

## JEJ VELIČENSTVO BÚRKA

Sprievodný text k prednáške o búrkach a jej sprievodných javoch  
pre učiteľov a študentov stredných škôl a gymnázií

**Mgr. Jozef Pecho**

Slovenský hydrometeorologický ústav, Odbor Klimatologická služba, Bratislava-Koliba, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava 37  
Tel.: 02/594 15 115, e-mail: jozef.pecho@shmu.sk

### ÚVOD

#### **BÚRKA – NEBEZPEČNE KRÁSNY ATMOSFÉRICKÝ FENOMÉN**

#### **VZNIK A VÝVOJ BÚROK**

#### **TYPIZÁCIA BÚROK**

#### **SPRIEVODNÉ JAVY**

#### **SUPERCELÁRNE BÚRKY, TROMBY A TORNÁDA**

#### **TORNÁDA NA SLOVENSKU**

#### **JE MOŽNÉ BÚRKY PREDPOVEDAŤ?**

#### **KLIMATOLÓGIA BÚROK**

#### **BÚRKY A KLIMATICKÁ ZMENA**

#### **POUŽITÁ LITERATÚRA A ODPORÚČANÉ ZDROJE INFORMÁCIÍ O BÚRKACH**

### ÚVOD

Búrky patria medzi pôsobivé živelné atmosférické javy, ktorých intenzita a častosť výskytu by mohli byť do značnej miery ovplyvnené meniacimi sa klimatickými podmienkami v súvislosti s očakávanými prejavmi prebiehajúcej klimatickej zmeny. Možnosti predikcie dlhodobějších zmien priestorového výskytu a intenzity tohto mimoriadne zložitého prírodného javu sú v súčasnosti zatiaľ ešte obmedzené. Búrky patria k letu, aj keď v našich zemepisných šírkach ich môžeme registrovať už od začiatku apríla až do konca septembra. Letné obdobie (jún-august) je však pre búrky najviac priaznivejšie a to hneď z niekoľkých dôvodov. Po prvé, sú to predovšetkým vysoké denné teploty vzduchu v prízemnej vrstve atmosféry, po druhé veľký obsah vodných pár, ktorého kondenzáciou (skvapalnením) vo vyšších vrstvách atmosféry vznikajú intenzívne, niekedy až privalové zrážky (lejaky). Ďalšou nevyhnutnou podmienkou vzniku letnej búrky je vhodná poveternostná situácia spojená napríklad s prechodom studeného frontu. Približne v posledných dvoch desaťročiach sú búrky u nás, ale nielen u nás, nápadne často spájané s výskytom nebezpečných poveternostných javov (silný nárazový vietor, intenzívny dážď, krupobitie, veľké množstvo elektrických výbojov). Leto sa stalo ročným obdobím, kedy určitá časť búrok má takmer pravidelne v sebe potenciál prírodnej katastrofy. Príčiny treba hľadať vo vyššej teplote vzduchu, ktorá pri určitých typoch poveternostných situácií, vytvára predpoklady pre rast obsahu vodných pár v atmosfére a v tejto súvislosti potom procesy prebiehajúce v atmosfére disponujú väčším energetickým potenciálom. Ale na výsledku negatívnych účinkov búrky sa podieľa aj stav, resp. zraniteľnosť, zasiahnutého prostredia a toto môže ničivé účinky búrky ešte znásobiť.

### **BÚRKA – KRÁSNE NEBEZPEČNÝ ATMOSFÉRICKÝ FENOMÉN**

Búrka je z meteorologického hľadiska chápaná ako súbor elektrických, optických i akustických javov vznikajúcich medzi oblakmi typu *Cumulonimbus* (skratka „Cb“ alebo inak „búrkový oblak“) navzájom alebo medzi týmito oblakmi a zemským povrchom, často sprevádzaný ďalšími meteorologickými javmi, ktoré niekedy bývajú ničivejšie ako samotná búrka. Ako už z tejto jednoduchej definície búrky vyplýva, búrka predstavuje jav, ktorý je viazaný prevažne na výskyt mohutnej kopovitej oblačnosti typu *Cumulonimbus*. Ide o oblačnosť so značným vertikálnym rozsahom. Najvyššie búrkové oblaky môžu v našich zemepisných šírkach dosiahnuť až do výšky 15 km (výška spodnej stratosféry). Vzhľadom na svoj veľký vertikálny rozsah je každá búrka veľmi dobre rozoznatelná vizuálne už z pomerne veľkej vzdialenosti, zatiaľ čo ďalšie sprievodné javy, ako napríklad výskyt bleskových výbojov, hrmenie a krátkodobé zosilnenie vetra, začínajú byť nápadnejšie až po dostatočnom priblížení k „jadru“ búrky. V priebehu dňa je možné približujúcu sa búрку identifikovať najmä

prostredníctvom akustických javov – hrmenia, v priebehu noci je to naopak skôr blesková činnosť, ktoré upúta pozornosť pozorovateľa. Po dostatočnom priblížení sa búrky začína prejavovať zmenou prízemného prúdenia a náhlými zmenami rýchlosti vetra (tzv. nárazový vietor, alebo inak húlava). Extrémnosť týchto javov dosahuje svoje maximum v samotnom jadre búrky, v ktorom sa ďalej pridáva intenzívny privalový dážď, prípadne krupobitie (v najextrémnejších prípadoch je možné v silných búrkach registrovať aj tornádo). V prípade, že ma pozorovateľ k dispozícii prístroj na meranie tlaku vzduchu, je možné bližiacu sa búrku rozpoznať napríklad aj prostredníctvom poklesu tlaku vzduchu.

Ako sme už spomenuli, búrka je spojená s výskytom oblačnosti typ *Cumulonimbus* – ide o hustý, kopovitý oblak s veľmi tmavou až takmer čiernou základňou, ktorá sa nachádza vo výške okolo 1-2 km na zemskom povrchu. *Cumulonimbus* vzniká postupným narastaním oblakov typu *Cumulus* a po dosiahnutí svojho maximálneho rozvoja je z väčšej vzdialenosti veľmi ľahko rozpoznateľný na základe výraznej vejárovitej nákovy, ktorá sa vytvára v jeho vrcholovej časti. Niekedy sa táto časť búrkového oblaku rozťahne po celej oblohe a pripomína oblak typu *Cirrostratus*. Rozvíjajúca sa oblačná nákova je vo svojej hornej časti plochá – je to dôsledok toho, že v tejto výške zastavuje vertikálny vývoj búrkového oblaku tzv. tropopauza, kde sa takmer vždy vyskytuje inverzná vrstva, ktorá vytláča oblačnosť do strán. Ak sa však nachádza pozorovateľ priamo pod búrkovým oblakom, pôsobí oblačnosť kvôli svojej veľkej vertikálnej mohutnosti obvykle ako tmavá a málo štruktúrovaná masa. Výnimku tvorí len pomerne výrazný a často krát ešte tmavší tzv. húlavový „golier“, ktorý postupuje v prednej línii búrkového oblaku.

## VZNIK A VÝVOJ BÚROK

Zložitosť tohto javu je na jednej strane podmienená zaujímavým spolupôsobením čiastkových atmosférických procesov v jednotlivých fázach vývoja búrkového oblaku a na strane druhej aj množstvom podmienok, ktoré musia byť nevyhnutne splnené na to, aby búrka na danom mieste vôbec vznikla. Skutočnosť komplikuje aj fakt, že v praxi zväčša rozoznávame hneď niekoľko základných typov búrok, pre ktorých vznik je potrebná vždy iná kombinácia základných podmienok, medzi ktoré napríklad patria:

1. vysoká počiatočná teplota a vlhkosť vzduchu v prízemnej vrstve atmosféry;
2. dostatočne „labilizované“ zvrstvenie ovzdušia (vertikálny teplotný gradient je väčší ako 1°C na 100 m výšky);
3. intenzívne vzostupné usporiadané prúdenie (konvekcia) vlhkého a teplého vzduchu spôsobujúce tvorbu oblakov typu *Cumulonimbus*;
4. malá horizontálna rýchlosť vetra vo všetkých výškových hladinách;
5. nízka poloha hladiny izotermy -10°C;
6. dynamické procesy na frontoch a cyklónach.

Vo všeobecnosti však možno označiť za hlavnú a nevyhnutnú podmienku vzniku všetkých typov búrok, ktoré v tejto práci spomenieme, existenciu výstupných prúdov vlhkého a zväčša teplého vzduchu v určitom vertikálnom profile najspodnejšej vrstvy atmosféry, troposféry. Rozdiel medzi jednotlivými typmi búrok je potom najmä v spôsobe, akým spomínané vzostupné prúdenie vzduchu v uvažovanom profile troposféry vzniká.

Vývoj búrkového oblaku možno rozdeliť do troch základných štádií. V **počiatočnom štádiu** vývoja búrkového oblaku výstupné prúdenia vlhkého vzduchu od okamžiku dosiahnutia tzv. hladiny kondenzácie vytvárajú vertikálne, málo rozsiahle kopovité oblaky typu *Cumulus humulis* s veľmi ostro ohraničenou základňou a výrazným kontrastom medzi bielou až sivou farbou oblačnej hmoty a belasou oblohou. Za priaznivých podmienok sa ďalším výstupom vzduchu vytvorí *Cumulus mediocris*, ktorý je podobne ako predchádzajúci *Cumulus humulis* tvorený v lete len z kvapôčok vody a v zime z kryštálikov ľadu, ktoré sú však tak ľahké, že nedokážu svojou tiažou preraziť silu stúpajúceho vzduchu, a sú preto nútené stúpať spolu s ním. Z tohto dôvodu sa významnejšie zrážky v tomto štádiu vývoja búrkového oblaku nevyskytujú. Štádium trvá maximálne 10 až 15 minút a oblak zväčšuje svoj priemer z 1 až 3 kilometrov na 10 kilometrov a vo vertikálnom smere narastá do výšky 6 až 8 kilometrov.

Počas **vrcholného štádia** (tiež štádium zrelosti) vývoja búrkového oblaku sa vystupujúca vzduchová hmota dostáva až do takých výšok, kde teplota vzduchu, bližiac sa k -12°C, podmieňuje vznik

kryštálikov ľadu, na povrchu ktorých sú procesy kondenzácie podstatne rýchlejšie ako to bolo v prípade obyčajných kvapiek vody, vznikajúcich v spodnej časti oblaku. Proces kryštalizácie vody v hornej časti búrkového oblaku možno pozorovať aj vizuálne, pretože sa prejavuje vytváraním „strapatej“ riasovitej oblačnosti v okolí vrcholu oblaku, ktorý v tejto chvíli už nesie odborný názov *Cumulonimbus calvus*. Procesy prebiehajúce v tomto štádiu sú už také prudké a intenzívne (vystupujúce prúdy vzduchu dosahujú rýchlosť až 30 m.s<sup>-1</sup>), že ľadové kryštáliky, ktoré by už za normálnych okolností z oblaku vypadli, absolvujú celý profil búrkového oblaku aj niekoľko ráz, a tak narastajú do značnej veľkosti. V istom momente však už sila stúpajúceho vzduchu nedokáže udržať vo vzduchu toto obrovské množstvo vody a ľadu, a preto dochádza k vypadávaniu týchto zložiek z oblaku, čo spôsobuje intenzívne zrážky. Toto štádium trvá okolo 30 minút a oblak počas neho dosahuje maximum svojho vertikálneho vývoja. Tlak padajúceho ľadu a vody je vo vrcholnom štádiu už natoľko veľký, že spočiatku v zadnej časti a neskôr aj celom objeme búrkového mraku dochádza k vzniku veľmi intenzívneho zostupného prúdenia vzduchu, čo vedie k deštrukcii búrkového oblaku (**štádium rozpadu**). K samotnému zániku oblaku nedochádza len „vďaka“ tomuto procesu, ale aj v dôsledku ochladzovania zemského povrchu zrážkami bezprostredne pod oblakom. Prejavom tohto štádia je popri slabnúcich zrážkach aj vznik veľmi charakteristického tvaru hornej časti búrkového oblaku, ktorý pripomína nákovu (*Cumulonimbus incus*).

## TYPIZÁCIA BÚROK

V závislosti od meteorologických podmienok, v akých sa oblaky typu *Cumulonimbus* vyvíjajú, možno búrky deliť na:

### 1. frontálne

- na studených frontoch,
- na teplých frontoch,

### 2. miestne (vo vnútri vzduchovej hmoty)

- advektívne,
- konvektívne.

**Frontálnymi búrkami** nazývame búrky, ktoré sa vytvárajú v bezprostrednej blízkosti atmosférických frontov, a to buď studených alebo teplých. **Búrky na studenom fronte** vznikajú na čele frontálnej línie, na ktorej dochádza k intenzívnemu vytlačaniu teplého vzduchu pritekajúcim studeným vzduchom do väčších výšok, kde nízka teplota okolitého vzduchu podmieňuje kondenzáciu a tvorbu bohatej kopovitej oblačnosti typu *Cb* (*Cumulonimbus*). Rýchlosť výstupu teplého vzduchu do značnej miery závisí najmä od rýchlosti postupu samotnej frontálnej línie, to znamená, že čím rýchlejšie sa front pohybuje, tým rýchlejšie sa búrky vytvárajú a môžu mať aj ničivejšie následky. Búrky, ktoré vznikajú na studených frontoch sa v podobe takmer kontinuálnej línie ťahajú v dĺžke aj viac ako niekoľko sto kilometrov. V našich zemepisných šírkach sa častejšie vyskytujú v teplejšej polovici roka (apríl – september). Najintenzívnejší vývoj búrkovej činnosti pozorujeme vtedy, keď studené hmoty polárneho alebo arktického vzduchu vytáčajú hore veľmi teplé a vlhké hmoty tropického vzduchu alebo prehriate hmoty polárneho pevninského vzduchu. Búrky studeného frontu sú vždy spojené s tlakovými depresiami (cyklóny resp. brázdy nízkeho tlaku vzduchu) a neprejavujú veľkú závislosť od dennej doby, ani od druhu podložia. Niekedy sa búrky studeného frontu prejavujú už 200 až 300 kilometrov pred frontálnou čiarou.

**Búrky na teplom fronte** sú oveľa zriedkavejšie ako búrky studeného frontu. Ak je teplý a vlhký vzduch dvíhajúci sa pozdĺž klinu studeného vzduchu dostatočne labilizovaný (je to v prípade, keď nad ním leží oveľa chladnejší vzduch), môže dôjsť k vzniku búrkového oblaku typu *Cb*, ktorého základňa leží, v porovnaní so situáciou na studenom fronte, oveľa vyššie. V prípade búrok teplého frontu pozorovateľ nie je schopný vidieť samotný búrkový oblak, pretože je začlenený v oblačnom systéme teplého frontu (v oblakoch typu *Ns* – *Nimbostratus* a *As* – *Altostratus*). Ich prítomnosť prezrádzajú iba elektrické a akustické javy, prípadne náhle zintenzívnenie zrážok.

Pod pojmom **miestne búrky** rozumieme búrky, ktoré vznikajú vo vnútri danej vzduchovej hmoty nachádzajúcej sa dlhodobo nad určitou oblasťou.

**Advektívne búrky** vznikajú v studenej vzduchovej hmote, ktorá preniká za studeným frontom. V prípade, že preniká studený morský (polárny) vzduch v tyle cyklóny nad zohriatu pevninu, dochádza k jeho intenzívnemu prehrievaniu, a to najmä v spodných vrstvách, čo vedie k vytvoreniu sa výraznej

instability chladnej vzduchovej hmoty a tvorbe búrkových oblakov typu *Cb*. Tieto búrky je možné ľahko odlíšiť od frontálnych búrok, pretože búrkové oblaky sú v tomto prípade navzájom izolované. Advektívne búrky si však netreba zamieňať s búrkami konvektívnymi, ktoré sa vyvíjajú pri oveľa vyšších počiatočných teplotách vzduchu a premiestňujú sa pomalšie ako búrky advektívne. Čím teplejšie sú vzduchové hmoty v prízemnej atmosfére a čím chladnejší je vzduch nasúvajúci sa vo výške, tým prudšie sa advektívne búrky prejavujú.

**Konvektívne búrky** sa vyznačujú veľkou závislosťou svojho výskytu od tej dennej doby, kedy pozorujeme teplotné maximum. Vznikajú výlučne počas pekného, slnečného a horúceho počasia a majú prevažne lokálny charakter. Počas letného dňa pri slabo premenlivom tlakovom poli s malým horizontálnym tlakovým gradientom možno pozorovať stále silnejšie ohrievanie sa prízemnej atmosféry od podlažia. Teplota vzduchu stúpa zo dňa na deň a so vzrastom teploty rastie aj absolútna vlhkosť vzduchu (ak sú podmienky na evapotranspiráciu). Objavujú sa prvé oblaky *Cu* (*Cumulus*), ktoré sa postupne vyvíjajú až do štádia *Cb* (*Cumulonimbus*). Tieto búrky sa premiestňujú len veľmi pomaly a rýchlo zanikajú, aby sa na druhý deň objavili opäť, ale už o niečo skôr, ako v prvý deň. Tento proces trvá dovtedy, kým konvektívne prúdy nespôsobia zohriatie horných vrstiev troposféry a spodné vrstvy sa následkom zrážok neochladia. Teplota a absolútna vlhkosť narastajú až do chvíle výskytu búrky, relatívna vlhkosť vzduchu naopak klesá. Atmosférický tlak vplyvom silného prehrievania vzduchu klesá až do okamihu vzniku tzv. húlavy, silného nárazovitého vetra, ktorým sa vyrovnávajú tlakové rozdiely medzi okolím a oblasťou silného prehrievania vzduchu. Konvektívne búrky sú obyčajne veľmi intenzívne, často sprevádzané početnými elektrickými výbojmi a intenzívnymi zrážkami v podobe dažďa (lejakov) a krúp.

V poslednej dobe sa čoraz častejšie, najmä silné konvektívne búrky členia podľa intenzity a vnútornej štruktúry na **multicelárne a supercelárne búrky**.

**Multicelárne búrky** (*multicely*) sa skladajú z viacerých búrkových buniek, ktoré sa dokážu vzájomne ovplyvňovať tak, že výsledná búrka je výrazne silnejšia, ako keby jednotlivé búrky existovali nezávisle na sebe. Potrebné je však zdôrazniť, že aj prevažnú väčšinu obyčajných búrok často tvorí hneď niekoľko buniek a preto termín *multicela* by sa mal používať len v tom prípade, ak ide o veľmi silnú búrku. Zásadný rozdiel medzi jednobunkovou a viacbunkovou búrkou je v dĺžke ich existencie. Pretože životný cyklus búrkovej bunky sa pohybuje v rozmedzí 30 až 50 minút, nemôže byť obyčajná jednobunková búrka časovo dlhšia. Akonáhle avšak má búrka viac buniek, môže takýto systém vydržať aj podstatne dlhší čas, dokonca až niekoľko hodín (najmä *multicely*).

**Supercelárne búrky** (*supercely*) sú naopak väčšinou jednobunkové búrky, pričom pojem „super“ sa nevzťahuje k ich veľkosti, ale k intenzite procesov, ktoré v nich prebiehajú. Na rozdiel od obyčajnej búrky *supercela* rotuje (resp. jej jadro) okolo zvislej osi, pričom rotácia obyčajne začína v stredných výškových hladinách, odkiaľ sa šíri tak smerom hore ako aj dole, k základni búrky. Z tohto dôvodu môže byť za *supercelu* označená len taká búrka, v ktorej bola spomínaná rotácia identifikovaná buď meteorologickými radarmi alebo vizuálne. Práve rotácia je jedným z činiteľov, ktoré zabezpečujú búrke podstatne dlhšiu dobu existencie (až niekoľko hodín). Sprievodnými javmi supercelárnych búrok sú často veľmi silný nárazový vietor, intenzívne privalové zrážky, mimoriadne veľké krúpy alebo dokonca až tornáda (o tomto type búrok viac v časti o tornádach).

## SPRIEVODNÉ JAVY

Zatiaľ čo búrka sama o sebe vo väčšine prípadov nepredstavuje pre človeka a jeho ekonomické záujmy veľké nebezpečenstvo, sprievodné javy, ktoré sú bezprostrednými produktmi jej činnosti, si z tohto hľadiska zaslúžia oveľa väčšiu pozornosť.

**Húlava**, ako jeden z najčastejšie sa vyskytujúcich sprievodných javov búrky, je náhle a krátkodobé zosilnenie vetra, nezriedka i nad  $20 \text{ m.s}^{-1}$ , ktoré často spôsobuje škody na rôznych objektoch a stromoch. Ide v skutočnosti o prúdenie vzduchu okolo horizontálnej osi. Prejav húlavy na tvare základne búrkového oblaku je možné veľmi dobre identifikovať aj z väčšej vzdialenosti v podobe tmavého golierovitého okraja oblaku.

**Elektrický výboj** (*blesk*) je spolu s hrmením azda najznámejším prejavom činnosti búrky alebo ináč povedané, bez blesku a hrmenia by nebola búrka búrkou. A to doslova, pretože v odbornej praxi sa búrka identifikuje predovšetkým na základe existencie blesku. Blesk je veľmi silný prírodný, elektrostatický výboj (jav, pri ktorom sa dva rovnako veľké nesúhlasne náboje rušia) vznikajúci

najčastejšie práve pri búrke – bleskový výboj je pritom sprevádzaný emisiou svetla a sprevádzaný vznikom rázovej vlny (spôsobená expanziou vzduchu zahriateho na veľmi vysokú teplotu vzduchu – až 30 000 °C), ktorú človek vníma ako hrmenie. Blesk je jav, ktorý ma ohromujúcu energiu, elektrický prúd, ktorý preteká bleskovým kanálom ma veľkosť najčastejšie niekoľko 100 000 ampérov pri napätí niekoľko mega Voltov. Blesk môže nadobúdať rôzne tvary, dokonca rôzne farby, závisí to predovšetkým od konkrétnych fyzikálnych a poveternostných podmienok. Poznáme niekoľko základných typov bleskov – čiarový (stuhový), plošný, perlový a snáď najzaujímavejších guľový blesk. Asi len 10 % bleskov udrie do Zeme. Záhadu blesku vyriešil v roku 1753 Benjamin Franklin, ktorý predpokladal, že blesk je elektrickou iskrou a chcel to dokázať pomocou papierového draka. Na šnútku tohto draka priviazal kľúč, z ktorého začali vyskakovať iskry. Franklin mal vtedy skutočne veľké šťastie, že ho v tom okamžiku nezasiahol blesk. Podobný pokus chcel vykonať aj ruský vedec Wilhelm Richmann, ktorého však v tom istom roku (1753) blesk skutočne zabil. Po svojom pokuse začal Franklin propagovať zakladanie bleskozvodov (bol to však práve Prokop Diviš, ktorý ako prvý zostrojil a správne uzemnil bleskozvod) na všetkých budovách, predpokladal totiž, že kovová tyč dokáže z oblaku vysať všetok elektrický náboj. Dnes však vieme, že to tak nie je. Úlohou bleskozvodov nie je „odzbrojenie“ búrkového oblaku, ale do určitej miery uľahčuje udretie blesku. Ochranná funkcia bleskozvodu spočíva najmä v tom, že dokáže odvieť elektrický prúd blesku do zeme spôsobom, ktorý nie je pre okolie nebezpečný – podstatné však je, aby bol bleskozvod dôkladne uzemnený. Každý blesk, ktorý zasiahne zemský povrch je pre nás potenciálne nebezpečný, Avšak ak sa v našom bezprostrednom okolí nachádza dostatočne vysoký objekt, najlepšie s bleskozvodom, nie je potrebné sa veľmi znepokojevať, avšak byť úplne pokojný by sa nám taktiež nemuselo vyplatiť. Okrem bežného čiarového blesku sú veľmi nebezpečné aj tzv. guľové blesky, ktoré sa zvyknú pohybovať pomerne pomaly a pripomínajú žiariacu guľu, ktorá dokáže preniknúť aj do ľudských obydľí. Pri dotyku môže spôsobiť ťažké, niekedy až smrteľné popáleniny. Tým sa výrazne odlišuje od klasického blesku, ktorý spôsobuje úmrtie najmä v dôsledku zástavy srdca (podobne ako pri zásahu elektrickým prúdom).

Pravdepodobne najviac škôd si počas vyčíňania búrky vyžiada **krupobitie**, ktoré je sprievodným javom len značne intenzívnych búrok. A prečo? V tomto prípade je potrebné si uvedomiť, že krúpy vznikajú postupným kondenzovaním, resp. zamŕzaním vodnej pary a kvapiek vody na povrchu ľadových kryštálikov, ktoré sa vplyvom silných vzostupných prúdov vzduchu dostávajú striedavo do spodnej a striedavo do hornej časti oblaku. Tento cyklus môže prebehnúť aj niekoľkokrát za sebou, čím sa samozrejme krúpy neustále zväčšujú a „pribierajú“ na váhe. V istom okamihu sú už také ťažké, že ich výstupné prúdenie nedokáže udržať vo vzduchu a začínajú padať k zemi. Na jej povrch dopadajú v tuhom stave len v tom prípade, že sa cestou k zemi nestačili v teplejšom vzduchu roztopiť. Veľkosť takýchto krúp býva rôzna: od veľkosti hrášku až po veľkosť orecha, no uvádzajú sa i prípady, kedy dopadli na zem krúpy veľkosti väčšej ako ľudská päť.

## **SUPERCELÁRNE BÚRKY, TROMBY A TORNÁDA**

So vznikom tornád alebo všeobecnejšie tromb (tromba je všeobecné pomenovanie pre lievikovitý oblačný útvar, najčastejšie viditeľný v spodnej časti búrkového oblaku, a výrazne rotujúci okolo vertikálnej alebo čiastočne zvislej osi rotácie, tromba sa mení na tornádo až vo chvíli, keď sa dotkne zemského povrchu) súvisí vývoj intenzívnych a silných búrok, ktoré sa zvyknú v meteorológii označovať ako **supercelárne** (alebo jednoducho *supercely*). Ide o veľmi špecifický typ búrok, ktorý sa vo všetkých podstatných znakoch odlišuje od „klasických“ búrok. Supercely vznikajú najčastejšie v podmienkach, kedy sa podstatná časť búrkového oblaku v dôsledku silného horizontálneho (bočného) prúdenia vzduchu v spodných a v stredných hladinách troposféry doslova „roztočí“ okolo vertikálnej osi. V klimatických a prírodných podmienkach strednej, prípadne aj západnej Európy môže ku vzniku supercelárnych búrok a tornád dôjsť najčastejšie v letných mesiacoch, najčastejšie pri prechode rýchlo postupujúcich studených frontov, oddeľujúcich teplotne a vlhkosťne značne kontrastné vzduchové hmoty. Ďalšou veľmi dôležitou podmienkou týchto búrok je existencia veľmi výraznej zmeny smeru (a rýchlosti) horizontálneho prúdenia vzduchu vo vertikálnom smere (tzv. vertikálny strih vetra). Z vyššie uvedeného vyplýva, že tornáda sa môžu vyskytnúť, s výnimkou polárnych regiónov, takmer všade, to znamená aj na Slovensku. Zato, že sa ich celkový ročný počet na Slovensku a v Európe ani z ďaleka nepribližuje ich počtu na americkom stredozápade, môžeme vďačiť najmä polohe hlavných horských masívov (Alpy, Karpaty, Pyreneje), ktoré sú usporiadané

prevažne do východno-západných línií. Tie, laicky povedané, zabraňujú tomu, aby sa v relatívne krátkom čase, v bezprostrednej blízkosti ocitli vzduchové hmoty s krajne odlišnými charakteristikami teploty, vlhkosti, prípadne výškového prúdenia. V prípade, že k tomuto „stretu“ v letnom období predsa len dôjde, môže to vyústiť do vzniku a vývoja veľmi silných búrok, z ktorých niektoré môžu byť dokonca až supercelárne. Vznik tornád však nemusí byť vždy bezprostredne spojený len s vývojom supercelárnych búrok. V prípade, že sú sprievodným javom obyčajných konvektívnych búrok, bývajú tornáda alebo tromby spravidla slabšie a menej výrazne.

Hlavným rozpoznávacím znakom tornáda je bezpochyby jeho vzhľad v podobe lievikovitého chobota alebo stĺpu, ktorý vzniká v dôsledku kondenzácie vodnej pary v rýchlo rotujúcom vzduchu. Tornádo najčastejšie rotuje v protismere pohybu hodinových ručičiek a na jeho kontakt so zemským povrchom upozorňujú najmä zvrútený prach a trosky rôznych predmetov, ktoré sú vo väčšine prípadoch hlavnou príčinou úmrtí ľudí alebo zvierat. Občas dochádza aj k prípadom, kedy na periférii samotného tornáda vznikajú tzv. podružne alebo sekundárne sacie víry, ktoré často krát svojou silou prevyšujú intenzitu hlavného tornáda, ale našťastie doba ich životnosti je relatívne krátka (maximálne niekoľko desiatok sekúnd). O až neskutočne vysokých rýchlostiach rotujúceho vzduchu v najsilnejších tornádach svedčí predovšetkým ohromný rozsah škôd a ich fatálne následky v postihnutých oblastiach. Najvyššie namerané rýchlosti rotácie tornád sa šplhajú až k 500 km/h. Deštruktívny potenciál tornád býva najčastejšie výslednicou rýchlosti postupu a rotácie atmosférického víru, pričom nezanedbateľným faktorom je aj celková doba, počas ktorej pôsobí na konkrétny objekt. Pre odhad sily a intenzity tornáda používajú meteorológovia najčastejšie tzv. Fujitovu stupnicu, ktorá rýchlosť víru kategorizuje na základe charakteru vzniknutých škôd. Najslabším tornádam sa prisudzuje označuje F0, tým najsilnejším F5. Rýchlosti rotácie tornáda, uvedené v tejto klasifikácii, je však potrebné považovať v stredoeurópskych podmienkach len za orientačné hodnoty, pretože Fujita zohľadňoval odlišný typ stavebných konštrukcií, ktoré sú typické pre oblasť USA. Najväčší rozsah škôd vzniká najmä v dôsledku pôsobenia tlaku rýchlo rotujúceho vzduchu. Netreba však zabúdať, že tornádo má, vzhľadom na svoje silné vztlakové sily, schopnosť prenášať rôzne veľké predmety do veľkých výšok a značných vzdialeností.

## TORNÁDA NA SLOVENSKU

Tornáda, resp. im odpovedajúci rozsah škôd už boli na Slovensku viackrát zaznamenané, väčšinou však chýba priamy obrazový alebo iný fotodokumentačný materiál, ktorý by zachytil tornádo priamo pri jeho vyčíňaní. Ich výskyt je teda najčastejšie určený len nepriamo, na základe dostupných informácií z „druhej“ ruky (výpovede svedkov, rozsah a charakter škôd,...). Podmienky vzniku tornáda môžu byť čiastočne identifikované aj na základe snímok meteorologických radarov, pomocou ktorých dokáže skúsený meteorológ odhaliť vývoj veľmi špecifickej štruktúry **supercelárnej búrky**. Medzi posledné dokumentované prípady výskytu tornáda alebo tromby na území Slovenska patria dve zaznamenané tornáda z roku 2004. Prvé sa vyskytlo 1. júna 2004 v okolí obce Veľké Zálužie a podľa dostupných informácií trvalo až päť minút. Druhé bolo pozorované 19. júla 2004 v okolí Brezovej pod Bradlom. V oboch prípadoch išlo o výskyt tromby, ktorá sa preukázateľne dotkla zemského povrchu (podľa definície teda už ide o tornádo), no vzhľadom na jej nízku intenzitu (stupeň F0 až F1), nespôsobila významnejšie škody. K vzniku tromby a tornáda určite nechýbalo veľa ani pri nedávnej sérii búrok (pravdepodobne so supercelárnym vývojom) z 15. augusta 2008 v okolí stredného Považia, ktorej vývoj pravdepodobne vyvrcholil v oblasti južného Poľska, kde bolo pozorované tornádo zanechávajúce za sebou značné škody a podľa informácií v médiách dosiahlo intenzitu F2 až F3.

I napriek tomu, že väčšina z nás pravdepodobne nikdy nebude mať to šťastie, prípadne nešťastie zažiť tornádo takpovediac na „vlastnej koži“, môžu byť informácie o tom, ako sa správať a čo robiť v takejto situácii, vcelku hodiť. V prípade, že sa k vám tornádo blíži a zhodou okolností sa nachádzate v blízkosti nejakej budovy, najlepšou možnosťou je schovať sa do miestnosti bez okien, prípadne do podzemnej garáže. V prípade, že sa nachádzate vo svojom byte, dobre urobíte, ak sa ukryjete do bytového jadra. Rozhodne sa vyhýbajte stodolám, autám, príviesom, prípadne iným neukotveným objektom, ktoré už na prvý pohľad nevyzerajú dvakrát bezpečne. Ak vás zastihne tornádo v prírode, pokúste sa vyhľadať nejakú terénnu depresiu (priekopu alebo val) a ľahnite si tvárou k zemi. Snažte sa, aby priestor medzi vami a zemou bol čo najmenší. Určite nevstupujte do lesných porastov, padajúce kmene stromov by vás mohli ľahko pripraviť o život.

## JE MOŽNÉ BÚRKY PREDPOVEDAŤ?

Poveternostné podmienky, ktoré vytvárajú predpoklady pre vznik búrok, sa dajú predpovedať s dostatočným časovým predstihom, aj viac ako 24 hodín. Nevyspytateľnosť búrok však spočíva v tom, že ich konkrétny vývoj na danom mieste prebieha veľmi rýchlo a búrka prejde všetkými svojimi vývojovými štádiami za jednu, maximálne dva hodiny. Tieto štádia vývoja búrky sa dajú monitorovať meteorologickými radarmi, ale čas na varovanie potenciálne zasiahnutého územia, je z vyššie uvádzaných skutočností dosť obmedzený. V praxi okrem toho málokedy tvorí búrku iba jedno búrkové jadro, jeden oblak s mohutným vertikálnym vývojom. Búrka sa väčšinou skladá so skupiny oblakov, pričom každý z nich má individuálne štádium vývoja, takže konkrétny výsledok, ktorý poskytnú meteorologické radary, môže byť dosť zložitý.

## KLIMATOLÓGIA BÚROK

Búrky sú zvlášť časté nad pevninou v tropických šírkach, kde sa môže vyskytnúť 150 až 200 dní s búrkou (Uganda: 242 dní s búrkou). Nad **oceánmi** je v tomto pásme búrok oveľa menej (10 až 30 dní s búrkou za rok). V **subtropických šírkach**, kde prevláda celoročne vysoký tlak vzduchu je búrok pomerne málo, nad oceánmi len 5 až 20 dní za rok, nad pevninami do 50 dní za rok. V **miernych zemepisných šírkach** je nad pevninou 10 až 30 dní s búrkou za rok, naopak nad oceánom len okolo 10 dní, a to najčastejšie v zime. V **polárnych oblastiach** sú búrky veľmi vzácnym javom.

Ubúdanie počtu dní s búrkou za rok od nízkych širok po vysoké je pochopiteľné. Ako sme uviedli vyššie, búrky pre svoj vznik potrebujú nielen značne labilné zvrstvenie ovzdušia a silnú konvekciu, ale aj vysoký obsah vodnej pary vo vzduchu, ktorý smerom do vyšších zemepisných širok klesá v dôsledku poklesu teploty vzduchu.

Na **Slovensku** sa pozoruje za rok v priemere okolo 15 až 30 dní s búrkou, pričom vyšší počet je typický pre niektoré špecifické regióny: východná časť Podunajskej nížiny, Tatry, Zvolenská kotlina, Spiš, Malé Karpaty, južná časť Východoslovenskej nížiny. Fyzikálne opodstatnenie výskytu búrok v jednotlivých regiónoch Slovenska nie je zatiaľ dostatočne objasnené, preto sa ním nebude ďalej zaoberať. Z hľadiska hodnotenia ročného chodu výskytu búrok sú búrky najčastejším javom v júli (28%), máji (24%) a júni (22%). Najmenej častým javom sú naopak v januári a februári (menej ako 1% prípadov). Počas letného dňa sa najčastejšie vyskytujú búrky v popoludňajších hodinách (okolo 14. až 15. hodiny), kedy v súvislosti s výskytom denného maxima teploty vzduchu prízemnej atmosféry sú podmienky pre konvekciu najlepšie. Naopak nad oceánmi, kde neexistuje výraznejší denný chod teploty vzduchu, sú najideálnejšie podmienky pre formovanie mohutnej búrkovej oblačnosti v nočných až ranných hodinách.

## BÚRKY A KLIMATICKÁ ZMENA

Globálna zmena klímy, ktorej hlavným prejavom je predovšetkým zvyšujúca sa teplota vzduchu a zmena ostatných významných klimatologických prvkov a charakteristík prízemnej vrstvy atmosféry, zrejme môže v najbližšom období významným spôsobom ovplyvniť nielen dynamiku a intenzitu, ale aj globálny výskyt búrok. Akým spôsobom by teda meniace sa klimatické pomery tak na Slovenska, ako aj v širšom európsko-atlantickom priestore, mohli ovplyvniť spomínané charakteristiky búrkových javov? Problém by bolo možné riešiť použitím dvoch prístupov, a to *meteorologického a klimatologického*.

**Meteorologický prístup** vychádza predovšetkým z fyzikálne korektných a postulovaných zákonitostí medzi hlavnými klimatologickými prvkami a fyzikálneho mechanizmu vzniku extrémnych zrážok, napríklad počas búrok. Použitím tohto prístupu možno aspoň približne odhadnúť rast úhrnov zrážok pri jednotlivých búrkových epizódach v teplejšej a vlhšej atmosfére. Prístup vychádza z fyzikálnej závislosti mernej vlhkosti vzduchu v stave nasýtenia ( $s^*$ ) od teploty vzduchu. Z grafu na Obr.6 vidieť pomerne prudký (exponenciálny) nárast mernej vlhkosti vzduchu pri raste teploty vzduchu ( $T$ ) na všetkých uvedených kondenzačných hladinách (1000 – 600 hPa). To sa zrejme premietne do veľkosti úhrnov zrážok ( $R$ ) a ich intenzity pri usporiadaných výstupných pohyboch (nárast o približne 20 až 25%). Na druhej strane pri vyšších hodnotách mernej vlhkosti ( $s^*$ ) je vo všeobecnosti vyššia aj rýchlosť vystupujúceho vlhkého vzduchu ( $w$ ), čo samozrejme závisí najmä od vertikálneho teplotného gradientu a energie vertikálnej teplotnej instability.

Ďalším významným faktorom, ktorý urýchľuje predovšetkým proces kondenzácie, je intenzívnejšia turbulencia pri vyššej teplote nasýteného vzduchu. Pri krátkodobých intenzívnych lejakoch počas búrkových epizód sa môžu vplyvom silnejšej turbulencie zvýšiť úhrny zrážok o ďalších 20%. Výsledné úhrny zrážok počas búrok by mohli byť po oteplení o 3 až 4°C (čo je zatiaľ maximálny odhad oteplenia pre Slovensko v 21. storočí) až o 50% vyššie, ak samozrejme predpokladáme, že sa budú vyskytovať vhodné cyklonálne a nestabilné situácie aj v blízkej budúcnosti. V súvislosti s predpokladom intenzívnejších výstupných pohybov v búrkach možno taktiež predpokladať aj dramatickejší priebeh a častejší výskyt sprievodných javov búrok, ako napríklad nárazového vetra (húľava), elektrických výbojov či krupobitia. Existujú dokonca predpoklady o častejšom výskyte tornád, ktoré sú na Slovensku skutočne ešte veľmi vzácné.

**Klimatologický prístup** je zatiaľ ešte veľmi málo rozpracovaný, no v podstate by mal vychádzať z ťažšie kvantifikovateľných väzieb medzi geografickým charakterom krajiny na jednej strane a prejavmi búrkovej činnosti na strane druhej. To znamená vykonať podrobnejšie zhodnotenie vplyvu celkového charakteru geograficky chápanej krajiny (vplyv orografie, vegetácie či lesnatosti, hydrologických objektov – vodných nádrží, pedosféry a pod.) na priestorový výskyt búrok. Na tomto mieste je potrebné poukázať na to, že pri hodnotení vplyvu vybraných fyzikogeografických zložiek na výskyt búrok sú z dlhodobého hľadiska významné najmä ich priestorové zmeny v krajine (zmena lesnatosti, zmeny využitia zeme,...). Je tu však potrebné zdôrazniť aj to, že dlhodobé zmeny výskytu búrok v neposlednom rade závisia aj od zmien celého radu relevantných klimatických faktorov, akými sú napríklad zmeny cirkulačných pomerov (nielen na Slovensku, ale aj v širšom európsko-atlantickom priestore), zmeny distribúcie zrážok a z nich vyplývajúcich zmien podmienok zavlaženia územia a pod. Kdesi na pomedzí oboch spomínaných prístupov stojí rovnako dôležitá dynamicko-klimatologická analýza, ktorej podstatou je analyzovať častosť a priestorový výskyt búrok na Slovensku v závislosti na konkrétnom synoptickom type počasia (určený najmä všeobecným charakterom cirkulácie vzduchu a konkrétnym typom vzduchovej hmoty). Pomocou tejto metódy je možné do určitej miery zhodnotiť vplyv zmien veľkopriestorovej cirkulácie na výskyt búrok na Slovensku.

## POUŽITÁ LITERATÚRA A ODPORÚČANÉ ZDROJE INFORMÁCIÍ O BÚRKACH

- AHRENS, C. A. D. 1988. *Meteorology today*. St. Paul. West Publishing Company, New York, 1988, 581 s.
- BEDNÁŘ, J. 2003. *Meteorologie: úvod do studia dejů v zemské atmosféře*. Prvé vydanie, Portál, Praha, 2003, 224 s.
- DAI, A. 2001a. Global precipitation and thunderstorm frequencies. Part I: Seasonal and interannual variations. In: *Journal of climate*. Vol. 14, No. 6, 2001, pp. 1092-1111.
- DAI, A. 2001b. Global precipitation and thunderstorm frequencies. Part II: Diurnal variations. In: *Journal of climate*. Vol. 14, No. 5, 2001, pp. 1012-1028.
- HLAVÁČ, A. 1986. *Bojíte sa blesku?* Alfa – Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava, 1986. 202 s.
- MUNZAR, J. 1989. *Malý pruvodce meteorológií*. Mladá fronta, Praha, 1989, s.42-44.
- NEDELKA, M. 2003. *Slnko, atmosféra a oceán – populárne*. Magnet Press, Slovakia, Bratislava, 231 s.
- ORAVEC, D. 2000. *Búrkové pomery na Horehroní*. Bratislava: Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave, 2000, s. 17-48 – Diplomová práca.
- PECHO, J. 2005. *Možný vplyv klimatickej zmeny na výskyt búrok na Slovensku*. Diplomová práca. PRIF UK, Bratislava, 87 s – Diplomová práca.
- PODZIMEK, J. 1959. *Fyzika oblaků a srážek*. Československá akademie věd, Praha, 476 s.
- ŘIHÁNEK, L.V., POSTRÁNECKÝ, J. 1957. *Bouřky a ochrana před bleskem*. Československá akademie věd, Praha, 1957, 501 s.
- SEIFERT, V. 1987. *Rozumíme počasí?* ARTIA, Praha, 1987. 192 s.
- SETVÁK, M. 1999. *Konvektivní bouře – pohled z vesmíru na jeden z nejkrásnějších živelních projevů*. In: *Vesmír*, 78, č.5, Praha, s.33-40.
- SMITH, J. A, BEACK, M. L., ZHANG, Y. 2001. Extreme rainfall and flooding from supercell thunderstorms. In: *Journal of hydrometeorology*. Vol. 2, No. 5, 2001, pp. 469-489.
- SCHMIDT, M. 1972. *Meteorológia pre každého*. Alfa, Bratislava, 250 s.