblastech v zeměpisném pásmu mezi 30° až 40° j.š..

Roční chod výskytu krupobití

V jednotlivých ročních obdobích je velká variabilita výskytu krupobití. V různých regionech nastává období s nejvyšší četností v odlišných ročních obdobích (obr. 11). Mezher (2012) rozdělila Argentinu na oblasti. Roční cyklus výskytu

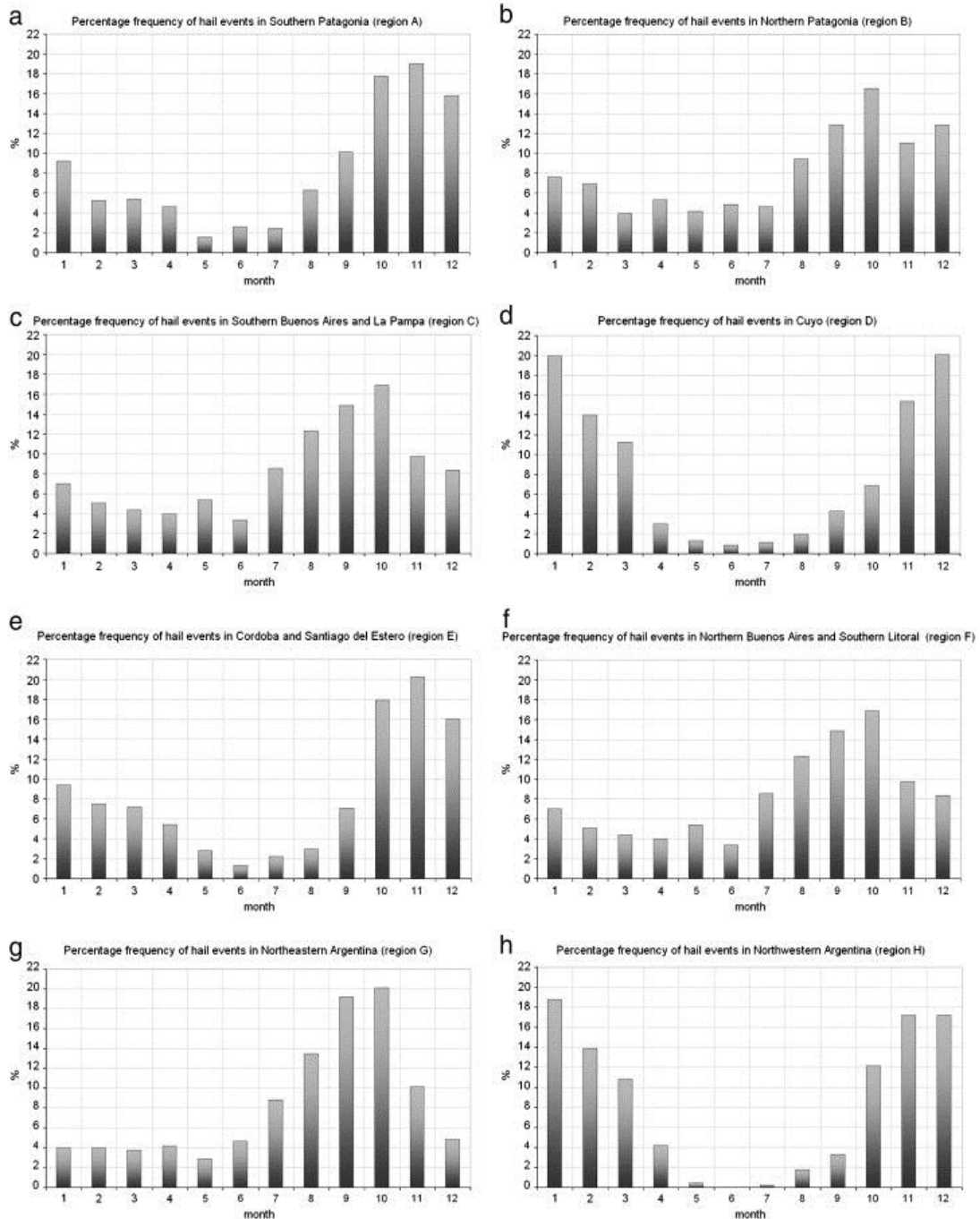
v jednotlivých oblastech lze vidět na (obr. 12). V západní Argentíně severně od 38° j.š. je nejvíce krupobití v létě a na jaře. V těchto dvou ročních obdobích se objevuje 80 až 90 % všech zaznamenaných krupobití v této oblasti. V Střední Argentíně je vrchol na jaře a v létě. Díky monzunovému typu podnebí je totiž v zimních a podzimních ročních obdobích minimum srážek, naopak konvekční srážky podpořené topografií v podhůří And zajišťují maximum na jaře a v létě.



Obr. 11: Průměrná četnost krupobití za rok v Argentíně: a) Jaro, b) léto, c) podzim, d) Zimní.
(zdroj: Mezher, 2012)

V Severovýchodní Argentíně jsou roční období s nejvyšším výskytem jaro a konec zimy tudíž srpna a září (obr. 12 c,f,g). Na jaře se vyskytuje 40 až 70 % všech krupobití na tomto území za rok, na jaře společně s létem 80 až 85 %. V zimě zaznamenáváme velké množství případů také ve východní části provincie Buenos Aires,

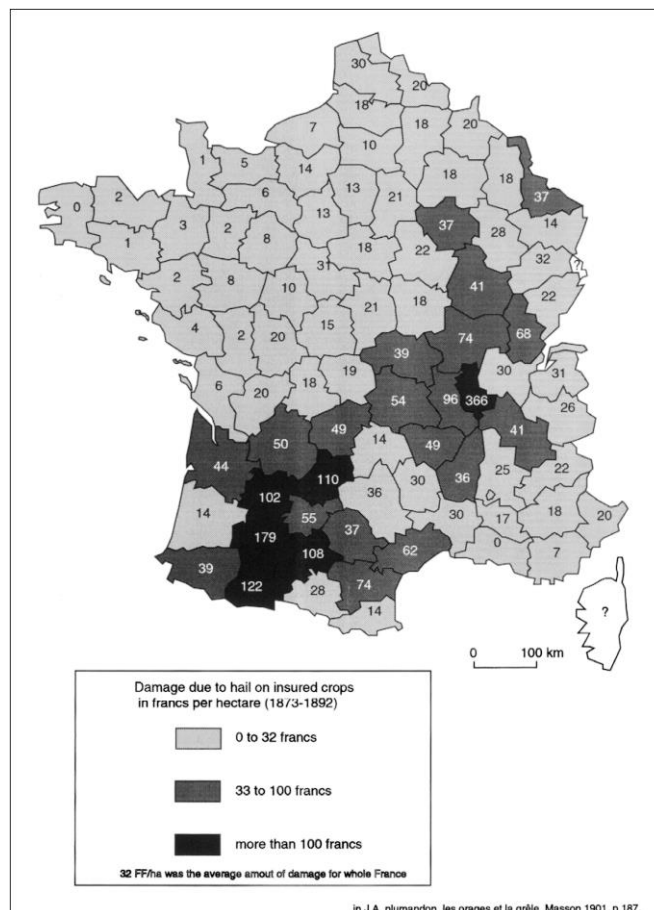
v Patagonii v blízkosti And a také v oblasti Litoral (Východní a severovýchodní oblasti). V těchto oblastech zvýšená frekvence začíná v červenci a vrcholí v říjnu (obr. 12 f,g). Centrální oblast má přechodný režim mezi oblastmi Litoral a západními, tudíž maximum v listopadu a minimum v létě (obr. 12 h).



Obr. 12: Procentuální četnost krupobití v jednotlivých měsících v různých oblastech Argentiny. a) jižní Patagonie, b) severní Patagonie, c) jižní Buenos Aires a La Pampa, d) Cuyo, e) ústřední Argentina, f) severní Buenos Aires a jižní Litoral, g) severovýchodní Argentina a h) severovýchodní Argentina (zdroj: Mezher, 2012)

5.2.3 Klimatologie krupobití ve Francii

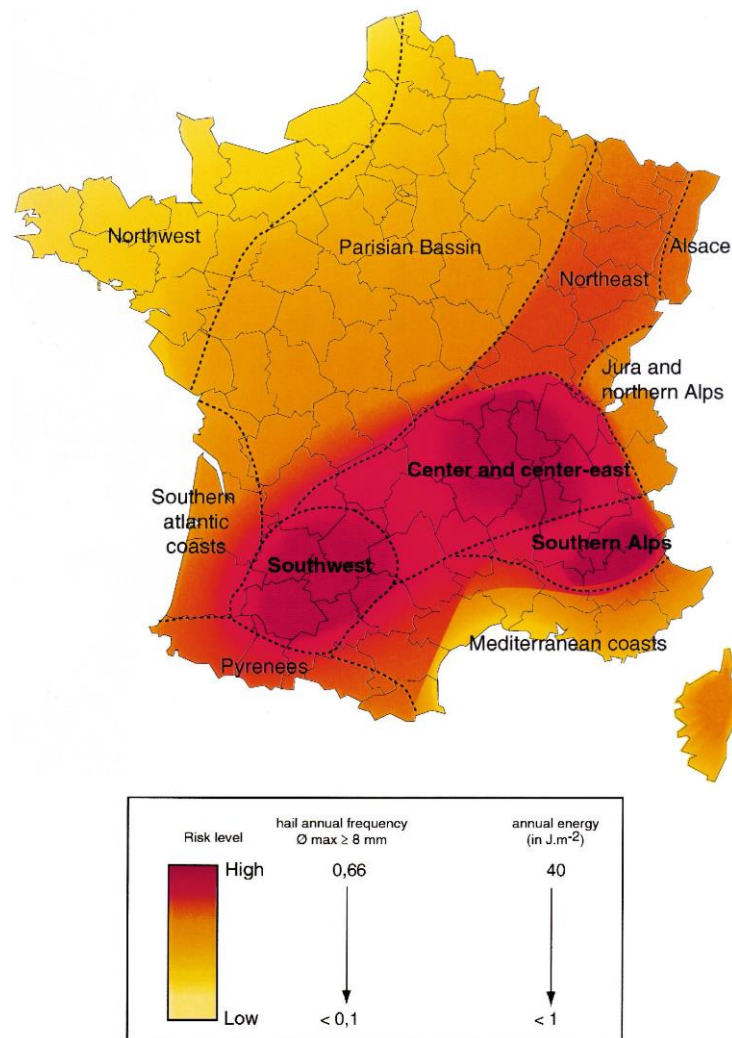
Ve Francii, státu kde je výskyt krupobití velmi významný pro zemědělství, byl zájem o zhodnocení rizika možného krupobití pro jednotlivé oblasti již od počátku moderní meteorologie. V posledních letech tento zájem ještě narůstá s trendem zvyšování frekvence extrémně ničivých krupobití a s tím spojených ztrát na majetku a plodinách. Pokusy o zpracování celkové klimatologie rozmístění výskytu tohoto nebezpečného jevu začali v roce 1901, kdy se pokusil vytvořit první mapu (Plumandon, 1901). Použity byly údaje o výskytu krupobití, získané hlavně z pozorování obyvatel, z let 1873 až 1892 (obr. 13).



Obr. 13: Krupobití ve Francii na konci devatenáctého století. (zdroj: Vinet, 2001)

Dnes je za nejzdařilejší a nejuznávanější považována mapa, kterou vytvořil Vinet (2001). Tato mapa mohla být vytvořena díky zlomu ve zdokumentování krupobití v roce 1987 kdy sdružení Nationale d'étude et de Lutte contre les Fléaux

Atmosphériques (ANELFA) vytvořilo metodu známou jako „hailpad“ (viz kap. 4.1). Vinet (2001) vytvořil novou, přesnější mapu územního rozložení krupobití ve Francii (obr. 14). Nejvyšší frekvence krupobití se objevují na jihu Francie. Výjimku tvoří pouze oblasti okolo Středozevního moře, kde frekvence výrazně klesá oproti zbytku jižní Francie. V oblastech jihozápadní Francie, středovýchodní Francie a na jih od Alp se krupobití vyskytuje nejčastěji. Od těchto oblastí směrem na sever a zejména na západ dochází k pozvolnému ubývání frekvence krupobití. Nejméně oblastí v celé Francii je oblast Brittany ležící na severozápadě. Vinet (2001) udává, že 1/3 z celkových zemědělských škod ve Francii je lokalizováno na jihozápadě, 1/3 v jihovýchodní a 1/3 je rozptýlena po celém zbytku Francie (největší část na jihu v Pařížské pánvi).



Obr. 14: Prostorové rozlišení rizika krupobití ve Francii. (zdroj: Vinet, 2001)

5.2.4 Klimatologie krupobití Čína

V Číně byla hlášena krupobití již v 19. století, avšak tehdy se ještě nijak nezdokumentovala, Prvními, kdo zdokumentovali krupobití v Číně, byli Liu a Tang (1966). Bylo použito 811 meteorologických pozorování, které byly zaznamenány mezi roky 1951 – 1960. V této analýze však byl problém s velmi krátkou datovou řadou, která měla pouze 10 let, u 40% stanic jen 7let. Zkoumána byla sezónní a roční frekvence krupobití. Na tuto práci navázal Xu (1983). Další snahy směřovali k zdokumentování krupobití v určitých oblastech Číny, např.: Yang a Ma (2003) popsal klimatologii krupobití v severní Číně. Jelikož je Čína velice rozlehlá a má rozmanitou topologii a krajinu bylo potřeba sjednotit regionální snahy o analýzu klimatologie krupobití s využitím všech dostupných pozorování. Toto bylo možné díky datům, které byly získány ze 753 meteorologických stanic, zveřejněným Národní meteorologickým informačním centrem (NMIC) a Národní meteorologickou správou (CMA)

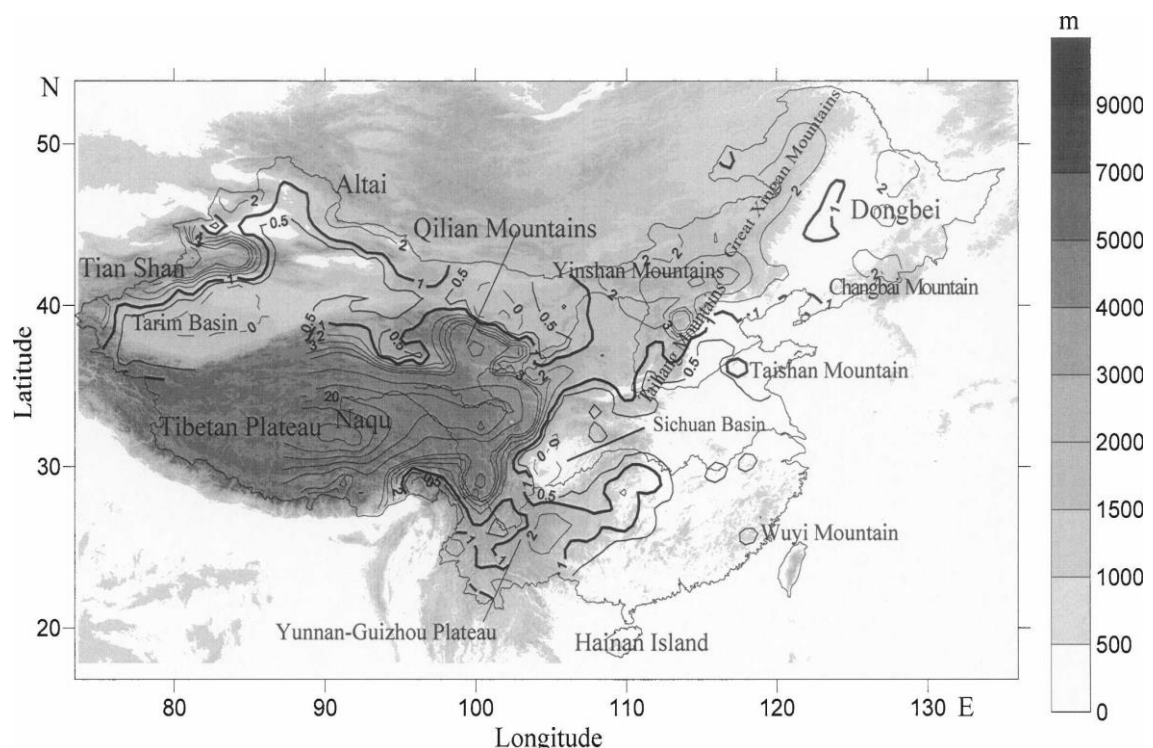
Četnost krupobití na území Číny

Na (obr. 15) lze pozorovat průměrnou roční frekvenci krupobití na celém území Číny. Liu a Tang (1966) prezentoval, že v celých Yinských horách (pohoří na jižním okraji pouště Gobi) a v jihovýchodní části Velkých Xing'an (severovýchodní Čína) je průměrně více než 5 dnů s krupobitím ročně. Vycházel z desetiletého pozorování této oblasti. Zhang et al. (2008) pracoval již se 45-letou řadou a průměr dnů s krupobitím výrazně klesl (2 až 3).

Pokud se podíváme na rozložení četnosti krupobití z celkového pohledu, můžeme říci, že nejčastěji se vyskytuje ve vysokohorských oblastech a severních pláních. Na severu Číny je frekvence vyšší nežli na jihu. Nejfrekventovanějšími oblastmi jsou Tibetská plošina a Qilianské horské oblasti (severně od Tibetské plošiny), kde je frekvence vyšší než 5 dní za rok. Místa s nejvyšší průměrnou četností krupobití se nalézají v centrální části tibetské plošiny. Nejvyšší byla zaznamenána v Naqu (31,48° S, 93,07° V) kde byla zjištěna hodnota 33,4 dnů za rok. Další oblastí s velmi vysokou frekvencí je Tian - Shan a jihozápadní Altaj. Zde se nalézají místa s frekvencí vyšší nežli 2 dny za rok a dokonce v západní a jihozápadní části Tian – Shanu až 5 dní za rok.

V pořadí třetí oblastí s nejvyšší četností krupobití je Yunnansko – Guizká plošina, nalézající se v oblasti Jihočínské hornatiny, s četností nad 1 den za rok. I v této

oblasti existují oblasti, které vysoko převyšují průměrnou hodnotu a dosahují frekvenci vyšší než 2 dny za rok. Podrobné rozložení je ovlivněno topografií. Platí, že na jihovýchodním svahu ve vysokých nadmořských výškách je frekvence nejvyšší. Oblasti ve Yishanských horách, Velkých Xing'anských horách, Changbaiských horách (na hranicích Číny a Severní Koreje) a Dongbeiské oblasti (východně od Velkých Xing'an) mají četnost vyšší než 1 den za rok. Frekvence krupobití v Tarimském povodí a v malých oblastech jižně od Tibetské náhorní plošiny je neznáma kvůli malé početnosti meteorologických stanic v této oblasti.



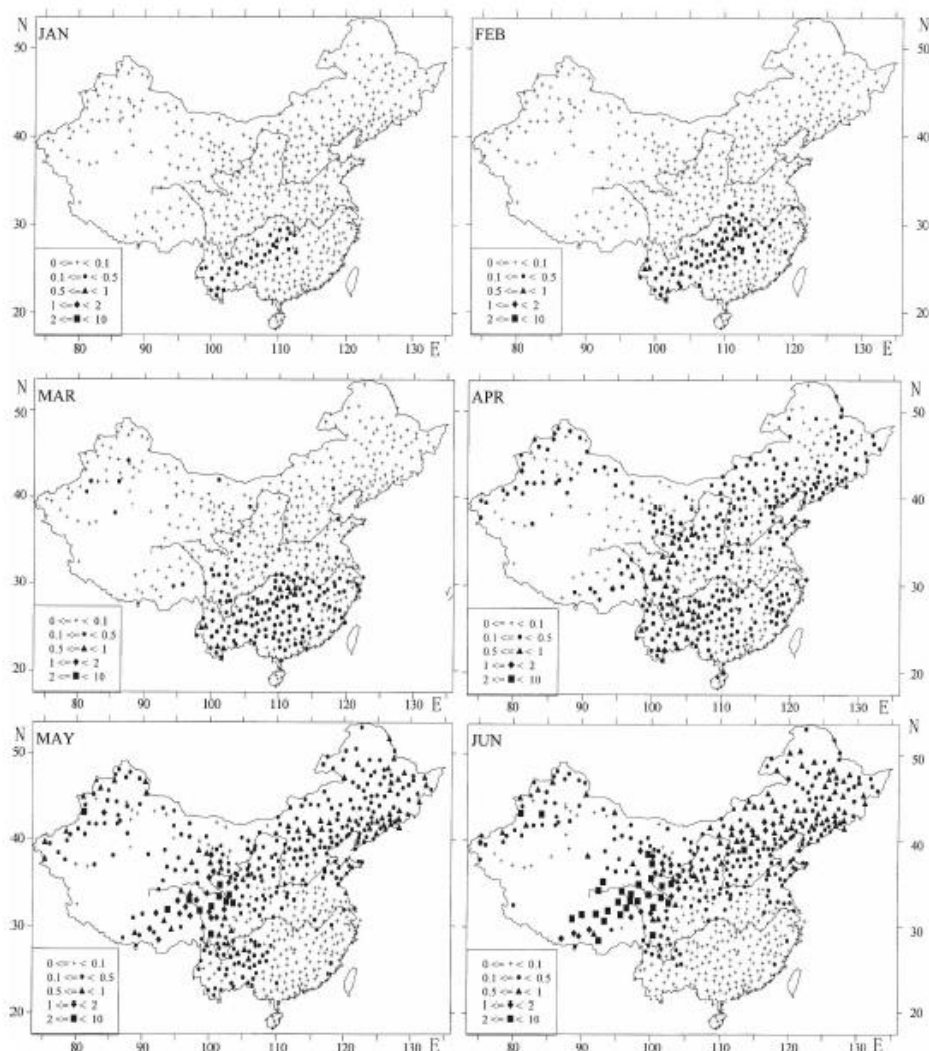
Obr. 15: Geografické rozložení průměrné roční frekvence krupobití v Číně během 1961-2005. (zdroj: Zhang et al., 2008)

Roční chod výskytu krupobití

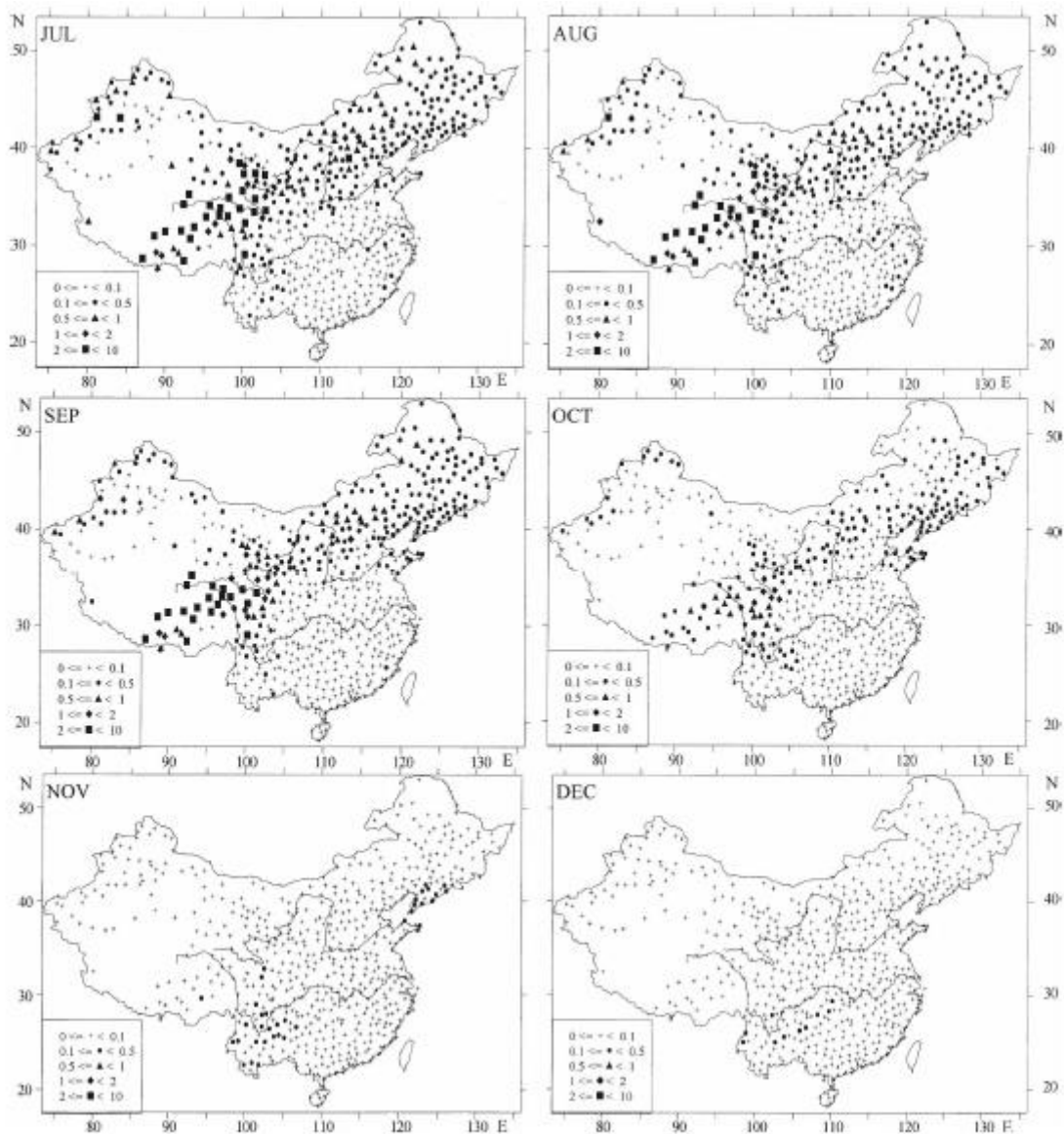
Průměrné měsíční frekvence krupobití pro všech 12 měsíců jsou vidět na (obr. 16 a obr. 17). Ve většině Číny je maximální průměrný výskyt krupobití v létě. Na jihozápadě je maximum v lednu a únoru, na jihu na jaře v březnu. V říjnu nastává výrazný útlum výskytu krupobití a dále v listopadu, prosinci a lednu je již velmi výjimečné (výjimkou je jihozápad Číny).

Podle práce Zhang et al. (2008) lze Čínu rozdělit do 5 regionálních typů sezónního chodu krupobití: První typ: Nejvyšší průměrný výskyt krupobití se nachází

v květnu a červnu a také v září. Tento typ nalezneme v severovýchodní Číně v její východní části. V druhém typu, který se objevuje v západní části severozápadní Číny a v severozápadní Číně, je většina krupobití od května do září. U třetího typu začíná sezóna krupobití později než tomu je u druhého typu. Většina krupobití se objevuje od června do září. Třetí typ je typický pro Tibetskou náhorní plošinu, Qilianské hory a severozápadní Čínu. Dalším typem je tzv. jarní typ. Nejvyšší frekvence jsou v únoru, březnu nebo dubnu. Oblasti s tímto typem jsou západní části jihozápadní Číny, jihozápadní a jižní Čína a dolní tok řeky Yangtze. Poslední typ, který se nalézá v západní a severozápadní části Xinjiang Uighur autonomní oblasti, má maximum výskytu od dubna do září. V některých oblastech není žádná významná maximální frekvence krupobití.



Obr. 16: Geografické rozložení průměrné měsíční četnosti krupobití za období 1961 - 2005 (leden-červen). (zdroj: Zhang et al, 2008)



Obr. 17: Geografické rozložení průměrné měsíční četnosti krupobití za období 1961 - 2005 (červenec-prosinec). (zdroj: Zhang et al., 2008)

5.2.5 Klimatologie krupobití VB

Jak již jsem uváděl výše, pro analýzu frekvence krupobití se využívají různé metody. V případě Velké Británie jsem vybral analýzu pomocí stupnice TORRO. Tato stupnice rozděluje krupobití na stupně H0 až H10. Poprvé byla představena v roce 1986 (Webb et al.). Tato stupnice se může upravovat podle potřeb jednotlivých států. Například podle krytiny střechy, která je dominantní v dané zemi (břidlicová, betonová, kamenitá, plechová). Každý materiál má jinou pevnost a odolnost a proto může změnit následky jednotlivých bouří. Pro případ Velké Británie je stupnice uvedena v (obr. 18).

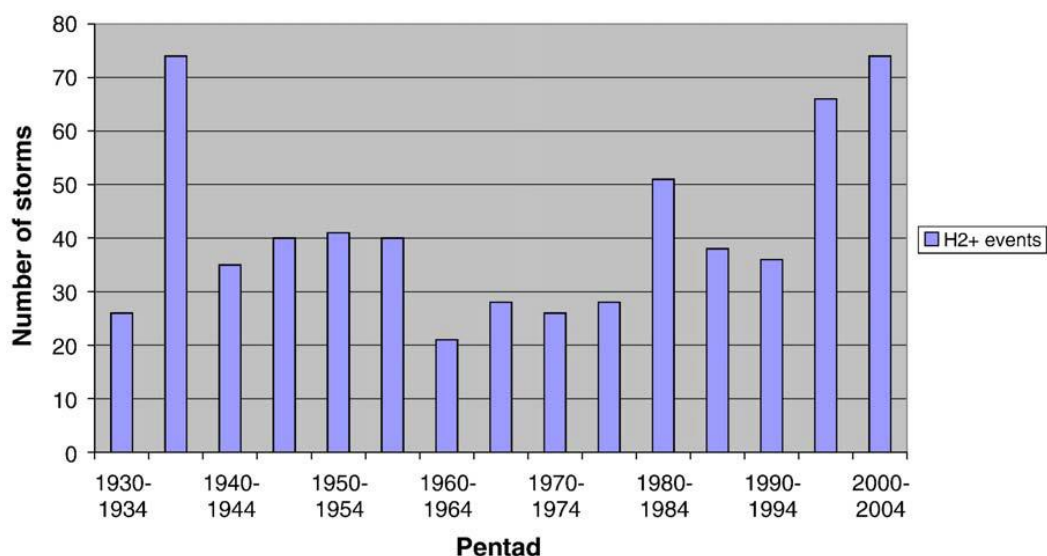
Level	Intensity category	Typical hail diameter (mm) ^a	Probable kinetic energy, J-m ²	Typical damage impacts
H0	True (hard) hail	5-9 (pea)	0-20	No noticeable damage
H1	Potentially damaging	10-15 (large pea, mothball)	>20	Slight general damage to plants, crops
H2	Significant, damaging	16-20 (marble, grape)	>100	Significant damage to fruit, crops, vegetation
H3	Severe	21-30 (large marble, walnut)	>300 ^b	Severe damage to fruit and crops, damage to glass and plastic structures, paint and wood scored
H4	"	31-40 (pigeon's egg, squash ball)	>500 ^c	Widespread glass damage, vehicle bodywork damage
H5	Destructive	41-50 (golf ball, pullet's egg)	>800	Wholesale destruction of glass, damage to tiled roofs, significant risk of injuries
H6	"	51-60 (hen's egg)		Bodywork of grounded aircraft dented, brick walls pitted
H7	"	61-75 (tennis ball > cricket ball)		Severe roof damage, risk of serious injuries
H8	"	76-90 (large orange > small soft ball)		(Severest recorded in the British Isles) Severe damage to aircraft bodywork
H9	Super hailstorms	91-110 (soft ball, grapefruit)		Extensive structural damage. Risk of severe or even fatal injuries to persons caught in the open
H10	"	>110 (melon)		"

Obr. 18: Mezinárodní stupnice intenzity krupobití (H). (zdroj: <http://www.torro.org.uk>)

Avšak tato stupnice je naddimenzována. Od 17. století byla pouze jedna bouře hodnocena stupněm H8 a to ze dne 15. května roku 1967 v Hertfordshireu. Toto krupobití dosáhlo podobné intenzity jako „mnichovské krupobití“ (velké krupobití 12. července 1984 v Mnichově v Německu)

Četnost krupobití na území

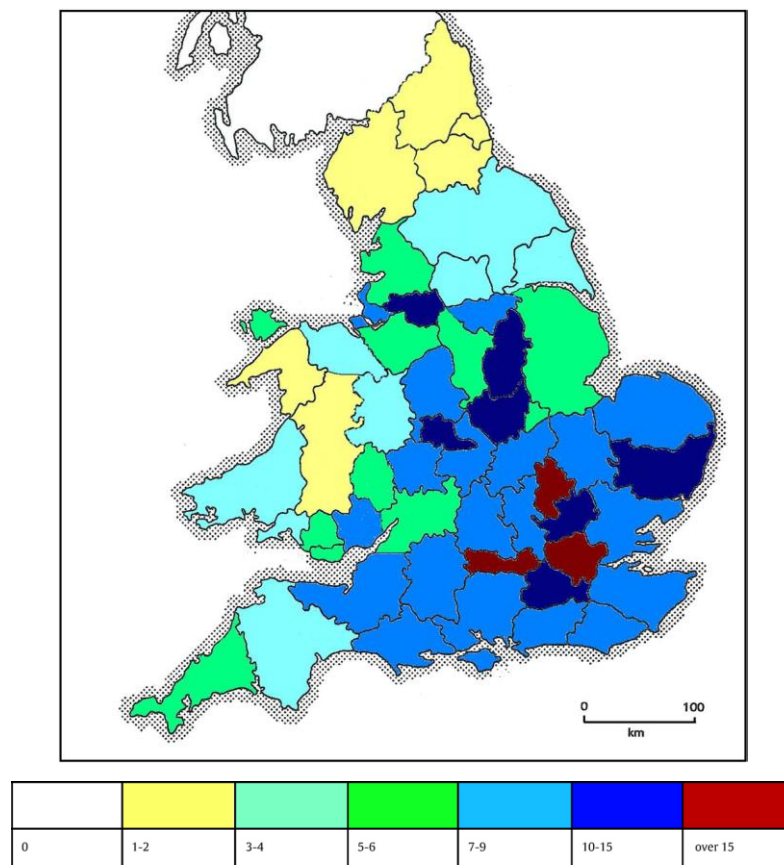
V roce 2006 bylo pozorováno a potvrzeno deset krupobití s intenzitou H3 a H4. Při této intenzitě hrozí poškození skel a lehkých konstrukcí, u H4 dokonce poškození karosérií. Intenzita H2 již byla čtenější, v témže roce bylo zaznamenáno krupobití s touto intenzitou šestnáctkrát. Pokud srovnáváme počet krupobití s intenzitou 2 a více, za období 1930 – 2004, můžeme pozorovat nárůst počtu v posledních deseti letech (obr. 19). Na konci 30. let lze zřetelně vidět velký nárůst počtu krupobití ve Velké Británii, naopak nízkou frekvenci můžeme nalézt v 60. a 70. letech.



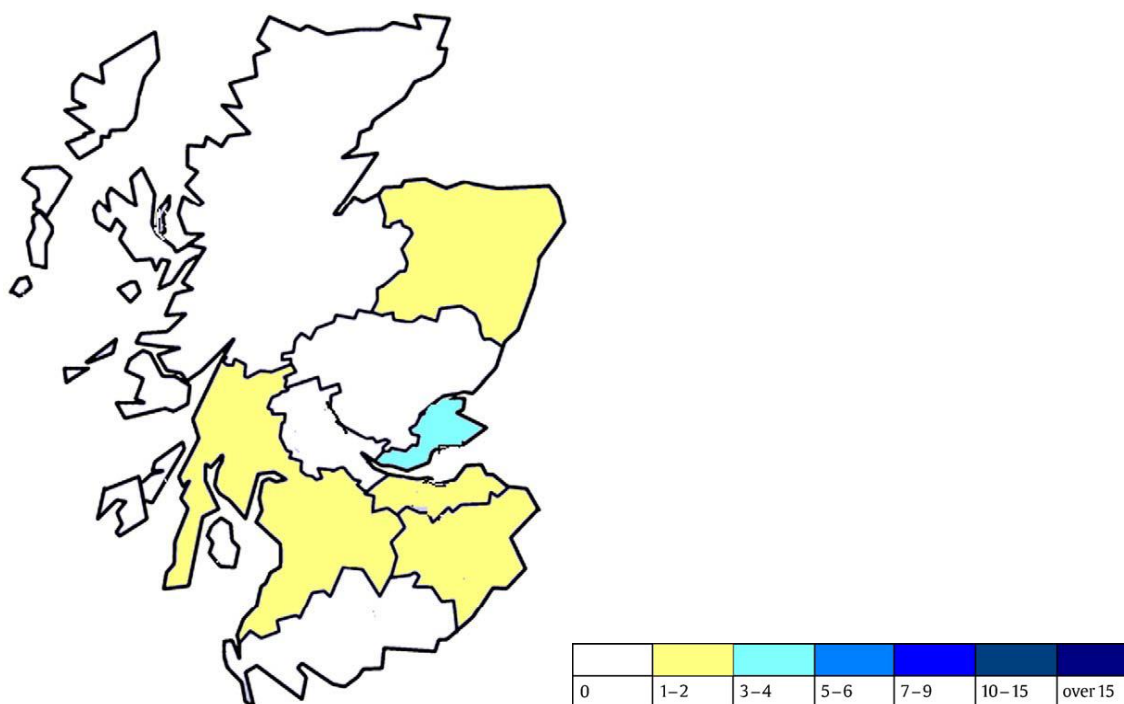
Obr. 19: Distribuce významných krupobití s intenzitou H2+ ve Velké Británii po pentodách v období 1930 – 2004. (zdroj: Webb, 1986)

Geografické rozložení krupobití o intenzitě H2 a vyšší v Anglii a Walesu za období 1930 – 2004 je naznačeno na (obr. 20). Jedná se o počet krupobití na 1000 km² za 100 let. Výsledky jsou poněkud zkreslená hustotou obyvatel. Například Greater Manchester s vysokou hustotou obyvatel (1945 ob./km²) a velmi vysokým počtem krupobití a naopak poměrně malé frekvence ve středním Walesu s nízkou hustotou obyvatelstva (25 ob./km).

Z (obr. 20) je patrné, že nejvíce postižené oblasti se nalézají od Lacashire, Greater Manchester, Merseyside a na jihovýchod přes East Midlands a kolem dolního toku řeky Temže (Berkshire a Londýn) a části východní Anglie (Cambridgeshire, Bedfordshire, Hertfordshire a Suffolk). Na (obr. 21) je znázorněna frekvence krupobití za stejné období jako u Anglie a Walesu na území Skotska. Nejvíce zasažená oblast krupobitím je ve správní oblasti Fife. Obecně můžeme pozorovat vyšší výskyt na jihu Skotska (například: Scottish Borders, South Lanarkshire, Argyll and Bute). Výjimkou je Aberdeenshire s poměrně vysokou frekvencí krupobití, který se nalézá na severozápadě Skotska. Ničivé bouře o intenzitě H4 a vyšší se nejvíce za období 1800 až 2004 objevují v jihovýchodním Midlands a střední až východní Anglii. Ve Skotsku a Irsku byly bouře s touto intenzitou hlášeny jen velmi vzácně. (ve Skotsku pouze jedno krupobití nad stupeň H5).



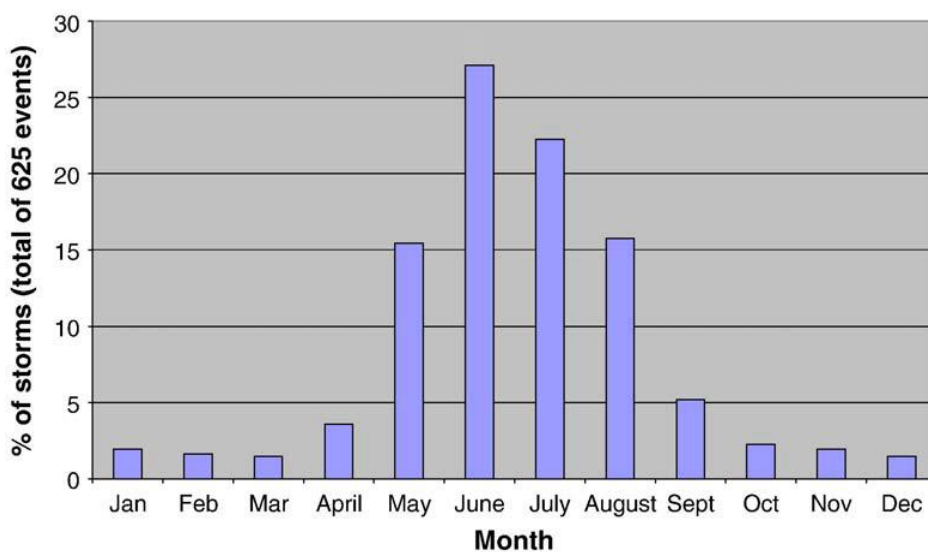
Obr. 20: Počet krupobití (na 1000 km² za 100 let), při dosažení nebo překročení H2 intenzity pro kraje Anglie a Walesu za období 1930-2004. (zdroj: Webb, 1986)



Obr. 21: Počet krupobití (na 1000 km² za 100 let), při dosažení nebo překročení H2 intenzity pro regiony Skotska za období 1930-2004. (Webb, 1986).

Roční chod výskytu krupobití

Při srovnání krupobití se všemi intenzitami se vykrystalizuje vrchol na jaře v měsíci březen, avšak pokud se podíváme na krupobití s velikostí krup nad 20 mm v průměru, vyjdou nám jako nejfrekventovanější měsíce červen (28%) a červenec (15%). Podle stupnice TORRO za období 1930 – 2004 bylo zaznamenáno 82 % krupobití s intenzitou H2 a vyšší mezi květnem a srpnem (obr. 22).



Obr. 22: Měsíční analýza významných krupobití (H2+ intenzita) za období 1930-2004. (zdroj: Webb, 1986)

5.3 Faktory ovlivňující vznik

Krupobití je velice složitý děj, na jehož vytvoření je potřeba mnoho podmínek. Podle globální klimatologie krupobití lze určit několik nejzákladnějších předpokladů vzniku krupobití. Nedá se však říci, že by v místech, kde tyto podmínky platí, se s jistotou bouře s krupobitím objevovali. Jedná se spíše o určení míst, kde je vysoká pravděpodobnost vzniku krupobití. Existují místa, která splňují více faktorů najednou. Jsou to oblasti, kde se vyskytují poměrně silná krupobití, která způsobují velké škody na majetku a zdraví.

Zeměpisná šířka

Pro vznik krupobití má také velký vliv zeměpisná šířka. Nejvíce krupobití se objevuje ve středních zeměpisných šířkách. Naopak v tropech je tento jev méně častý a to i přes fakt, že se zde vyskytuje více bouří, nežli ve středních zeměpisných šířkách. V tropických oblastech je nad pevninou oproti oblastem střední zeměpisné šířky teplejší atmosféra ve vyšších výškách atmosféry, což neumožňuje jeho vznik. V těchto oblastech se krupobití vyskytuje hlavně ve vysokých nadmořských výškách, kde je chladnější vzduch.

Kontinentalita

Kontinentalita území má velký vliv na četnost i frekvenci krupobití. Při vytváření krup má spolu s kontinentalitou velký vliv hladina mrznutí. Udává se, že by měla být pod výškou 4000 metrů, jinak dochází k rozmrzávání krup a k následnému dešti. V kontinentálním klimatu dochází k nasouvání velmi suchého vzduchu do bouřkového oblaku. Suchý vzduch způsobuje snižování hladiny mrznutí, což vede k formování velkých krup o dostatečné hmotnosti pro vypadnutí z bouřkového oblaku a zároveň k nerozmrznutí cestou k povrchu.

Nadmořská výška

Tento faktor je typickým příkladem podmínky, která sama o sobě nezvyšuje riziku vzniku krupobití. Nadmořská výška má vliv na již vytvořené kroupy. S vyšší nadmořskou výškou klesá šance, že kroupa při vypadnutí z mraku stihne cestou na zem roztát. Pokud je oblačnost, ve které se vytváří kroupy, moc vysoko nad zemí, začne

vypadlá kroupa tát a na povrchu jí již registrujeme jako dešťovou kapku. Nadmořská výška velmi často souvisí s orografickým zvedáním. V pobřežních oblastech obecně platí, že zde jsou krupobití méně častá. Ovšem existují i oblasti s poměrně velkou četností krupobití, jedná se pravděpodobně například o oblast severní Itálie.

Orografické zvedání

Jestliže větru stojí v cestě orografická překážka (hory), může na návětrné straně docházet ke vzniku nebo zesílení krupobití. Vlhký vzduch je důsledkem nárazu na pohoří nucen stoupat. Územím s typickým vlivem orografického zvedání na vznik krupobití je severní Indie a Bangladěš. Zde se vyskytují extrémně silná krupobití. Z mnou zmíněných oblastí bych chtěl také zmínit oblast Mendosa v Argentině a severovýchod USA. Orografické zvedání se nejčastěji vyskytuje u velkých pohoří, tudíž lze obecně říci, že krupobití se velmi často objevují u pohoří (Andy, Skaliské hory, Alpy...)

Pohoří

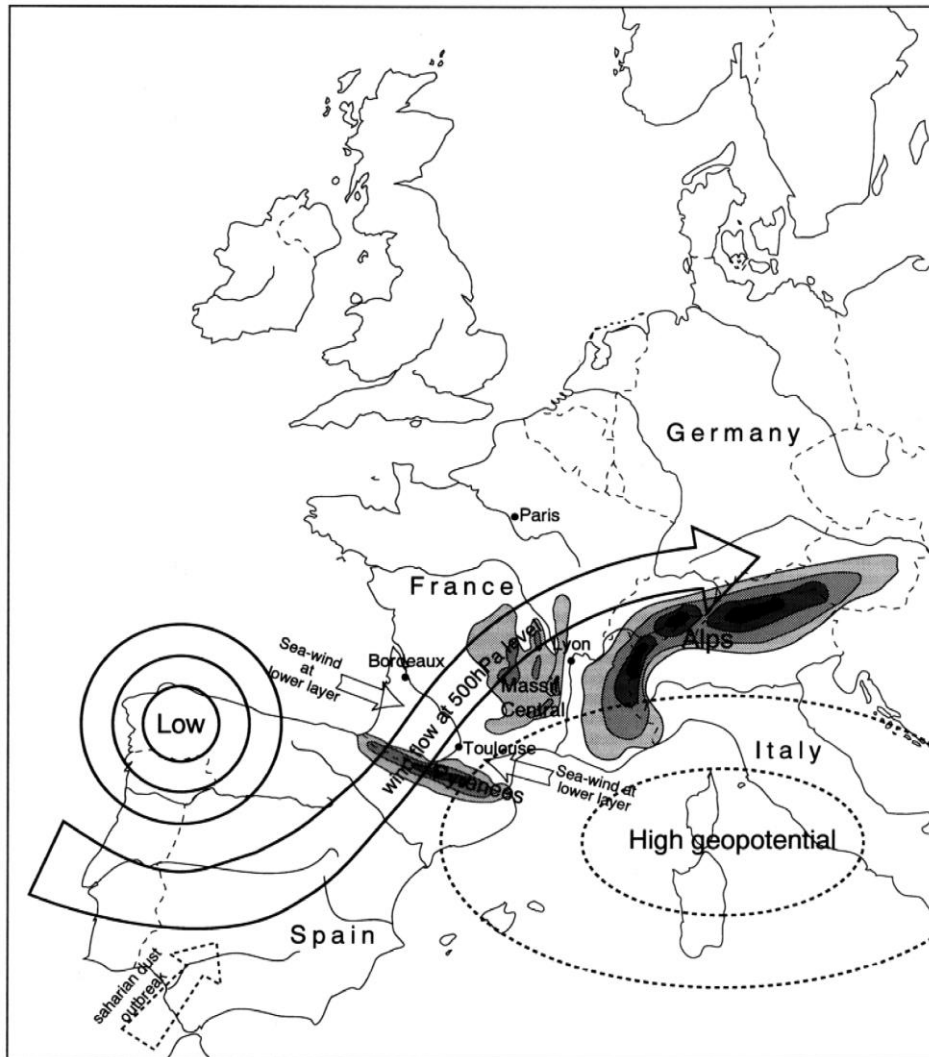
Z mnoha studií vyplynulo, že velmi ohroženými oblastmi z hlediska krupobití jsou také oblasti na závětrné straně hor. Jedná se o důsledek výše zmíněného orografického zvedání a nadmořské výšky. Jako příklad můžu uvést oblast Patagonie, kde se velká četnost krupobití jinak pravděpodobně nedá vysvětlit.

Atmosférická cirkulace

Jedná se o určitou situaci v atmosférické cirkulaci, která vede ke vzniku krupobití. Podmínky pro vznik se liší podle místa vzniku. V Evropě vzniká krupobití velmi často v blízkosti Alp (jižní Německo, Švýcarsko, Rakousko, Jihovýchodní Francie). Vliv atmosférické cirkulace lze demonstrovat na příkladu Alp (obr. 23). Oblast s nízkým tlakem se nachází poblíž Španělska. Nad území Francie se dostává proudění z Atlantiku a Středozemního moře. Proudění je křížováno vertikálními stříhy větru. Dessens a Pham Van Dinh (1990) tvrdí, že vertikální stříhy větru mohou obsahovat saharský prach, který může poskytovat jádro pro následný vývoj krup.

Proudění se přesouvá kolmo přes Pyreneje a po příchodu do Garonnské pánve se dostává do vyšších výšek. Proud slábne směrem na východ a také se může lišit jeho síla v závislosti na nadmořské výšce. Do východní Francie se sice nedostává tolik vlhkého

vzduchu, nicméně je zde velmi časté a silné krupobití. Proud je zde sice méně rychlý, nežli na jihozápadě, avšak je zde krajina, která je více členitá s mnoha údolími a hřbetovými liniemi kolnými na směr proudu což vytváří nestabilitu v nižších vrstvách a vznik následného krupobití.



Obr. 23: Průměrná atmosférická cirkulace ve dnech s rizikem výskytu krupobití ve Francii.
(zdroj: Vinet (2001))

6. Diskuse

Krupobití je jev, který není ještě úplně pochopen. Existuje řada otazníků ve vývoji krup. Ve 20. století se svět začal více zajímat o krupobití hlavně kvůli obrovským škodám, které působí. Řada studií také vznikla právě na tomto základu. Je ale zkoumání krupobití na základě jím způsobených škod spolehlivé? Do škod se velmi silně promítá hustota zalidnění. Myslím si, že pokud krupobití zasáhne silně obydlenou oblast, jsou škody nepoměrně vyšší, než když zasáhne neobydlenou nebo velmi řídkou obydlenou oblast. Ano, můžeme například porovnávat oblasti se stejnou hustotou obyvatel, ale i to má problém. Jak již jsem uváděl, mnoho analýz rizika výskytu krupobití je vypracováváno pro zemědělské oblasti. Zde jsou škody na neobydleném území také obrovské. Z těchto argumentů vyplývá jedna zásadní otázka. Opravdu jde porovnávat krupobití na rozdílném území? Podle mého názoru je to velmi složité. Pravděpodobně žádná metoda, ať již existující nebo budoucí, nedokáže eliminovat tento problém v určování síly krupobití pomocí způsobených škod.

V mnoha studiích se zmiňuje informace o nárůstu škod způsobených krupobitím. Tento údaj platí takřka v celém světě. Znamená to nárůst počtu bouří s krupobitím?. V některých oblastech svět tomu opravdu tak je. Tyto oblasti se nacházejí v severní části severní Ameriky. Ve většině světa však frekvence nenarůstá. Čím je tedy způsoben nárůst škod? V posledních desetiletích podstatně narostla síla krupobití. Ovšem je to opravdu relevantní informace? Není nárůst škod způsoben nárůstem počtu obyvatel Země? V úvahu bychom měli brát i rozvoj technologií a tudíž poškození přístrojů, které mají velmi vysokou hodnotu. Při hodnocení rizik pro dané území je také velmi relativní otázka síly krupobití. Například pokud je jedno území zasaženo jedním extrémně velkým krupobitím, dá se porovnávat s druhým územím, které sice nezasáhlo extrémně silné krupobití, nicméně je po celý rok vystaveno působením několika menším krupobitím?

Existuje mnoho metod pro předpověď blížícího se krupobití a retrospektivní hodnocení již proběhlého krupobití. Jednotlivé studie a analýzy používají různé metody. Vyvstává otázka, jestli by nebylo dobré sjednotit jednotlivé postupy a tím vytvořit jednotné posuzování jak již proběhlých, tak i budoucích bouří. Ovšem existuje dnes tak spolehlivá metoda na to, aby jí dokázalo akceptovat široké spektrum vědců? Myslím si, že cesta vede spíše přes novou metodu detekce, která by opravdu spolehlivě dokázala

rozlišit kroupy od dešťových kapek. Vystává otázka, jestli to jde. Mnoho autorů různých metod detekce krupobití se o to snažilo a navrhovalo různé hraniční body a intervaly pro určení rozdílu. Tento problém je pravděpodobně nejpálčivějším problémem v detekci spolu s přesným určením místa, které bude krupobitím zasaženo. V hodnocení již proběhlého krupobití je obrovským problémem způsob monitorování. Prakticky vždy je potřeba více či méně lidského faktoru. U metody hailpad je sice tento problém vyřešen, avšak toto zařízení nelze umístit všude a proto záznam krupobití je jen pro velmi malé území v blízkém okolí tohoto přístroje.

Podle mého názoru je velmi málo meteorologických analýz. Setkal jsem se s velkým množstvím studií a analýz vypracovaných pro firmy v oblasti pojišťovnictví a zemědělství. Jsou analýzy určené jen pro určitý obor skutečně použitelné na rozsáhlejší území? Nemyslím si, jelikož metody, které jsou s poměrně vysokou spolehlivostí používány například v zemědělské oblasti centrálního území USA, se nedají použít v Evropě v okolí Alp, pokud chceme dosáhnout stejné přesnosti. Pro vyřešení problému týkajícího se lepší předpovědi je potřeba součinnost vědců z oblasti meteorologie a fyziky. Pokud úplně nepochopíme vznik a růst krupobití nelze vypracovat opravdu pravdivou a spolehlivou mapu globálního rozložení frekvence krupobití.

Opravdu jde vypracovat globální přehled frekvence krupobití? S dnešními metodami jen velmi složitě. Pokusy o zpracování různými metodami ukazují velké rozdíly hlavně v oblasti Afriky. Je tedy dobré se pokoušet o vypracování komplexního rozložení frekvence krupobití? Pokud tomu bude následovat širší diskuse o vhodné metodě tak ano. Na určité specifické oblasti by však bylo vhodné použít jinou metodu přesnější pro toto území (oblast tropů). Jak jde vidět, jedná se o velmi složitý proces, který je podle mého názoru poněkud opomíjen. Meteorologické instituce a další vědecké organizace zabývající se extrémními projevy počasí se více zaměřují na povodně, tornáda, tropické bouře a další, zkoumání krupobití je spíše jen doplňkem těchto zkoumaných extrémních událostí. Řekl bych, že následky krupobití všude po světě dávají jasný důkaz o sice velmi lokálním jevu, avšak s ničivými důsledky jak už na majetku tak i vzácně na životech (severní Indie).

Velkým problémem se ukazují také různé výstupy vypracované pomocí různých metod. Některé výstupy dokonce ukazují až neuvěřitelně vysokou hodnotu četnosti krupobití v dané oblasti. Příkladem může být Čína, kde se vyskytují místa s průměrnou

roční četností nad 20 dní. Je toto ovšem reálné? Podle mého názoru pravděpodobně není. Takové místo by prakticky nemohlo být obydlené. Například u nás se uvádí velice ojedinělé oblasti, kde se vyskytuje krupobití jednou za jeden rok. Jedná se o maxima na území ČR.

Krupobití ovlivňuje řada faktorů. Mou snahou bylo zjištění nejzákladnějších faktorů, které mají vliv na vznik a sílu krupobití (viz kap. 5.3). Pravděpodobně nejdůležitějším faktorem je zeměpisná šířka. Avšak znamená to, že vyšší četnost krupobití ve středních zeměpisných šířkách je pravidlem? Podle mého názoru tomu tak není. Jedná se pouze o zobecněný faktor, který ovšem sám o sobě neznámá vznik krupobití. Obecně lze tvrdit, že žádný z uvedených faktorů neznámá jistotu vzniku krupobití. Jedná se o podmínky, které pouze zvyšují šanci vzniku krupobití. Snaha o určení těchto faktorů je však velmi důležitá. Pokud zkombinujeme jednotlivé faktory a zhodnotíme podle nich určitou oblast, můžeme určit místa, na kterých se pravděpodobně vyskytují vyšší četnosti krupobití.

Velice důležitý faktor je atmosférická cirkulace. Tento faktor se liší v jednotlivých regionech. Pro každé území platí jiná atmosférická situace, která vede ke vzniku krupobití. V této práci jsem uvedl příklad atmosférické situace nad Evropou, která může vyvolat krupobití v oblasti okolo Alp.

7. ZÁVĚR

Tato práce seznámila čtenáře s globální klimatologií četnosti krupobití. Z analýz rozložení krupobití vyplývá fakt, že různá místa nejsou zasahována stejným počtem krupobití.

Proto jsou vytvářeny mapy obsahující informace o roční četnosti tohoto jevu. Nejhodnotnější analýzy jsou tvořeny jen pro malé území, kde se zvolí takové metody pro analýzu krupobití, aby byli co nejpřesnější. V práci jsem nastínil u všech zkoumaných zemí metodu sběru dat, které pro autory sloužily jako základ pro tvorbu map s údaji obsahující četnosti krupobití v daném státě. Jednotliví autoři používali různé zdroje dat, u kterých byla pravděpodobnost nejpřesnějšího popsání proběhlých krupobití.

V globálním kontextu vyšlo nejohroženější území v oblasti severní Indie a Bangladéši. Je zarážející, že v této oblasti existuje velmi málo analýz a prací zabývajících se tímto jevem. Velmi vysoká četnost postihuje Spojené státy a západní až střední Evropu. Krupobití postihuje všechny kontinenty kromě Antarktidy.

Myslím si, že do budoucna by bylo potřeba určitým způsobem generalizovat data, která vedou k vývoji map o celkovém rozložení četnosti krupobití. Z takto vytvořených map, které by byly přesnější než doposud, by již bylo snadnější určit přesné metody vedoucí k vyšší četnosti krupobití na jednotlivých územích.

Tato práce udává poznatky o globální klimatologii krupobití a nastiňuje základní faktory ovlivňující krupobití, které by při hlubší analýze mohly vytvořit základ pro další studování faktorů ovlivňujících četnosti krupobití. Ovšem v takovém případě by bylo potřeba vytvořit metodu pro jednotné hodnocení již proběhlých krupobití, kde by se na základě výsledků vytvořili podrobnější faktory ovlivňující krupobití v konkrétních oblastech.

8. Seznam použité literatury

- AMBURN, A., P. L. WOLF, 1997: VIL density as a hail indicator. *Weather and Forecasting*, 12, 473-478.
- BERTHERT, C., DESSENS, J., SANCHEZ, J.L., 2011: Regional and yearly variations Of hail frequency and intensity in France. *Atmos. Res.*, 100 (4), 391–400.
- CAO, Z., 2008: Severe hail frequency over Ontario, Canada: recent trend and variability. *Geophys. Res. Lett.* 35 (14), L14803.
- COURT, A., GTIFFITHS, JF., 1986: Thunderstorm climatology. *Thunderstorm Morphology and Dynamics*, Kessler E. University of Oklahoma Press: Norman, USA, 9–40.
- DELOBBE L., D. DEHENUW, K. HAMID, and J. NEMÉGHAIRE, 2003: Hail detection using radar observations: case studies in the summer 2002. *Royal Meteorological Institute of Belgium (RMI)*.
- DESENS, J., PHAM VAN DINH, 1990: Frequent Saharan dust outbreaks north of the Pyrenees: a sign of a climatic change? *Weather* 45 _9., 327–333.
- FRISBY, EM., SANSOM, HW., 1967: Hail incidence in the Tropics. *Journal of Applied Meteorology*, 6, 339–354.
- HAND, W. H.,CAPPELLUTI, G., 2011: A global hail climatology using the UK Met Office convection diagnosis procedure (CDP) and model analyses. *Met. Apps*, 18, 446–458.
- HOLLEMAN, I., 2001: Hail detection using single-polarization radar. Scientific report WR-2001-01, *Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)*.
- HRUBEŠ, P., KOCOUREK, F.: *Návod pro pozorovatele povětrnostních stanic meteorologické služby v ČSR*. HMÚ, Praha, 1955. 159 s.
- HUGHES, P., Wood, R., 1993: Hail: The white plague, *Weatherwise*, April-May, 16-21.
- CHangnon, S.A., 2009: *Hailstorm Across the Nation*. Illinois, 2009, 101 s.
- JAMESON, A. R., R. C. SRIVASTAVA, 1978: Dual-wavelength doppler radar observations of hail at vertical incidence. *Journal of Applied Meteorology*, 17, 1694-1703.
- KITZMILLER, D. H., J. P. BREIDENBACH, 1993: Probabilistic nowcasts of large hail based on volumetric reflectivity and storm environment characteristics. Preprints, *26th Conf. on Radar Meteorology*, Norman, OK, Amer. Meteor. Soc., 157-159.

- KITZMILLER, D. H., W. E. MCGOVERN, R. E. SAFFLE, 1995: The WSR-88D severe weather potential algorithm. *Weather and Forecasting*, 10, 141-159.
- LIST, R., 1985: Properties and growth of hailstones. Thunderstorm Morphology and Dynamics. E. Keller, ed. *University of Oklahoma Press*.
- LIU, Q. G., Tang, M. C., 1966: Climatological characteristics of hail in China (in Chinese). *Acta Geogr. Sin.*, 32, 48–65.
- MEZHER, R., DOYLE, M., BARROS, V., 2012: Climatology of hail in Argentina. *Atmospheric Research* 114-115, 70-82.
- PLUMANDON, J.R., 1901. Les orages et la grêle. Masson, Paris, 192 pp.
- POCAKAL, D, VECENAJ, Z., STALEC, J., 2009: Hail characteristics of different regions in continental part of Croatia based on influence of orography. *Atmospheric Research*, 93, 516–525.
- ROOS, D. V. D. S., 1972: A Giant Hailstone from Kansas in Free Fall. *J. Appl. Meteor.* 11.
- ŘEZÁČOVÁ, D. a kol, 2007: Fyzika oblaků a srážek. 1. vyd. Praha : Academia, 2007, 576 s., ISBN 978-80-200-1505-1.
- SCHESTER, S., BLONG RJ., SPEER, MS., 2005: A hail climatology of the greater Sydney area and New South Wales Australia. *International Journal of Climatology*, 25, 1633–1650.
- SXHIESSER, H.H., 2003: *Hagel. Extremereignisse und Klimaänderung. Organe consultatif sur les changements climatiques (OcCC)*, Bern, Swiss, 65–68
- TALMAN, C.F., 1936: Ice from Thunderclouds. *Nat.Hist.* 38, s. 109-119
- VINET, F., 2001: Climatology of hail in France. *Atmos. Res.*, 56, str. 309–323.
- WEBB, J.D.C., ELSOM, D.M., MEADEN, G.T., 1986. The TORRO Hailstorm Intensity Scale. *J.Meteorol.* UK 11, 337–339.
- WEXLER, R., 1953: Radar echoes from a growing thunderstorm. *Journal of Meteorology*, 10, 285-290.
- .
- XU, J.L., 1983: Some hail research in China. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 64, 124–132.
- YANG, G. M., Ma, Z. P., 2003: Characteristics of hailfall in North China (in Chinese). *Meteor. Monogr.*, **29**, 31–34.
- ZHANG, CHUNXI, YUQING WANG, 2008: Climatology of Hail in China: 1961–2005. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 47, 795–804.