

Tornáda

**a iné nebezpečné búrkové javy na území
Slovenska**

Obsah

Tornáda.....	4
4. júl 2000.....	4
Bratislava.....	5
Trnava.....	5
Madunice.....	6
Beaufortova stupnica sily vetra.....	6
Fujitova stupnica intenzity tornáda.....	10
Stupnica intenzity tornáda TORRO.....	11
Kotešová.....	14
19. marec 2001.....	17
Budatínska Lehota.....	18
29. máj 2001.....	20
Slovenská Ves.....	20
Fotografie atmosférických vírov na Slovensku.....	20
Macrobursty a microbursty.....	23
Čo je vlastne macroburst (microburst)?.....	23
Z histórie.....	23
Ako možno microburst spozorovať?.....	26
Čo možno registrovať počas preletu microburstom?.....	26
Štruktúra a jednotlivé typy microburstov.....	28
Suchý microburst.....	28
Mokrý microburst.....	29
Prečo je microburst schopný narobiť také škody? Ako vzniká vír?.....	31
Bernoulliho rovnica.....	32
Čo je motorom microburstu? Prečo vzniká?.....	36
Prečo microburstom „rozumieme“, ale zatiaľ ich nevieme predpovedať?.....	37

Aké sú prostriedky skúmania microburstov?.....	38
Radary.....	38
Vizuálne pozorovania.....	39
Staničné merania.....	40
Iné metódy pozorovania.....	40
Možnosti výskumu microburstov na Slovensku. Detekcia a okamžité výstrahy.....	41
Štatistické spracovanie – o niekoľko desaťročí?.....	42
Štúdium nebezpečných búrkových javov a verejnosť.....	42
Literatúra a ďalšie zdroje informácií.....	44

Čiary nárazov (húľav).....46

Fotografie húľavových mrakov na Slovensku.....	46
8. máj 2001.....	46
Levice.....	46
24. jún 2000.....	48
Bratislava.....	48

Zimné búrky.....51

Ako vznikajú búrky?.....	51
Ako sa tvorí búrková oblačnosť v zime?.....	52
Elektrická aktivita búrok v zime.....	53
Búrky v zimnom období a globálne otepľovanie?.....	54
Literatúra.....	54
21. január 2005.....	55
juhozápadné Slovensko.....	55

Vzhľadom na silné juhozápadné prúdenie vo vyšších hladinách atmosféry postupovali búrky na spomenutom fronte v línii juhozápad-severovýchod, preto ich najväčší výskyt bol zaznamenaný na západe a severozápade Slovenska. Úhrny zrážok, ktoré boli namerané na našich meteorologických staniách väčšinou neboli veľké – v rozpätí od 0 do 10 mm. Výnimku tvorili niektoré stanice na severe ako napr. Oravská Lesná (14 mm) a Polomky (24 mm za 12 hodín). Vo veľkej časti západného a stredného Slovenska však boli zaznamenané silné nárazy vetra presahujúce 20, resp. 30 m/s (nie všetky však boli spojené s búrkovou činnosťou). Maximálny náraz vetra bol nameraný na stanici v Jaslovských Bohuniciach (41 m/s, čiže takmer 150 km/h). Náraz s rýchlosťou 30 m/s (108 km/h) a viac namerali aj stanice: Bratislava - Koliba, Kuchyňa pri Malackách, Žilina, Trenčín, Nitra a Prievidza. Na niektorých miestach sa popri búrke vyskytlo aj krupobitie. Silný vietor bol väčšinou spojený s prechodom studeného frontu (v niektorých lokalitách navyše podporovaný búrkovou činnosťou), na ktorom bol veľký teplotný kontrast a za ktorým nasledoval aj výrazný nárast tlaku vzduchu. Na niektorých staniách teplota vzduchu klesla počas búrky za krátku dobu (niekoľko minút) až o 11 stupňov Celzia a tlak prudko stúpol až o 3 hPa. Pozorované prachové víry (a pravdepodobne aj tornáda) zrejme súviseli s veľkými horizontálnymi aj vertikálnymi zmenami smeru a rýchlosti prúdenia v okolí frontálneho rozhrania.

Lokality, v ktorých boli pozorované prachové víry (a pravdepodobne aj tornáda):

Bratislava (veľký prachový vír, možno tornádo)

Prvý z vírov bol pozorovaný zhruba o 17:15 letného stredoeurópskeho času (LSEČ) v lokalite Bratislava -Vajnory na miestnom letisku. Nachádzal sa na okraji búrkovej oblačnosti, ktorá smerovala na severovýchod. Doba trvania víru bola približne pol minúty a vír nebol viditeľne spojený so spodnou základňou oblačnosti. Preto nie je isté, či to skutočne bolo tornádo, alebo išlo len o veľký prachový vír (bosorka), ktorý sa vytvoril v prízemnej vrstve atmosféry. Evidentne sa však dala pozorovať rotácia v oblasti víru. Na druhej strane, každé tornádo nemusí byť viditeľne spojené so základňou oblaku (k tomu dochádza v dôsledku silného poklesu tlaku v tornáde a následnej kondenzácie vodnej pary), a to hlavne v prípadoch, keď tornádo iba vzniká, prípadne ak vlhkosť vzduchu pod oblakom a pokles tlaku v oblasti tornáda (ten zase závisí od rýchlosti vetra v ňom) nie sú dostatočné. Preto výskyt tornáda v tomto prípade nemožno ani potvrdiť, ani vylúčiť.

Trnava (veľmi pravdepodobne tornádo)

Svedectvo o výskyte tohoto víru, ktorý možno s vysokou pravdepodobnosťou označiť za tornádo, poskytol náš kolega z Oddelenia predpovedí a výstrah na SHMÚ Mgr. Pavol Beránek:

"4.júla popoludní som videl malé tornádo severovýchodne od Trnavy. Vyskytlo sa o 16:25 stredoeurópskeho času (17:25 LSEČ) nad poľom, 1,5 km od severovýchodného okraja mesta, smerom na severovýchod . Bolo vysoké zhruba 150 metrov."

Čas výskytu tornáda sa približne zhoduje s časom výskytu najsilnejšieho nárazu vetra v Jaslovských Bohuniciach. Pozorovateľ nehlásil v tom čase žiadne mimoriadne prejavy počasia, čo je však vzhľadom na značnú vzdialenosť od miesta výskytu tornáda (asi 8 km)

pochopiteľné. Tornádo bolo pozorované len počas krátkej doby, nakoľko svedok sa nemohol v dôsledku veľmi silného vetra zdržiavať dlhšie mimo domu. Preto nevieme, ako dlho tornádo existovalo a ktorým smerom sa pohybovalo. Ďalšie svedectvá o tomto tornáde ani záznamy o škodách nemáme k dispozícii.

Madunice (veľmi pravdepodobne tornádo)

Vír pozorovaný v tejto oblasti možno opäť s vysokou pravdepodobnosťou označiť za tornádo. Podľa očitého svedka vír zasiahol priamo obec Madunice, ležiacu medzi Hlohovcom a Piešťanami. Je málo pravdepodobné, že by mohlo ísť o ten istý vír, ktorý bol pozorovaný severovýchodne od Trnavy, nakoľko vzdialenosť týchto miest je takmer 12 km. Očividne sa dala rozoznať rotácia víru a v tomto prípade došlo aj k viacerým škodám na strechách domov v dedine. Podobne ako v prvom prípade bol vír viditeľný vďaka veľkému množstvu prachu, ktoré niesol so sebou. Tento prípad je zo všetkých najlepšie zdokumentovaný.

Podrobnosti o výskyte prachového víru v Maduniciach:

Nasledujúce informácie a mapky nám poskytol **Ján Karabčík**, ktorý bol očitým svedkom spomenutého víru.

1. Priebeh počasia 4.7.2000 v obci Madunice (okres Hlohovec, cca 3 km severne od Leopoldova):

Oblačnosť začala na mieste pozorovania pribúdať okolo poludnia a už v čase od 12 -tej do 15-tej hodiny LSEČ bolo takmer zamračené strednou a vysokou oblačnosťou. Napriek tomu vystúpila teplota zhruba o 16-tej hodine LSEČ na 30,4 stupňa Celzia. Zrána vial slabý západný vietor, ktorý sa zmenil postupne na južný, s rýchlosťou 4 až 8 m/s (cca 15 až 30 km/h). O 17:15 LSEČ už bolo možné pozorovať nákovu búrkového oblaku. Na západnom obzore prechádzala stredná a vysoká oblačnosť do nízkej. Južný vietor zosilnel až na 10 m/s (36 km/h – vid' [Beaufortovu škálu](#) nižšie). Teplota vzduchu bola však ešte vysoká - na úrovni približne 29°C.

Beaufortova stupnica sily vetra

Rýchlosť vetra v stupnici platí pre štandardnú výšku 10 metrov nad zemou vo voľnom teréne. Berie sa pritom do úvahy **10 minútový** rýchlostný **priemer** (aby ho bolo možné porovnávať s meraniami na meteorologických staniciach). Stará stupnica mala mierne odlišné škálovanie, účinky vetra na predmety v nej boli porovnávané s priemermi meranými v šesť metrovej výške nad terénom.

(Rýchlosť vetra v prízemných vrstvách atmosféry sa znižuje s klesajúcou výškou v dôsledku trenia o zemský povrch až po určitú hladinu, kde dosahuje nulovú hodnotu. Výška tejto hladiny sa pokladá za parameter drsnosti terénu).

Beaufortov stupeň sa používal kedysi aj ako jednotka rýchlosti vetra, najmä u

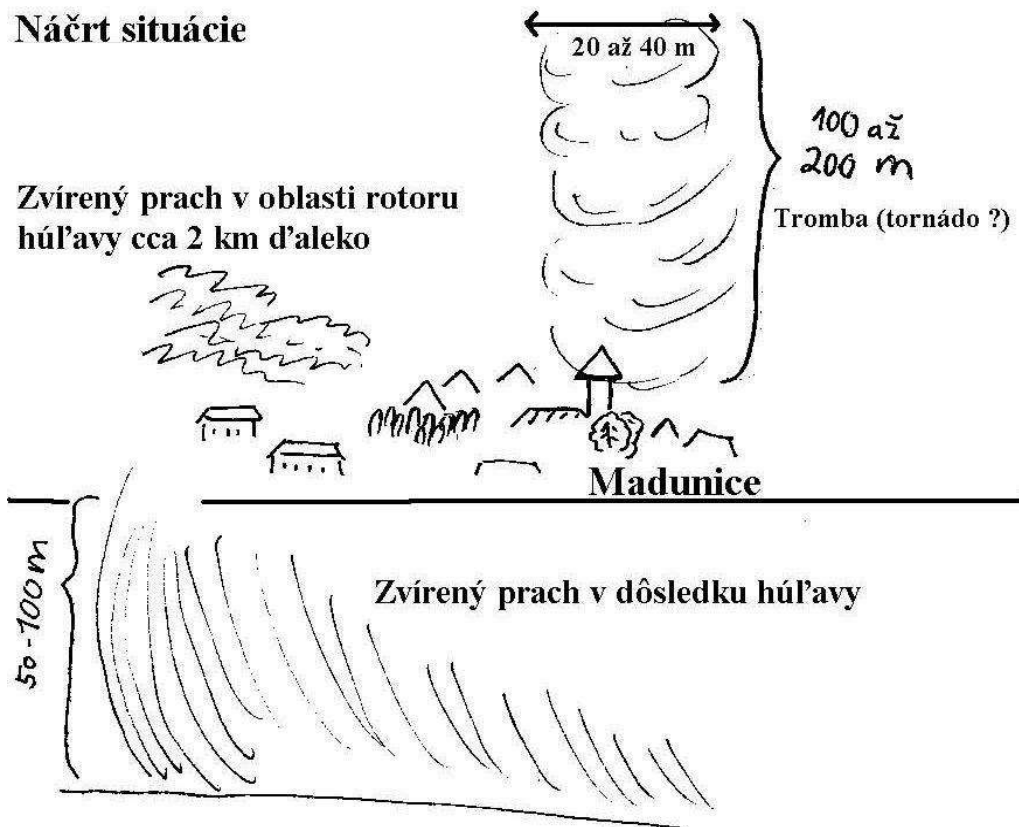
námorníctva. Táto jednotka mala názov **ball**. Pôvodná stupnica bola totiž zostavená podľa účinkov vetra na morskú hladinu a intenzitu vlnobitia.

Beaufortov stupeň (ball)	Označenie vetra	Rýchlosť vetra	Účinky vetra
0	Bezvetrie	0,0 až 0,2 m/s 1 km/h	Dym vystupuje priamo hore.
1	Vánok	0,3 - 1,5 m/s 1 - 5 km/h	Smer vetra možno rozoznať podľa pohybu dymu, vietor však neúčinkuje na veternú koruhvu.
2	Slabý vietor	1,6 - 3,3 m/s 6 - 11 km/h	Vietor cítiť na tvári. Listy stromov šelestia.
3	Mierny vietor	3,4 - 5,4 m/s 12 - 19 km/h	Listy stromov a vetvičky sú v trvalom pohybe. Vietor napína zástavky.
4	Dost' čerstvý vietor	5,5 - 7,9 m/s 20 - 28 km/h	Vietor zdvíha prach a kúsky papierov. Pohybuje menšími vetvami.
5	Čerstvý vietor	8,0 - 10,7 m/s 29 - 38 km/h	Listnaté kry sa začínajú hýbať. Na stojatých vodách sa tvoria menšie vlnky so spenenými hrebeňmi.
6	Silný vietor	10,8 - 13,8 m/s 39 - 49 km/h	Vietor pohybuje hrubšími vetvami. Telegrafné drôty svišťa, používanie dáždnikov je obtiažne.
7	Prudký vietor	13,9 - 17,1 m/s 50 - 61 km/h	Vietor pohybuje celými stromami. Chôdza proti vetru je obtiažna.
8	Búrlivý vietor	17,2 - 20,7 m/s 62 - 74 km/h	Vietor odlamuje vetvy. Chôdza proti vetru je normálne nemožná.
9	Víchrice	20,8 - 24,4 m/s 75 - 88 km/h	Vietor spôsobuje menšie škody na stavbách. Strháva komíny a škridlice zo striech domov.
10	Silná víchrice	24,5 - 28,4 m/s 89 - 102 km/h	Vyvracia stromy a spôsobuje značné škody na domoch.
11	Mohutná víchrice	28,5 - 32,6 m/s 103 - 117 km/h	Spôsobuje rozsiahle škody a spustošenie krajiny
12	Orkán	32,7 m/s a viac nad 118 km/h	Ničivé účinky. V našich šírkach sa vyskytuje pri mimoriadne hlbokých tlakových nížach, v južných šírkach pri tropických tlakových nížach – t.j. hurikánoch a tajfúnoch.

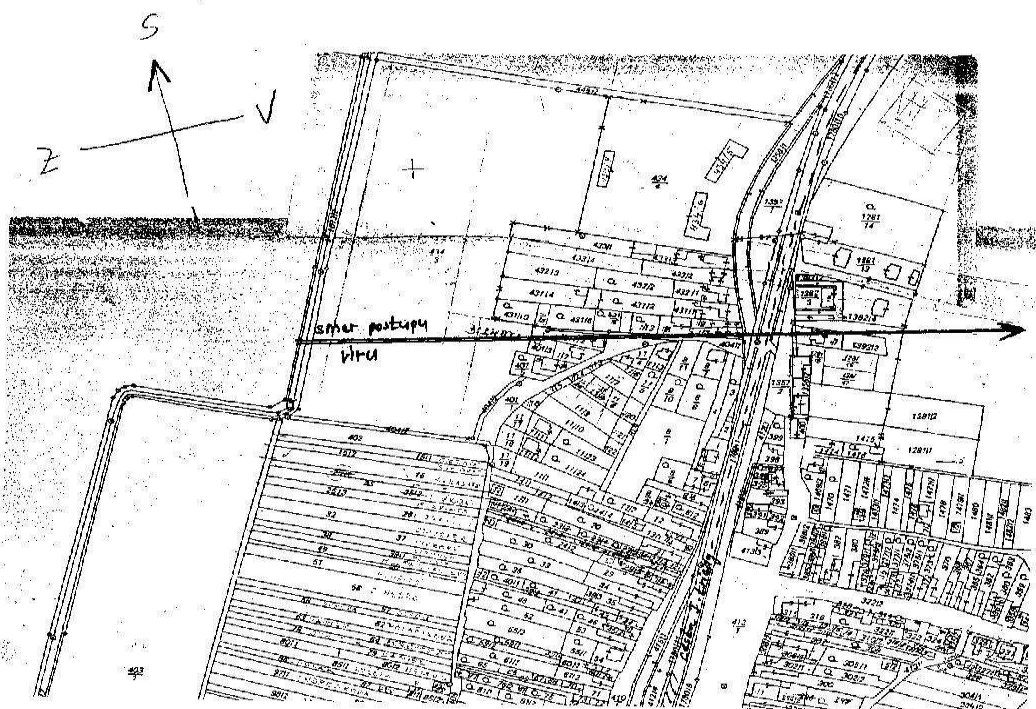
Zhruba o 17:25 LSEČ prechádzal cez obec studený front (čas jeho prechodu bol upresnený na základe údajov z meteorologických staníc), ktorý sa najprv prejavil húl'avou postupujúcou v čele búrky. Rotor húl'avy zvířil prach a vyniesol ho do výšky 50 až 100 metrov. Vietor sa stočil na západný až severozápadný, pričom

podľa odhadu svedka mohol v nárazoch dosiahnuť rýchlosť okolo 30 m/s (108 km/h). Po prechode húľavy, približne po jednej minúte, sa nad časťou dediny objavil veľký prachový vír, ktorý rotoval okolo zvislej osi (viď **skicu** nižšie).

Náčrt situácie



Spomínaný vír dosahoval výšku asi 100 až 200 metrov, nebol však evidentne spojený so základňou búrkovej oblačnosti (obec bola v tom čase ešte mimo jadra búrky a oblasti zrážok). Vír sa pohyboval v smere západ - východ, pričom postihol severnú časť obce (viď **obr.**).



2. Škody spôsobené húl'ovou a vírom

Škody, ktoré sa vyskytli v obci, boli zrejme zavinené tak húl'avou, ako aj samotným vírom.

Najpozoruhodnejšie boli dva stromy, vytrhnuté z pôdy aj s koreňmi, pričom v jednom prípade sa jednalo o 15 m vysoký smrek, ktorý bol vytrhnutý aj s okolitým betónom (a popritom nebol zlomený!). Škody takéhoto charakteru s veľkou pravdepodobnosťou spôsobil spomenutý vír. Húl'ava by totiž tieto stromy (navyše sčasti kryté domami vzhľadom na smer postupu húl'avy) najskôr zlomila. Škridly a plechy zo striech domov mohli byť odvíate rovnako húl'avou, ako aj pozorovaným vírom (niektoré sa nachádzali až vo vzdialenosti 100 metrov od pôvodného miesta). Je však "podozrivé", že plechy zo striech boli objavené skôr v trase víru ako v smere, ktorým išla húl'ava (vír smeroval na východ a rotor húl'avy viac na severovýchod – vid' rekonštrukciu poveternostnej situácie o 17:25 LSEČ).

Škody takéhoto charakteru sa vyrovnávajú účinkom "slabšieho" tornáda o sile približne F1 podľa [Fujitovej škály](#).

Intenzita tornáda

Keď sa začali tornáda skúmať podrobnejšie, nastala potreba nejakým spôsobom ich zatriediť, klasifikovať. Intenzita tornáda a škody ním spôsobené zodpovedajú rýchlosti vetra v tornáde (veľkosť tornáda totiž nemusí byť nevyhnutne priamo úmerná jeho intenzite). Odhadnúť rýchlosť vetra v tornáde však bolo a aj stále je veľkým problémom. V súčasnosti tento problém čiastočne rieši používanie dopplerovského radaru (je schopný merať rýchlosti oblačných cieľov v (radiálnom) smere od- a k rádiolokátoru). Odhad intenzity tornáda a rýchlosti vetra v ňom je však založený väčšinou na základe vzniknutých škôd. Jedná sa teda o škálovanie, ktoré je do značnej miery subjektívne a vyžaduje si určitú dávku skúseností.

Najpoužívanejšou a najznámejšou stupnicou je v súčasnosti Fujitova škála, ktorá má šesť stupňov. (O ničivosti tornád jednotlivých stupňov veľmi výrečne hovoria obrázky na <http://www.nssl.noaa.gov/noaastory/appendB.html>)

Fujitova stupnica intenzity tornáda

F0 (T0,T1)	Ľahké škody 17 - 32 m/s 61 - 115 km/h	Náhodne zbořené komíny a drevené ploty, drobné škody na strešnej krytine, poškodené reklamy a dopravné značky vedľa ciest, polámané vetvy stromov, sporadicky vyvrátené stromy s plytkými koreňmi, stopy tornáda sú viditeľné na poli.
F1 (T2,T3)	Mierne škody 33 - 51 m/s 116 - 184 km/h	Čiastočne poničená krytina striech, idúce automobily sú vytláčané z ciest, mobilné domy (bungalovy) sú posunuté zo základov, prevrátené alebo silne poškodené, chatrnejšie stavby a prístrešky (kôlne, plechové garáže, plechové haly) sú ťažko poškodené až úplne zničené, väčšie stromy s pevnejšími koreňmi sú sporadicky vyvrátené a prelomené.

F2 (T4,T5)	Stredne ťažké škody 52 - 72 m/s 185 - 259 km/h	Strechy z horšie postavených budov sú úplne strhnuté, mobilné domy a chatrnejšie stavby sú úplne zničené, u murovaných a pevnejších drevených domov ešte nie sú bočné a čelné steny vážnejšie poškodené. Ľahké autá sú nadnášané, z malých a ľahkých trosiek vznikajú projektily, väčšina izolovane rastúcich veľkých stromov je vyvrátených alebo prelomených
F3 (T6,T7)	Značné škody 73 - 95 m/s 260 - 342 km/h	Strechy a niektoré steny sú úplne odtrhnuté od konštrukcie aj pri dobre postavených budovách, ťažšie autá sú nadnášané, vlaky a lokomotívy sú prevrátené, väčšina stromov v súvislých lesných porastoch je vyvrátená a polámaná, stojace stromy a pahýle stromov sú čiastočne zbavené kôry lietajúcimi troskami
F4 (T8,T9)	Ťažké škody 96 - 120 m/s 343 - 432 km/h	Železobetónové budovy sú významne poškodené, murované (tehlové) a kamenné budovy sú ťažko (väčšinou neopraviteľne) poškodené, menej pevné budovy sú úplne zrovnané so zemou, trosky chatrných budov sú rozptýlené do značných vzdialeností od svojich základov, autá sú unášané vzduchom (tesne nad zemou) alebo odťahané na veľké vzdialenosti, vznikajú veľké a ťažké "projektily" z lietajúcich trosiek, pahýle stromov sú úplne zbavené kôry.
F5 (T10)	Totálna skaza nad 120 m/s nad 432 km/h	Železobetónové budovy sú ťažko poškodené, ostatné budovy sú úplne zničené, spevnené ale nemurované domy sú pred zničením prenesené na značné vzdialenosti, automobily sú prenášané vzduchom ako projektily na značné vzdialenosti, polia sú úplne zbavené vegetácie, úroda je prevažne vytrhaná aj s koreňmi.

(Pozn.: Dosiaľ sa nám nepodarilo nájsť "detailný" popis škôd Fujitovej stupnice z amerických prameňov. Táto stupnica bola preložená RNDr. Martinom Setvákom (Český hydrometeorologický ústav) na základe konzultácií a materiálov z organizácie TORRO. Stále však treba mať na pamäti, že podľa žiadnej subjektívnej škály nie je možné presne určovať rýchlosti vetra. Tieto stupnice slúžia predovšetkým na utvorenie predstavy o tom, aké škody môže tornádo napáchať. Zároveň sú aj vhodným námetom pri prieskume škôd (ktorým javom treba venovať pozornosť, aké škody si treba všímať.)

Ďalšou stupnicou, ktorá sa venuje intenzite tornád je škála **TORRO**, pomenovaná podľa rovnomennej organizácie, ktorá sa zaoberá výskumom tornád a nebezpečných búrok vo Veľkej Británii. Táto stupnica má jedenásť tried a delenie je podrobnejšie. (Je veľmi rozporuplné, ktorá z týchto stupníc je vhodnejšia na štatistické účely. Zástancovia stupnice TORRO väčšinou tvrdia, že na "európske pomery" je škála TORRO vhodnejšia, nakoľko tornáda intenzity F3 a vyššie podľa Fujitovej škály boli v Európe zaznamenané len zriedkavo. Odporcovia zas argumentujú tým, či je možné len na základe subjektívneho vyhodnotenia škôd natoľko detailne klasifikovať intenzitu tornáda, ako ju popisuje škála TORRO.)

Stupnica intenzity tornáda TORRO

T0	Slabé tornádo 17 - 24 m/s 61 - 86 km/h	Odnáša ľahké predmety, odpadky, ktoré stúpajú v špirále. Steny a šiatre sú vážne poškodené, exponované škridly na strechách sú vytlačené a premiestnené. Haluze sú prasknuté alebo polámané. Dráha tornáda je viditeľná na obilí alebo iných poľnohospodárskych plodinách.
T1	Slabé až mierne tornádo 25 - 32 m/s 87 - 115 km/h	Ležadlá a ťažšie odpadky sú odvíate, malé škody na prístreškoch, vážnejšie škody na strechách - rozsiahlejšie dislokovanie škridiel a komínových nástavcov. Drevené ploty sú miestami pováľané, nevelké škody na pevných ohradách a veľkých stromoch.

T2	Mierne tornádo 33 - 41 m/s 116 - 148 km/h	Ťažké mobilné domy sú premiestnené, ľahké karavany sú prevrátené, prístrešky zničené, strechy garáží sú odtrhnuté, výraznejšie škody na škridlových strechách a spojených komínoch. Všeobecné škody na stromoch, veľké vetvy odlomené, alebo pokrútené, niektoré menšie stromy sú vyvrátené alebo vytrhnuté.
T3	Silné tornádo 42 - 51 m/s 149 - 184 km/h	Mobilné domy sú prevrhnuté a ťažko poškodené. Ľahké karavany sú zničené. Garáže, vedľajšie a hospodárske budovy sú zničené. Strešná krytina je zdemolovaná a trámy sú do značnej miery odkryté. Aj niektoré veľké stromy sú už vyvrátené a vytrhnuté.
T4	Prudké tornádo 52 - 61 m/s 185 - 220 km/h	Mobilné domy sú zničené, prístrešky odviaze na značné vzdialenosti, celé strechy oddelené od budov, trámy silnejších tehlových a kamenných domov sú úplne odkryté. Možnosť zrútenia koncových častí domových štítov. Početné stromy sú vyvrátené a vytrhnuté.
T5	Intenzívne tornádo 62 - 72 m/s 221 - 259 km	Ľahšie motorové vozidlá (napr. motocykle) zdvíha do vzduchu, na budovách sú vážnejšie škody ako v prípade T4. Steny domov zatiaľ ostávajú, ale konštrukčne slabšie a staršie budovy sa môžu kompletne zrútiť.
T6	Mierne devastujúce tornádo 73 - 83 m/s 260 - 299 km/h	Ťažké motorové vozidlá sa môžu dostať do vzduchu, aj pevné domy strácajú celé strechy, prípadne i steny. Väčšina z málo pevných budov sa zrúti.
T7	Silne devastujúce tornádo 84 - 95 m/s 300 - 342 km/h	Drevené domy sú kompletne zdemolované. Niektoré steny kamenných alebo tehlových domov sú zhodené. Budovy železnej konštrukcie ako sklady alebo obchodné domy môžu byť ľahko poškodené.
T8	Veľmi silne devastujúce tornádo 96 - 107 m/s 343 - 385 km/h	Drevené domy a ich obsah sú rozptýlené na veľké vzdialenosti, väčšina kamenných alebo tehlových domov je neopraviteľne poškodených. Budovy železnej konštrukcie sú ťažko poškodené, ľahké vozidlá sú odnesené na veľké vzdialenosti.
T9	Intenzívne devastujúce tornádo 108 - 120 m/s 386 - 432 km/h	Mnohé budovy železnej konštrukcie sú veľmi ťažko poškodené, vlaky sú vykoľajené a odhodené z dráhy, akékoľvek stojace kmene stromov sú kompletne zničené.
T10	Super tornádo 121 - 134 m/s 433 - 482 km/h (alebo viac)	Celé drevené domy a podobné budovy sú vcelku odnesené zo základov a prenesené na určité vzdialenosti. Železobetónové budovy sú ťažko poškodené.

Pozn.: Údaje v m/s a km/h boli prepočítané z anglickej (americkej) sústavy jednotiek, kde sa častejšie používajú míle za hodinu (približne 1,6 - krát toľko ako údaj v km/h) alebo uzle (približne 1,85 - krát toľko ako údaj v km/h). Výsledky boli zaokrúhlené a logicky upravené tak, aby nevznikli "medzery" v intervaloch rýchlostí. Jednotlivé názvy sú preložené takmer doslovne z angličtiny, tabuľka bola prevzatá z časopisu The Journal of Meteorology, Vol.10, júl/august 1985, str.185 .

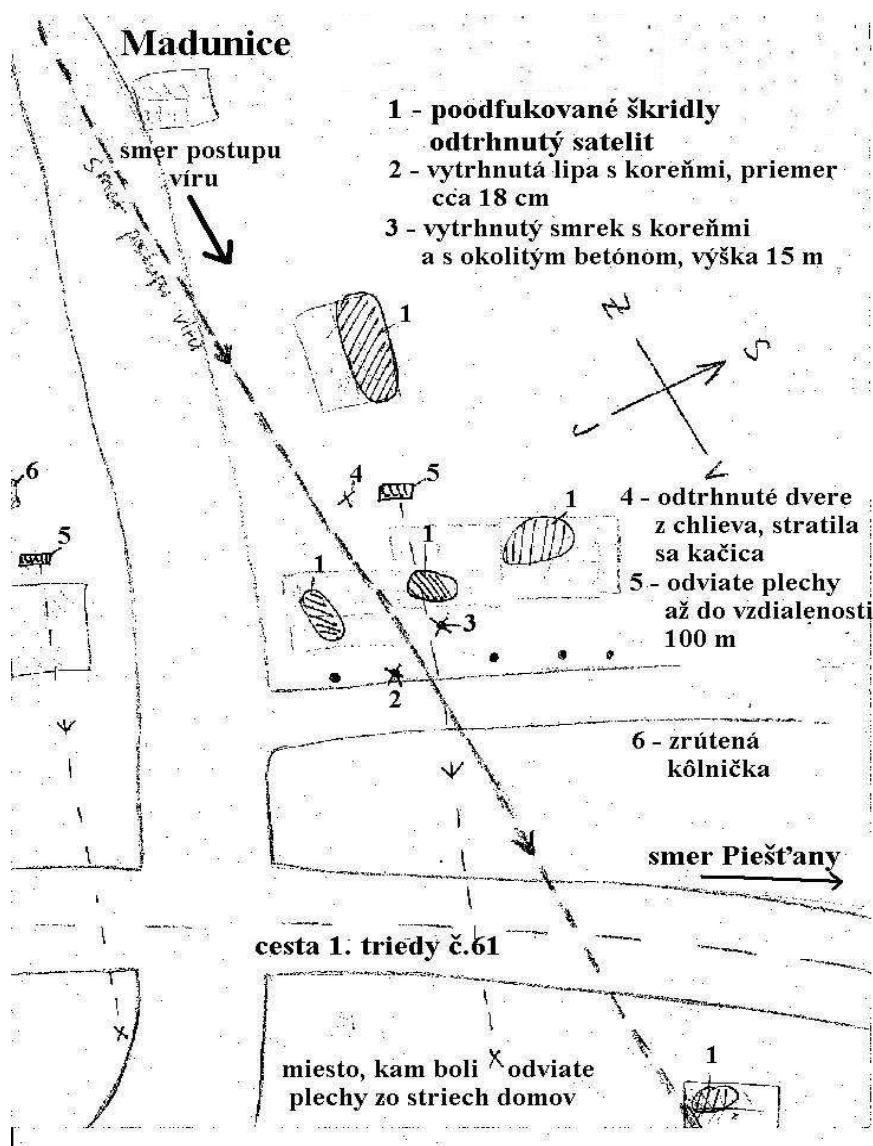
Za záväzné možno považovať pri všetkých stupniciach len rýchlosť vetra. Škody

spôsobené vetrom a ďalšie prejavy silného vetra uvádzané v tabuľkách možno brať len orientačne, nie ako bernú mincu.

Je zrejmé, že na odhad rýchlosti vetra podľa prejavu škôd je potrebné mať aj znalosti z oblasti stavby a statiky budov. Treba si taktiež uvedomiť, že najväčšie škody zanecháva tornádo na drevených domoch, mobilných sídlach (bungalovoch) a pod. Práve takéto obydliá sú veľmi rozšírené v oblastiach častého výskytu tornád v USA. Preto sa výskumu vhodného riešenia stavby domov (tvaru strechy, stavebným materiálom a pod.), ktoré by odolali vetru o sile tornáda venuje v USA veľká pozornosť.

Škody na obydliach sú často spôsobené najmä troskami, ktoré nesie tornádo so sebou. Tvrdenie, že domy pri prechode tornáda (ktoré v podstate možno považovať za tlakovú níz veľmi malých rozmerov) doslova "vybuchujú" však možno zaradiť medzi fámy. Údajne k takému javu dochádza v dôsledku toho, že vo vnútri domu je vtedy oveľa vyšší tlak vzduchu, ako v jeho okolí, pričom vznikne veľká tlaková sila pôsobiaca smerom z vnútra domu do jeho okolia. Rozhodne však **neodporúčame** "riešenie", aké navrhli zástancovia tejto idey: otvoriť dvere a okná dokorán ;-), aby sa tlakové rozdiely vyrovnali...

Rozmiestnenie škôd názorne ukazuje nasledovný obrázok.



3. Bol pozorovaný vír tornádom, alebo nie?

Na túto otázku nie je jednoduché nájsť odpoveď. Tornádo je totiž definované ako vír, ktorý sa nachádza pod základňou búrkového oblaku a dotýka sa zemského povrchu (pre definíciu tornáda pozri <http://www.chmi.cz/torn/tor2.html>). Väčšinou má tvar lievika alebo stĺpu, ktorý vychádza z búrkovej oblačnosti. To znamená, že sa tvorí a existuje aj vo vyšších vrstvách ovzdušia, nie iba tesne nad zemským povrchom.

Z pozorovania sa však nedalo usúdiť, či vír siaha až po spodnú základňu oblaku. Tá bola navyše dosť vysoko nad zemským povrchom - podľa pozorovateľa - v tom čase prevažovala nad obcou len stredná a vysoká oblačnosť.

Škody spôsobené vírom sú porovnateľné so škodami, ktoré po sebe zanechávajú menej intenzívne tornáda. Je však otázne, či podobné škody nemôžu spôsobiť aj mimoriadne intenzívne víry, ktoré existujú len v prízemných vrstvách atmosféry (a podľa horeuvedenej definície ich nemôžeme považovať za tornádo).

Takéto víry sa v slovenskej meteorologickej terminológii označujú ako "malé tromby" (v zahraničnej literatúre sa používa aj pojem "gustnado" alebo "whirlwind"). V "prospech" existencie tornáda však hovoria niektoré ďalšie okolnosti: napríklad výskyt krúp v oblasti mimo intenzívnych zrážok, čo môže svedčiť o pomerne silných výstupných pohyboch vo väčšom rozsahu atmosféry v okolí výskytu víru. Ako už bolo uvedené, vizuálne sa nedá vždy zistiť, či vír vychádza zo základne oblačnosti, alebo nie (treba mať na pamäti, že tornádo je predovšetkým rotujúci vietor; oblak v tvare lievika alebo stĺpu, ktorý ho zviditeľňuje, je len sprievodný jav). Niekedy sa dá prepojenie víru s búrkovým oblakom, alebo rotácia spodnej základne oblačnosti, určiť na základe snímkov z kamery alebo fotoaparátu, samozrejme, za predpokladu dobrej viditeľnosti a polohy voči víru.

Nie je známy dostatok faktov na to, aby sa dalo jednoznačne hovoriť o tornáde, avšak vzhľadom na celkovú situáciu, priebeh udalostí a výskyt škôd je jeho existencia veľmi pravdepodobná.

Kotešová (veľmi pravdepodobne tornádo)

O tomto prípade máme len nepriame výpovede, ktoré zatiaľ nestačia na to, aby sa dalo s určitosťou hovoriť o tornáde. Údajný vír bol pozorovaný v súvislosti s búrkami, ktoré sa vyskytli v tejto oblasti medzi 17:45 a 20:00 LSEČ. Zasiahnutá lokalita sa nachádza približne 3 km severozápadným smerom od meteorologickej stanice Žilina - Dolný Hričov, kde bol síce zaznamenaný silný náraz vetra, ale žiaden úkaz podobný tornádu. Pozorovaný vír vytrhol v jednej zo záhrad v Kotešovej celý orech a odhodil ho nabok (ale nezlomil ho). V ďalšej lokalite Hliník (medzi Bytčou a Kotešovou) bola strhnutá a odnesená strecha, z viacerých striech popadali škridle (pozoruhodné je, že len z jednej strany domu). Takéto škody však môže spôsobiť aj microburst (viď ďalšiu kapitolu – Microbursty) alebo "bežná" húľava. Zaujímavým svedectvom bolo, že spodná základňa oblakov bola neprirodzene sfarbená na žltlo. To zrejme spôsobil odraz svetla od malých zrníek prachu, ktorý mohol byť húľavou vynesení do veľkej výšky (správa z 25.7.2000).

Podrobnosti o výskyte víru v Kotešovej (a v niektorých ďalších lokalitách severozápadného Slovenska):

Postupne sa nám podarilo získať veľmi zaujímavé informácie. Poskytol nám ich kolega **Peter Križan, PhD.**, ktorý navštívil miesta postihnuté silným vetrom. Uvádzame jeho správu v doslovnom znení:

"V minulých dňoch som navštívil obce **Hliník nad Váhom** a **Kotešová**, kadiaľ sa prehnal 4.7.2000 vzdušný vír, ktorý spôsobil v týchto lokalitách materiálne škody.

Ako prvého sme navštívili predsedu družstva v **Kotešovej**. Podľa jeho slov, v búrke vietor vznášal smerom nahor teľatá v teľatníkoch, zhadzoval plechy zo striech. Na otázku, či spozoroval nejaký rotačný pohyb vzduchu pri búrke, odpovedal, že podľa príznakov mal silný vietor určitú rotáciu. Ale o akú rotáciu presne išlo, nevedel, pretože nebol očitým svedkom prechodu víru cez areál družstva. Na druhej strane treba povedať, že teľatníky majú ľahkú konštrukciu a súčasne neboli upevnené, takže na ich uvedenie do pohybu možno nebol ani potrebný mimoriadne silný vietor. Vietor však musel byť zároveň dosť silný na to, aby prekonal hmotnosť teliat, ktoré sa v tom čase nachádzali vnútri. Na otázku, či prišla skôr víchrica alebo dážď, dostal som odpoveď, že najprv prišla víchrica a až potom zrážky, ktoré však neboli mimoriadne silné. Podľa výpovede žien, ktoré v čase búrky pleli na poli kapustu, prišla náhle od západu čierňava, zotmelo sa, frekvencia bleskov bola vysoká, prišiel silný vietor (o víre ani zmienka), začal padať dážď s drobnými krúpami, ktorý neskôr prešiel do čistého dažďa.

V obci **Hliník** víchrica zobrala strechu a na vedľajšom dome pohla domovým štítom. Podľa výpovede majiteľov tohoto domu, ešte nikdy nevideli mraky takej farby (tmavozelené), hukot ako keď sa blíži vlna – a to tesne pred tým, ako pohlo štítom domu. Majiteľ domu, ktorému zobralo strechu, tvrdil, že videl **rotujúci lievik**, obklopený prúdmi dažďa. Existuje aj fotka odnesenej strechy, ktorá pristála na novom aute (ale zatiaľ sa nám ju nepodarilo získať). V Hliníku ešte vyvrátil vietor aj dve veľké lipy.

Asi **2 km smerom na východ** od miesta, kde vietor zobral strechu, pri tej istej búrke, bol vyvrátený aj orech. Je zaujímavé, že orech nebol vyvrátený "klasicky", ale že ho vietor vytočil ako skrutku, pričom pri "točení" konáre orecha stáli kolmo hore. Pretože dom, v ktorého záhrade je umiestnený orech, je na vyvýšenom mieste, majiteľ mohol dobre pozorovať ako šiel po zemi vír, ktorý dvíhal zo zeme a uvádzal do rotačného pohybu nielen ľahké predmety, ale i ťažké konáre. V určitej výške ich púšťal a padali na zem. Asi 5 metrov od orecha je drevenica, ktorá zostala úplne nedotknutá vetrom. Pri približovaní sa víru bolo počuť zvuk, ako keby sa približoval vlak. Ešte predtým, než vír zo zeme „vykrútil“ orech, prišiel silný náraz vetra, ktorý pohyboval aj ťažkými konármi na stromoch. Tento náraz vetra ale stromy prežili bez väčších problémov.

Treba podotknúť, že obhliadka miesta sa konala až 2 mesiace po udalosti, takže väčšina škôd je už opravená a nemôže byť tým pádom zdokumentovaná."

Tieto svedectvá poskytl úplne nový pohľad na udalosti 4.7.2000 na severozápade Slovenska. Najmä posledné svedectvo o vyvrátení orecha (blízko

stojaca drevenica zostala prakticky nepoškodená !!!) priam vnucuje predstavu tornáda. Opäť, ako aj v iných prípadoch, však platí: neboli sme priamo na mieste, nemáme k dispozícii dostatočne kvalitný filmový záznam a preto nemôžeme výskyt tornáda považovať za absolútne preukázaný. No vzhľadom na uvedené popisy javu ho musíme zaradiť do kategórie "**veľmi pravdepodobný**". Dokonca sa mohlo jednať o **dve samostatné tornáda** prihliadnuc na polohu a vzdialenosť Hliníka a Kotešovej.

Veľmi zaujímavá je informácia o zláštnom **tmavozelenom sfarbení** spodnej základne oblačnosti. Toto sa už nedá vysvetliť takým jednoduchým spôsobom ako žlté sfarbenie oblohy spôsobené čiastočkami prachu vyneseními do výšky (uvádzané v pôvodnej správe). Existuje viacero svedectiev o podobnom sfarbení oblačnosti v prípade výskytu zvlášť intenzívnych búrok, tento konkrétny jav, o existencii ktorého vieme od svedkov z obce Hliník, zatiaľ nedokážeme vysvetliť. Preto radi uvítame nápady alebo prípadné ďalšie svedectvá o tomto fenoméne.

Zaujímavá je aj zmienka o náraze vetra, ktorý víru predchádzal. Evokuje to analógiu s prípadom, ktorý sa udial toho istého dňa na juhozápadnom Slovensku v lokalite **Madunice**.

Zdá sa, že i tento vír sa vyskytol až po prechode húl'avového frontu (tzv. gustfrontu) a bol priamo ovplyvnený výtokom studeného vzduchu z búrkovej oblačnosti. Takéto tornáda sa zaraďujú zväčša do kategórie tzv. **nesupercelárnych**. To znamená, že v "materskom" búrkovom oblaku sa nevyskytuje tlaková níz, mezocyklóna, ktorá spôsobuje rotáciu v stredných alebo vyšších hladinách ovzdušia. Túto hypotézu by však mohli overiť len merania z blízko umiestneného rádiolokátora.

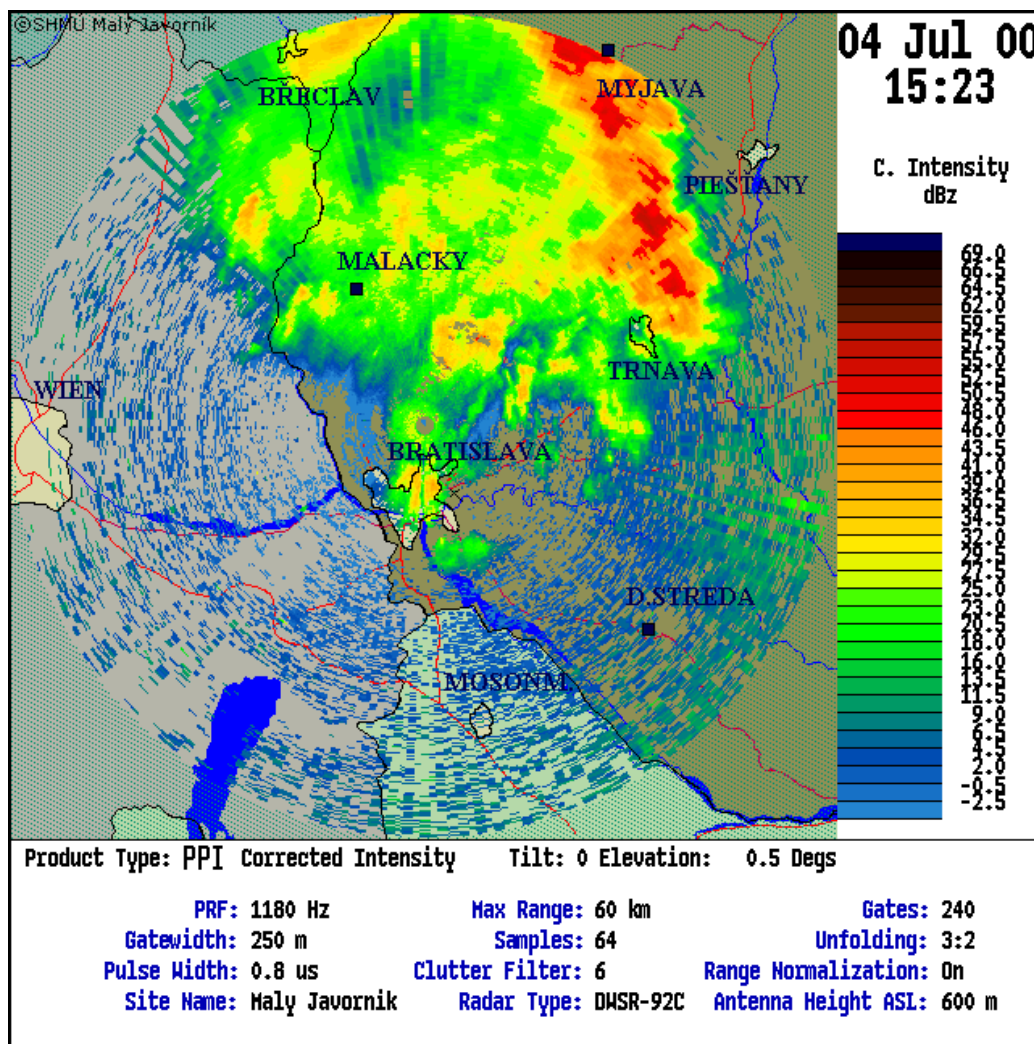
Obrázky z rádiolokátora:

V čase výskytu búrok popisovaných vyššie boli k dispozícii aj snímky z rádiolokátora umiestneného na Malom Javorníku. Ide o moderný typ rádiolokátora, ktorý pracuje na tzv. dopplerovskom princípe, teda je schopný merať aj rýchlosti oblačných cieľov v smere k rádiolokátoru. Treba však uviesť, že víry malých rozmerov, ku ktorým patrí drvivá väčšina tornád, sú týmto rádiolokátorom technicky veľmi obtiažne pozorovateľné.

Najväčším obmedzením je fakt, že z prevádzkových dôvodov meria rádiolokátor len v určitých uhloch sklonu antény (eleváciách), pričom nemôže zachytiť javy blízko zemského povrchu. Výška, v ktorej možno pozorovať meteorologické ciele, stúpa so vzdialenosťou od radaru, a to aj v dôsledku toho, že na veľkých vzdialenostiach sa už prejavuje aj zakrivenie Zeme. V blízkosti rádiolokátora, opäť v dôsledku obmedzenia náklonu antény, nevidieť horné partie oblaku. So vzdialenosťou od rádiolokátora zas klesá rozlišovacia schopnosť. Toto všetko sú obmedzenia, ktoré meteorológ pri interpretácii radarových snímok (pozri http://www.chmi.cz/meteo/rad/rad_inf.html) musí mať na pamäti.

Napriek obmedzeniam však poskytuje rádiolokátor veľa cenných informácií o štruktúre a zložení oblaku. Zvýšená rádiolokačná odrazivosť (ktorá je úmerná množstvu

vyžiarenej energie, odrazenej od meteorologického cieľa späť k radaru) môže svedčiť nielen o intenzívnych zrážkach, ale aj o prípadnom výskyte krúp, či zvířeného prachu. Predstavu o tom, ako vyzerá takýto výstup z radaru si možno urobiť aj na základe **nasledujúceho obrázka**, nasnímaného o 17:23 LSEČ spomenutým rádiolokátorom na Malom Javorníku (v čase blízkom pozorovanému tornádu pri Trnave).



----- rok 2001 -----

19.marec 2001 Budatínska Lehota

- pravdepodobný výskyt tornáda

Poveternostná situácia z pohľadu meteorológa:

V tyle hlbokoj tlakovej níže, ktorá sa rýchle presúvala pozdĺž 50. rovnobežky cez Poľsko na východ, prenikol do strednej Európy studený vzduch od severozápadu. V ňom sa približne v oblasti južnej Moravy sformoval lineárne usporiadaný pás konvektívnej oblačnosti orientovanej kolmo na výškové JZ-né prúdenie. V súvislosti s prechodom tohto konvektívneho útvaru sa pravdepodobne vyskytlo tornádo v obci Budatínska Lehota (pri

Kysuckom Novom Meste) na SZ-e Slovenska.

Budatínska Lehota (veľmi pravdepodobne tornádo)

Jav sa vyskytol okolo 15 hod. SEČ - predtým nepršalo. Podľa p. Slávika "fúkal silný vietor sprevádzaný blýskaním a hrmením. Zvírená (!) hlina a blato zahádzali okná, hluk pripomínal hukot vody a dochádzalo k výpadkom elektrickej energie." Na jeho dome došlo k posunutiu celej strechy, ktorá sa zastavila až "zapichnutím sa" do susedovho domu. Vietor strhol aj komín, zdvihol ho a takmer nepoškodený "preniesol" o niekoľko málo metrov. Len vďaka výstuži v betóne neprerazil strop, potom sa "rozsypal".

O 100 metrov ďalej pri ďalšom rodinnom dome vietor vytrhol murované tehlové piliere aj s plotom a vrhol ich smerom dovnútra, do záhrady. Veľmi zaujímavý je fakt, že z jedného stĺpika vietor doslova povytáhoval jednotlivo niektoré tehly, z ktorých bol postavený...

Žiadne ďalšie okolité domy neboli vôbec zasiahnuté. Celý úkaz podľa svedkov trval iba 15 až 20 sekúnd. Na základe uvedeného sa domnievame, že sa jednalo o tornádo s intenzitou F2 **Fujitovej škály** (viď vyššie).

K dispozícii sú aj fotografie, ktoré nám poskytlí obyvatelia poškodených domov, ako ukážku spôsobených škôd: Na **fotografii č.1** vidieť zvalený murovaný plot pána Svrčka a neporušený skleník v záhrade vľavo.



fotografia č.1

Na nasledujúcom obrázku (**fotografia č.2**) je detail poškodeného murovaného stĺpa, z ktorého vietor povytáhoval jednotlivé tehly.



fotografia č.2

Na **fotografiách č.3** a **č.4** vidieť, ako bol z domu bol posunutý celý štít strechy a vrazený do vedľajšej budovy.



fotografia č.3



fotografia č.4

Na nižšie uvedenej fotografii (**fotografii č.5**) je poškodená hospodárska budova pri dome manželov Slávikových.



fotografia č.5

(Pozn.: Za pomoc a odbornú spoluprácu patrí poďakovanie **Ing. Ivanovi Macharovi** z regionálneho strediska SHMÚ v Žiline, ktorý urobil prieskum oblasti zasiahnutej vírom.)

29.máj 2001

Slovenská Ves

- pravdepodobný výskyt tornáda

Slovenská Ves (veľmi pravdepodobne tornádo)

V čase okolo 15:30 LSEČ sa vyskytla v obci Slovenská Ves (okres Kežmarok) ničivá búrka, pri ktorej boli poškodené alebo úplne strhnuté plechové strechy z budov, vyvrátené alebo zlomené stromy (20 až 25 stromov) a na niektorých miestach poškodené aj tehlové murivo.

Výpovede svedkov naznačujú, že s vysokou pravdepodobnosťou išlo o výskyt tornáda. Obyvatelia obce doslova vypovedali, že videli lievik, ktorý vliekol so sebou igelity a papiere. Vír sa presúval cez Slovenskú Ves smerom na Spišskú Belú (t.j. od severozápadu na juhovýchod, čo je v zhode so smerom aktuálneho výškového prúdenia). O značnej lokálnosti javu svedčí aj to, že obyvatelia, ktorí bývajú len 200 metrov vzdušnou čiarou od oblasti značných škôd o tomto jave vôbec nevedeli. Títo ľudia zaregistrovali zrejme len húlavu a následné zrážky s krúpami. Fotografie ani videozáznam, podľa starostu obce pána Jacenku, nie sú k dispozícii.

Fotografie atmosférických vírov na Slovensku

Ako doplnok uvádzame fotografie javov, ktoré by mohli súvisieť s existenciou vírivého pohybu v atmosfére. Do tejto kategórie nespádajú len typické veľké tornáda, ako

ich poznáme z filmových dokumentov a kníh, ale aj víry malých rozmerov (napríklad tzv. bosorky, ktoré sa občas objavajú za horúcich letných dní nad prehriatym povrchom a siahajú len do výšky niekoľkých desiatok metrov).

Jedným z príznakov existencie atmosférického víru môže byť tzv. **lievikovitý oblak** (v angličtine "**funnel cloud**"). Tento vzhľadom pripomína tornádo, avšak na rozdiel od neho nie je zjavne spojený s terénom a väčšinou nezanechá po sebe škody. To ale neznamená, že rotácia vzduchu pri zemskom povrchu neexistuje, no môže byť slabšia a nemusí sa teda prejavovať v podobe zvířeného prachu alebo kondenzáciou vodnej pary – t.j. evidentným spojením víru so zemou.

Takéto typy vírov môžu byť zaznamenané aj pod menšími kopovitými oblakmi, ktoré nedosahujú vertikálne rozmery búrkovej oblačnosti typu Cumulonimbus. Ale pozor !!! Nie všetko, čo vychádza zo základne oblaku je zákonite prejavom rotácie vzduchu. Funnel cloud si možno niekedy zameniť za pásy dažďa, ktoré sú naopak často znamením silnejúcich zostupných pohybov vzduchu (**microburstov** – vid' nasledujúcu kapitolu **Microbursty**).

Pozorovateľmi veľmi zaujímavého javu sme sa stali dňa **25.5.2001** v oblasti Malej Fatry pod Malým Rozsutcom.

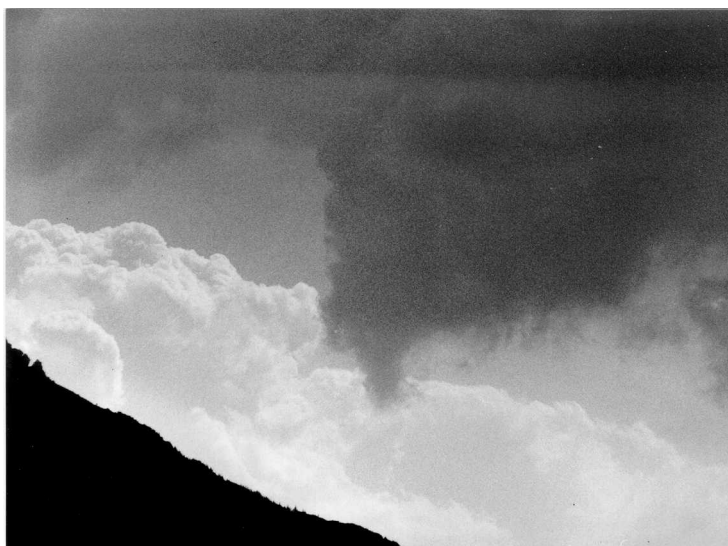
Približne o 14:50 LSEČ sa pod málo vyvinutým kopovitým oblakom objavil výčnelok, ktorý sa pomaly rozširoval smerom dole, avšak nebol viditeľne spojený so zemským povrchom (vid' **fotografiu č.6**).



fotografia č.6

Pomalý vývoj a pomerne hladký tvar tohto výčnelku nenasvedčoval, že by sa jednalo len o zrážky voľne vypadáajúce z oblaku, ktoré by sa v blízkosti zemského povrchu vyparovali. Celý jav trval približne päť až šesť minút, pričom tvar a rozšírenie oblaku sa veľmi nemenili. Vír sa pravdepodobne vyskytol v priestore medzi Veľkým Rozsutcom a Veľkým Kriváňom (na fotografii vpravo dole).

Zaujímavým objektom bol aj oblak s veľmi nízkou základňou, ktorý sa nachádzal pôvodne vľavo od pozorovaného javu. Po vizuálnom presune tohoto oblaku približne do priestoru, kde bol pozorovaný pôvodný lievik, sa aj tu vytvoril podobný výčnelok (zhruba o 15 minút neskôr) – **fotografia č.7**.



fotografia č.7

Z meteorologického hľadiska bola zaujímavá výrazná zmena smeru vetra s výškou, ktorá sa dala pozorovať aj voľným okom na pohybe oblačnosti. Zatiaľčo v spodných hladinách zosilnelo prúdenie vzduchu od severovýchodu (evidentne v súvislosti s prechodom studeného frontu), vo vyšších hladinách pretrvával severozápadný smer vetra. Teplota vo výške 1200 metrov bola v tom čase ešte na úrovni okolo 18 °C, v čom by mohli spočívať dobré podmienky na výstupné pohyby vzduchu v dôsledku prehriatia prízemných vrstiev vzduchu.

Aj z týchto dôvodov sa prikláňame k názoru, že úkaz bol prejavom zvierania vystupujúceho teplého vzduchu nad Vrátnou dolinou. Rotáciu však pozorovať nebolo, a to ani po výmene objektívu na fotoaparáte (135 mm, oproti 50 mm použitému pri fotografii č.1).

(Pozn.: Fotografie boli urobené fotoaparátom typu PRACTICA s použitím filmu ILFORD SFX200 a veľmi tmavého červeného filtra (PANCHROMAR). Za odborné vyvolanie filmu a za fotografie patrí poďakovanie nášmu kolegovi, **Ing. Romanovi Zehnalovi** z SHMÚ.)



Macrobursty a Microbursty

Väčšina nebezpečných atmosférických javov (ako húlava alebo tornádo) je známa už stovky alebo dokonca tisíce rokov. Ľudia ich poznali skôr, než sa vyvinula meteorológia ako samostatná veda. Existencia mimoriadne silných zostupných pohybov na zadnej strane búrkového oblaku však bola objavená a potvrdená len nedávno.

Čo je to vlastne macroburst (microburst) ?

Macroburst aj microburst sú označením pre veľmi silné zostupné prúdy relatívne studeného vzduchu, ktoré sú viazané na kopovitú oblačnosť (v slovenčine ani v češtine nie sú zatiaľ známe ekvivalenty týchto odborných termínov *). Rýchlosť vetra môže pri nich dosiahnuť 150 až 250 km/h. Ničivosťou sa teda môžu vyrovnáť tornádu. Rozdiel medzi macroburstom a microburstom je v horizontálnom rozmere oboch javov a v rozsahu škôd, ktoré zanechávajú. Termínom "macroburst" sa označujú tie zostupné prúdy studeného vzduchu, ktorých horizontálny rozmer je väčší ako 4 km. Doba existencie macro(micro)burstu je spravidla 5 až 30 minút. Macroburst môže spôsobiť škody aj na pomerne rozsiahlej ploche. Na druhej strane, rozmery "microburstu" sú často len desiatky alebo stovky metrov. To však neznamená, že by mal byť menej nebezpečný. Práve naopak, rýchlosť vetra pri microburste môže byť vyššia ako u macroburstov. Hoci škody ním spôsobené sú čo do rozsahu menšie, vzhľadom na vyššiu rýchlosť vetra má microburst väčšie ničivejšie účinky. Často býva výskyt oboch javov spájaný s búrkovou oblačnosťou typu Cumulonimbus, no nemusí to byť vždy pravidlom. Existenciu microburstu môžu niekedy prezradiť nevinne vyzerajúce **zrážkové pruhy** (odborne zvané virga) zostupujúce zo základne nevelmi vyvinutého kopovitého oblaku.

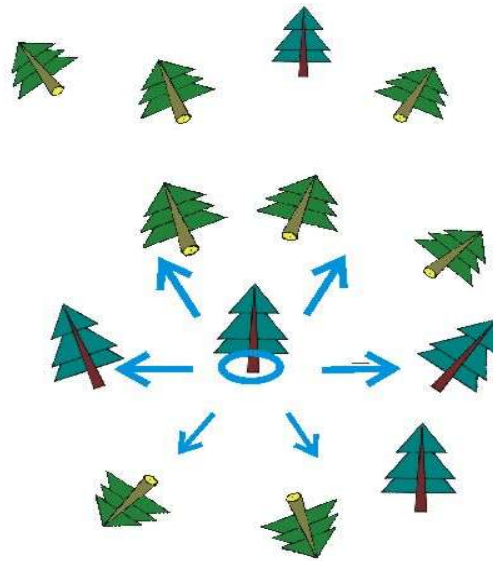
* Pozn.: v meteorologickom výkladovom a terminologickom slovníku možno nájsť preložený macroburst a microburst ako "prepad studeného vzduchu", avšak autorom tejto stránky nie je známe, že by sa tento termín širšie ujal v slovenskej alebo v českej meteorologickej obci.

Z histórie

Pred vyše tridsiatimi rokmi sa o existencii silných zostupných pohybov vzduchu pod základňou kopovitých oblakov nevedelo, alebo sa o nej pochybovalo. Vedelo sa, že v dôsledku tvorby zrážok, ich výparu a následnej spotreby energie sa vzduch v zadnej časti oblasti oblaku ochladzuje a klesá nadol, čím postupne dochádza k zániku oblaku. Predpokladalo sa však, že tieto pohyby vzduchu sú pomalé, rádovo niekoľko m/s.

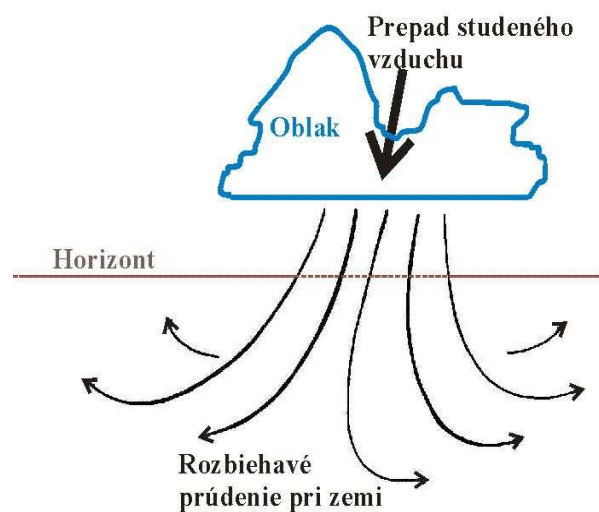
História objavovania macro(micro)burstov sa začala odvíjať v USA v 70-tych rokoch. Najmä počas jarných a letných mesiacov dochádza počas búrok k veľkým škodám, ktoré sú do značnej miery lokálne. V USA, kde sa problematike búrkovej činnosti a s ňou spojených ničivých javov venuje veľká pozornosť, sa predpokladalo, že tieto škody spôsobujú výhradne **tornáda** (viď predchádzajúcu kapitolu Tornáda). No vo viacerých prípadoch sa stávalo, že tornádo nebolo pozorované a spôsobené škody mali iný charakter ako typické "pásky", ktoré zostávajú po prechode tornáda. Letecké fotografie zaujali

profesora Theodora Fujitu z univerzity v Chicagu. Stopy (boli dobre rozoznateľné najmä pri škodách na obilnom poli) nasvedčovali, že vietor, ktorý ich spôsobil sa rozbiehal akoby na všetky strany. Odborne sa tomu hovorí, že prúdenie vzduchu malo veľkú divergenciu (difluenciu). Smery, v ktorých ležali pováľané obilné klasy (pri výskyte v lese popadané stromy), vychádzali zväčša z jedného miesta (pozri **obr.**).



“Letecký” pohľad na polom v lese spôsobený microburstom. Modrou je znázornené miesto dosadnutia (stred) microburstu a smery, v ktorých prúdil vytekajúci studený vzduch.

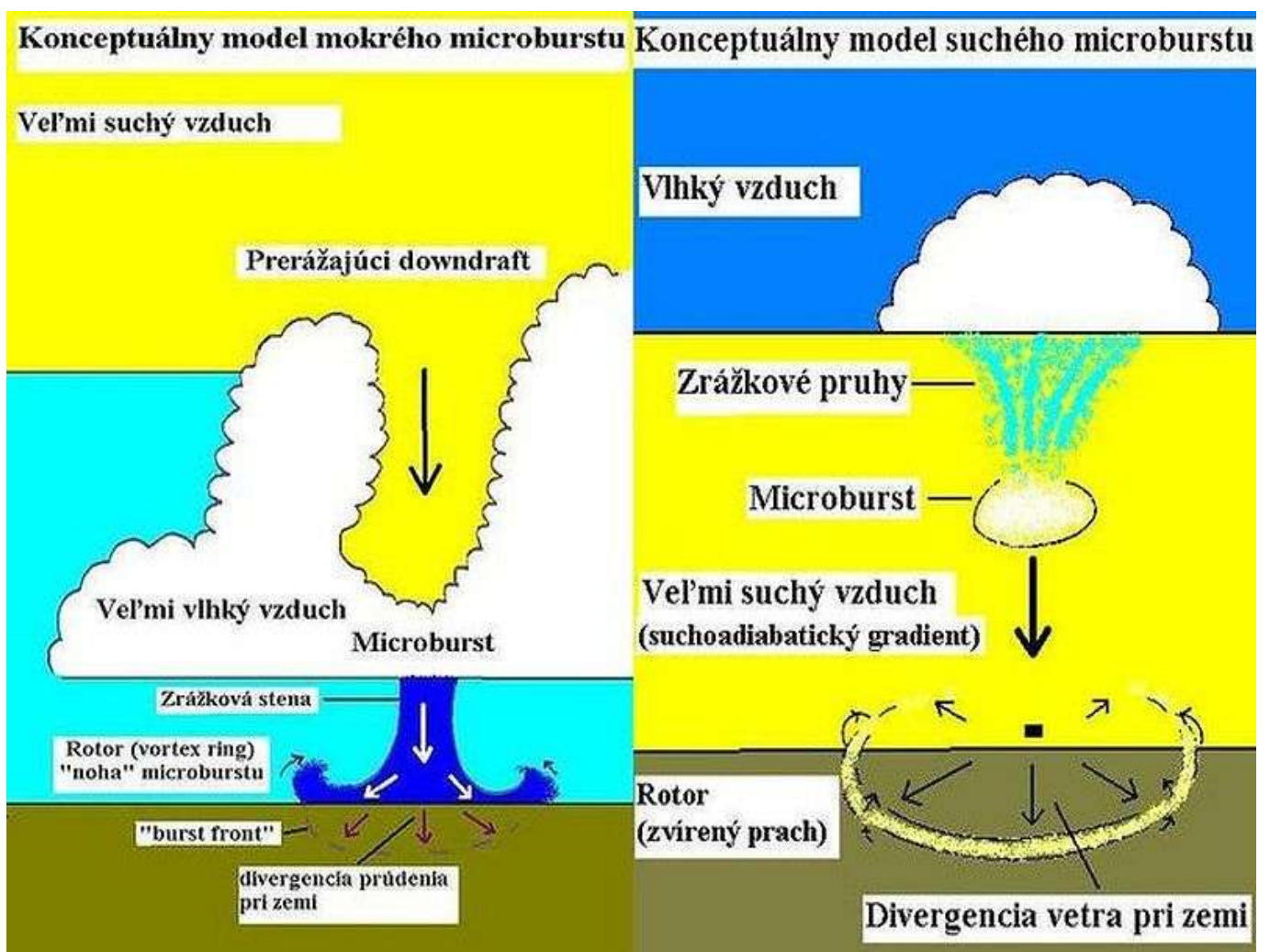
Mohli by sme to napodobniť, ak by sme na trávnik vyliali z určitej výšky a pod určitým uhlom naraz vedro vody. Profesor Fujita vysvetľoval tento jav silnými lokálnymi zostupnými pohybmi studeného vzduchu, ktorý klesá pod určitým uhlom a po kontakte so zemským povrchom sa rozlieva do okolia a vytvára **vír s horizontálnou osou**. Označil ho menom "**downburst**" (down - po anglicky znamená dole, burst - hod alebo vrh) - nasledujúci **obr.:**



Pozn.: Upozorňujeme, že termín downburst používame vtedy, keď nie je jasné, aké veľké sú horizontálne rozmery popisovaného javu.

V dôsledku celkového pohybu oblaku a prevládajúceho horizontálneho prúdenia nebývajú stopy po "účinkovaní" downburstu rovnorodé (v tvare hviezdy). Ako sme už spomenuli, zostupný prúd nesmeruje celkom zvisle k zemi a tvar a rozsah zdevastovaného okolia závisí značne aj od doby jeho existencie. "Stopa" po downburste je rozťahnutá v smere pohybu oblaku a prevládajúceho prúdenia, pričom v tomto smere dosahuje vietor najväčšiu rýchlosť po "zosadnutí" nad zemský povrch (rýchlosti zostupného prúdu a prevládajúceho prúdenia sa v tomto smere sčítavajú).

Teóriu o vzniku a vývoji downburstu podporili aj niektoré, dovtedy nevysvetliteľné havárie lietadiel počas štartu a pristávania (napr. havária lietadla na medzinárodnom letisku J.F.Kennedyho v roku 1975). Svedectvá pilotov o nečakanom zmene smeru vetra a strate vztlaku (podrobnejšie v ďalších kapitolách) potvrdili, že sa jedná o atmosférický jav spojený s kopovitou oblačnosťou a existenciou silných zostupných pohybov pod jej základňou. To dalo impulz na podrobnejší výskum v rámci projektov NIMROD a JAWS koncom 70-tych a začiatkom 80-tych rokov. Ďalšie štúdie ukázali, že treba rozlišovať medzi viacerými druhmi downburstov. Týkalo sa to horizontálneho priemeru a rozsahu pôsobenia downburstov, na základe čoho ich Fujita rozdelil na macrobursty a microbursty. Okrem toho však bolo potrebné aj ďalšie delenie, nakoľko microbursty sa občas vyskytujú v sprievode zrážok – **vlhký (mokrý) microburst**, inokedy sa však prejavajú len v podobe zrážkových pruhov, ktoré nedosahujú zemský povrch (zrážky sa cestou nadol vyparia), alebo v podobe zvířeného prachu – **suchý microburst** (pozri nasledujúce schémy).



Podmienky, v ktorých tieto microbursty vznikajú, sa líšia. Širšie poznatky o nich sa podarilo získať aj prostredníctvom počítačových simulácií a rádiolokačných meraní, takže dnes možno tento jav považovať za pomerne dobre známy a preskúmaný. To ale neznamená, že je ľahké ho zaregistrovať, alebo toľž predpovedať!

Ako možno microburst spozorovať ?

Vzhľadom na to, že rozmery microburstu sú rádovo stovky metrov, existuje šanca spozorovať ho (prípadne jeho prejavy), ak sa nachádzame v dostatočnej vzdialenosti od neho a sú dobré svetelné podmienky. Týka sa to hlavne "mokrých" microburstov, kde sa o jeho zviditeľnenie postarajú zrážky vypadávajúce z oblaku. Z niektorých filmových záberov evidentne vidieť zrážkové pruhy visiace zo spodnej základne oblaku, ktoré náhle zhustnú a následne veľmi rýchlo dosadnú na zemský povrch. Pri zemi sa vzniknutá zrážková stena lievikovito rozšíri a na jej okraji sa vytvorí vír s vodorovnou osou. To je práve najväčší rozdiel oproti tornádu, kde vietor krúži okolo zvislej osi. Preto by sme mohli (i keď veľmi nepresne) prirovnáť microburst k pretáčajúcemu sa valcu a tornádo k točiacemu sa stĺpu. Práve existencia víru je najspoľahlivejším dôkazom toho, že sa skutočne jedná o microburst. Okrem vodných kvapiek môže zdvihnúť do výšky aj veľké množstvo prachu. U tzv. "suchých" microburstov možno často spozorovať iba tento prachový vír, ktorý sa ako valec šíri do okolia od miesta dotyku microburstu so zemským povrchom. Po určitom čase sa vír vzdiali od zrážkovej steny natoľko, že ho môžeme pozorovať ako charakteristický nízky oblak v tvare goliera alebo valca. Takýto búrkový oblak sa nazýva odborne **cumulonimbus arcus**. Arcus (húľavový oblak) sa "drží" v určitej výške (niekoľko sto metrov) nad zemským povrchom. Väčšinou ho možno pozorovať vtedy, keď vytekajúci studený vzduch prekročí rozmery microburstu a stáva sa macroburstom.

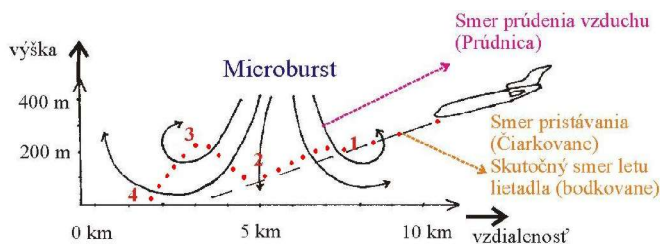
Čo možno registrovať počas preletu microburstom ?

Viacerí piloti a ich pasažieri mali to "šťastie", že sa dostali do priameho kontaktu s microburstom. Niektoré prípady skončili dokonca tragickými haváriami. Nebezpečie hrozí pri prelete microburstom počas nízkeho letu nad terénom, najmä ak lietadlo štartuje alebo nasadzuje na pristátie. Dôležitými parametrami je pri tom uhol, pod ktorým lietadlo vzlieta alebo pristáva a uhol nábehu lietadla. Ďalším parametrom je tzv. pravá vzdušná rýchlosť lietadla, čiže rýchlosť lietadla voči prúdiacemu okolitému vzduchu.

Ak lietadlo prelietava cez dobre vyvinutý microburst počas priblíženia na pristátie, stretáva sa s vírom, ktorý vzniká počas kontaktu microburstu so zemským povrchom a expanduje do okolia. Nakoľko sa lietadlo stretáva s protivetrom, či dokonca s prúdením smerom od zemského povrchu, pilot zaregistruje väčšinou nárast pravej vzdušnej rýchlosti a vztlaku. Pochopiteľne, osádka lietadla zaznamená aj zvýšenú turbulenciu, nebezpečím môže byť niekedy aj nečakané zvýšenie uhla nábehu lietadla, pri ktorom zase hrozí naopak strata vztlaku a prepadnutie. Kritická fáza však nasleduje až neskôr, počas preletu oblasťou najsilnejších zostupných prúdov a pri lete von z microburstu. Už počas preletu cez "jadro" microburstu pilot zaregistruje náhle stočenie (strih) vetra a stratu vztlaku. Najhoršie je to, že počas tejto fázy lietadlo stále klesá, lebo pilot si nemusí uvedomiť počas pristávania hroziace nebezpečenstvo. V dôsledku toho sa lietadlo

nevyhne oblasti silného prúdenia a víru na opačnej strane microburstu. Počas preletu touto oblasťou začne fúkať silný chrbtový vietor, teda v smere letu lietadla. Následkom toho lietadlo stlatí vztlak aj výšku. Nakoľko v tejto fáze letu je už lietadlo nízko, pilot ho často nestihne vyrovnať a nasleduje kontakt s terénom. Predísť tomu by sa teoreticky dalo, ak by lietadlo v oblasti silných zostupných pohybov začalo prudko stúpať a vyletelo by tak von z microburstu, mimo oblasti silného prúdenia a víru, ktorý sa tvorí v jeho okolí. Pilot však väčšinou nemá taký prehľad o situácii a nemá dostatok údajov na to, aby vedel včas zareagovať. Až do kritickej chvíle, keď lietadlo stratí vztlak, nemusí ani vedieť, že sa ocitol v microburste.

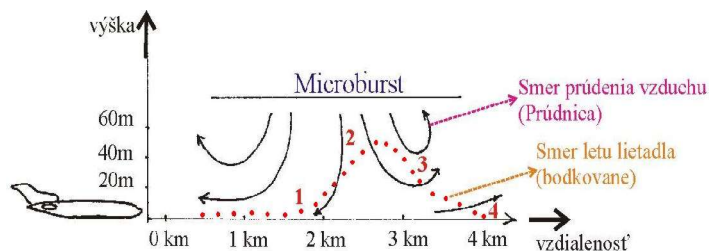
Pre lepšiu predstavu o priebehu spomínaného deja poslúži **obrázok**:



Havária lietadla pri lete v oblasti Microburstu počas pristávania.
Obrázok podľa rekonštrukcie havárie Royal Jordanian v Dauhe (Katar)
14.5.1976 (Podľa Fujitu).

- 1 - Silný protivietor, veľký vztlak a zväčšovanie uhla nábehu počas pristávacieho manévru
- 2 - centrum microburstu, silné zostupné pohyby vzduchu, pilot sa rozhodne pre ďalší oblet letiska a začne stúpať
- 3 - lietadlo sa dostalo do oblasti víru, silný vietor od "chrbta", strata vztlaku a strmé klesanie
- 4 - kontakt s terénom

Situácia je veľmi podobná aj pri vzlete lietadla a následnom prelete cez microburst. V prvom momente sa lietadlo dostane do oblasti víru a silného protivetra spôsobeného prúdením šíriacim sa od centra microburstu. Tým pádom vztlak aj pravá vzdušná rýchlosť narastajú (pokiaľ sa príliš nezväčší uhol nábehu). Po prelete jadrom microburstu však nastane situácia, keď lietadlo začne nečakane strácať vztlak a výškové kormidlá sú takmer neúčinné. To spôsobuje opäť silné prúdenie, ktoré sa šíri od centra microburstu ale tentoraz na jeho opačnej strane (viď nasledujúci obr.).



Havária lietadla pri lete v oblasti Microburstu krátko po štarte.
Obrázok podľa rekonštrukcie havárie PAA 759 v New Orleans 9.7.1982
(Podľa Fujitu).

- 1 - Silný protivietor, veľký vztlak a rýchle naberanie výšky po štarte
- 2 - centrum microburstu, zoslabnutie vetra, silné zostupné pohyby vzduchu
- 3 - vietor od "chrbta", strata vztlaku, prudké klesanie
- 4 - dotyk s terénom

Veľmi záleží od toho, ktorým smerom sa samotný microburst pohybuje a ako vyzerá pole rýchlosti vetra v ňom a v jeho okolí.

Medzi najznámejšie havárie spôsobené microburstom patrí havária Boeingu 727 spoločnosti Eastern na letisku JFK v New Yorku 24.6.1975, pri ktorej zahynulo 112 cestujúcich (z celkového počtu 124), ďalej havária linky Pan American 759 v New Orleans 9.7.1982 (zahynulo 159 pasažierov) a veľmi dobre zdokumentovaná havária linky Delta 191 na medzinárodnom letisku v Dallase 2.8.1985. Známe sú havárie aj ďalších lietadiel mimo USA, napríklad havária linky BOAC 252/773 v Nigérii alebo Pan American 806 na ostrove Pago Pago. V Európe sa zatiaľ tomuto javu venuje stále malá pozornosť, i keď sa microbursty nepochybne vyskytujú aj v našej oblasti (fyzikálne zákony v atmosfére platia u nás rovnako ako v USA alebo kdekoľvek vo svete). Na Slovensku dosiaľ nie je známy ani jeden prípad havárie lietadla v dôsledku existencie microburstu, avšak aj tu môže byť dôvodom neznalosť tohto javu alebo nedostatočné informácie o konkrétnych poveternostných podmienkach.

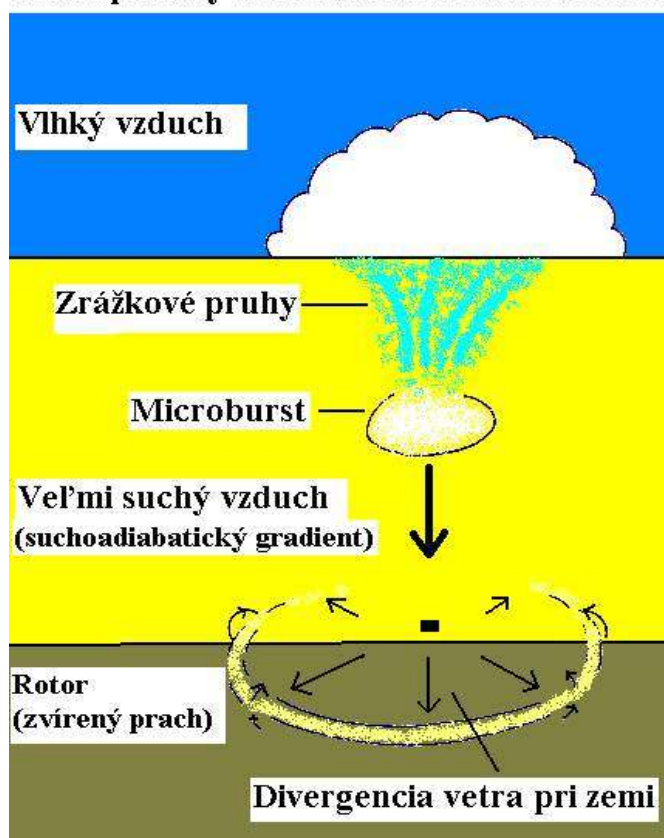
(Pozn.: Microburst sa s veľkou pravdepodobnosťou vyskytol v roku 1995 v Budapešti, na letisku Ferihegy, keď došlo k náhlemu prepadu lietadla počas štartu a jeho kontaktu s terénom. Táto udalosť nemala, našťastie, vážnejšie následky.)

Štruktúra a jednotlivé typy microburstov

V tejto časti sa budeme venovať dvom základným typom micro(macro)burstov a vynasnažíme sa vysvetliť základné odlišnosti medzi nimi.

Suchý microburst

Konceptuálny model suchého microburstu

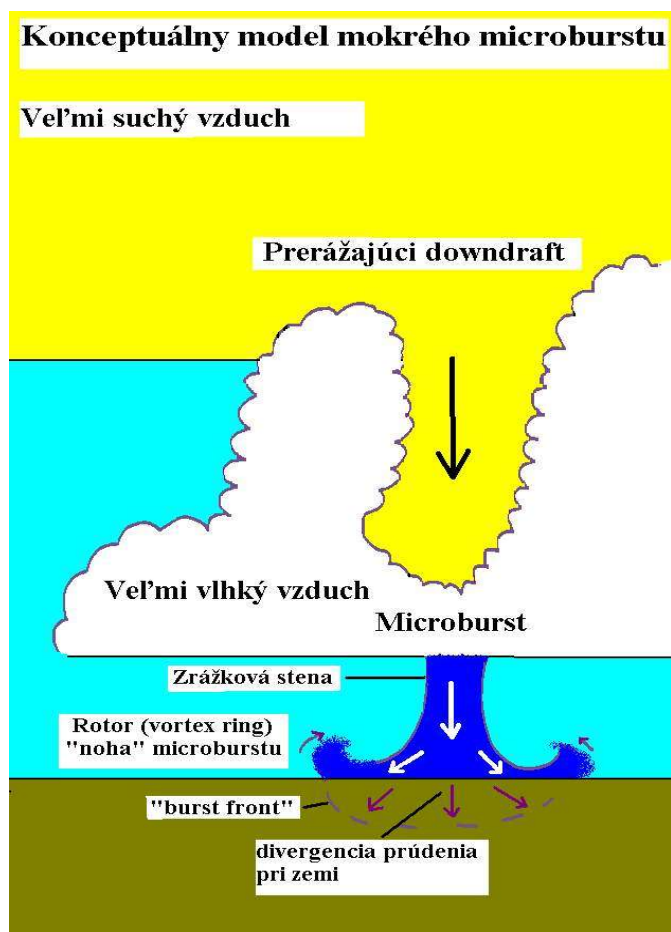


Ako sme už vyššie spomenuli, **suchý microburst** sa pri zemi neprejavuje zrážkami, tie sa vyparia ešte počas pádu spodnými vrstvami atmosféry. Príčinou toho je veľmi suchý vzduch vo vrstve siahajúcej od zeme až do výšky 3 alebo 4 km. V takomto prostredí klesá teplota vzduchu suchoadiabaticky, teda o jeden stupeň Celzia na každých sto metrov výšky. Nad touto „suchou“ vrstvou sa však vlhkosť vzduchu začne výrazne zvyšovať (myslí sa tým relatívna vlhkosť vzduchu) a stúpajúce bubliny vzduchu sa nasycujú. Vzniká kopovitý oblak, ktorý často nedosahuje také vertikálne rozmery, aby sme ho mohli považovať za búrkový oblak - cumulonimbus.

Po určitom čase začínajú prevládať v oblaku zostupné pohyby a vypadávajú z neho zrážky (väčšinou v kvapalnej forme). Cestou nadol sa vo veľmi suchom a teplom okolitom vzduchu vyparujú, v dôsledku

čoho zostupné pohyby ešte viac zosilnejú. Bublina zostupujúceho vysušeného vzduchu takto dorazí až k zemskému povrchu, odkiaľ už nemá kam ďalej zostupovať, a tak sa „rozlieva“ na všetky strany do okolitého prostredia. Vysoká zostupná rýchlosť vzduchu sa mení na vysokú tzv. doprednú rýchlosť prúdenia a na okraji rozširujúcej sa bubliny vzniká vír. Tento vír sa objavuje ako prstenec zvířeného prachu, ktorý sa postupne rozpína, až kým nestratí na výraznosti. Tento efekt bol niekoľkokrát pozorovaný a fotografovaný z lietadla, pričom bolo vidieť, že prstenec víru tvorí uzavretý kruh.

Mokrý microburst



V **mokrom microburste** je rozdelenie vlhkého a suchého vzduchu opačné ako v predchádzajúcom príklade. Spodná vrstva vzduchu je veľmi vlhká, preto aj zrážky vypadávajúce z oblaku dosahujú zemský povrch. Oblak vzniká už od výšok zhruba 1000 metrov a neraz narastie do mohutných vertikálnych rozmerov (až do výšky 10 - 12 kilometrov, kde je horná hranica troposféry a začína stratosféra). Vo vyšších vrstvách sa však do oblaku dostáva suchší vzduch. Po začatí zrážkovej činnosti je toto prenikanie suchého vzduchu čím ďalej tým zreteľnejšie (vidieť ho niekedy aj na obrazovke rádiolokátora pri meraní vertikálneho profilu tzv. rádiolokačnej odrazivosti mraku). Zostupné pohyby tak naberajú na intenzite a oblak sa môže náhle, v priebehu niekoľkých minút, celkom rozpadnúť. Pozorovateľ na zemi by mohol dokonca zaregistrovať, že krátko po uplynutí veľmi intenzívnych zrážok sa oblačnosť nad ním roztrhne a objaví sa

modrá obloha!

Pozorovateľ, ktorý je ďalej od oblaku (tým pádom má lepší prehľad o situácii), by pravdepodobne popísal ako postupne zhustli zrážkové pruhy pod oblakom, až sa z nich vytvorila nepriehľadná zrážková stena od základne oblaku až po zemský povrch. Potom sa začala zrážková stena pri zemi rozširovať, vytvorila akúsi "nohu", až bolo celkom zreteľne vidieť na jej okraji vír, ktorý strhával so sebou dažďové kvapky. V ideálnom prípade by bolo vidieť "nohy" dve, na oboch stranách zrážkovej steny, ak je microburst symetrický.

Príčina vzniku "nohy" je úplne rovnaká, ako pri suchom microburste. Padajúci studený vzduch (ochladzuje sa v dôsledku vyparujúcich sa zrážok) si môžeme zjednodušene predstaviť ako tyčinku plastelíny, ktorú tlačíme o pevný povrch. Nakoľko tyčinka po dotyku s povrchom nemôže preniknúť cez podložku, v dolnej časti sa začne deformovať a rozširovať, až z nej zostane placka, ktorá je „roztečená“ na všetky strany. Z toho vyplýva, že domnelá "noha" je vlastne viditeľným prejavom takéhoto rozširovania

studeného vzduchu do strán. Väčšinou však vnímame toto rozširovanie iba dvojrozmerné (v bokoryse), takto sa javí rozširovanie zrážkovej steny aj na väčšine fotografií.

Vír, ktorý sa tvorí na okraji vytekajúceho studeného vzduchu teda opäť tvorí uzavretý prstenec, ako tomu bolo aj v prípade suchého microburstu. Vidieť ho vďaka tomu, že zachytáva kvapky hnané vetrom a vynáša ich nahor (čiže v prednej časti víru prší v podstate smerom hore ! :-).

Uvedené dva typy microburstov sú iba idealizovanými modelmi, v skutočnosti mnohé z nich môžu niest' znaky suchého aj mokrého microburstu, ak sa v ovzduší strieda niekoľko vrstiev vlhkého a suchého vzduchu. Hovoríme o zmiešaných typoch.

Ďalej môžeme rozlišovať microbursty, ktoré sú málo pohyblivé (stacionárne) a také, ktoré sa pohybujú. Tie prvé bývajú najviac symetrické a preto sa dajú pomerne dobre identifikovať podľa zanechaných škôd. Tie druhé zanechávajú stopu, ktorá **môže niekedy pripomínať stopu tornáda** (ak je microburst malý a intenzívny). Navyše sa nemusí microburst pohybovať priamočiara, ale môže sa aj zatočiť, čo celú záležitosť ešte viac komplikuje.

Veľmi dôležitou vlastnosťou (z hľadiska detekcie a predpovede) je, že okrem izolovaných microburstov sú časté prípady, keď sa v malom okolí vyskytne niekoľko microburstov. Tie môžu postupne vytvoriť jeden veľký celok, ktorý sa na prvý pohľad môže zdať rovnorodý.

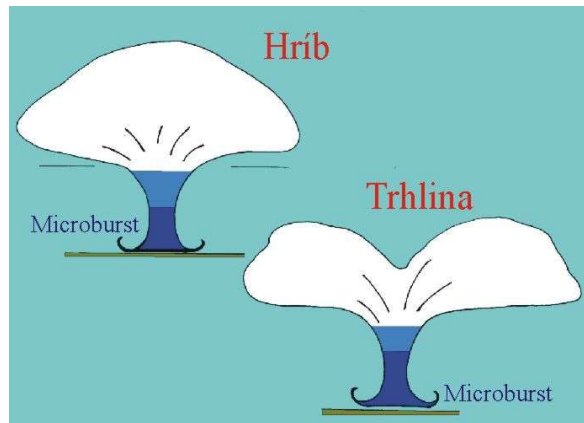


Zostupný pohyb sa môže v microburste aj niekoľkokrát po sebe zopakovať, čo sa prejaví na zemi opakovaným zosilnením a zoslabnutím vetra v niekoľkominútových intervaloch. Vtedy hovoríme o vytvorení viacnásobného víru.

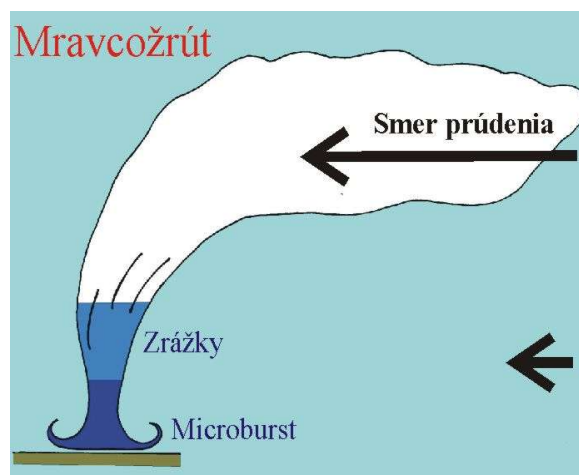
Niekedy sú microbursty vyprodukované oblakmi zaujímavých tvarov, čo môže veľa napovedať o ich štruktúre a vývoji. Týka sa to najmä vertikálne málo vyvinutých kopovitých oblakov typu cumulus. Často sa napríklad vyskytuje microburst v spojení s

oblakom, ktorý celkovým vzhľadom pripomína **hríb** (pomyselný hlúbik tvorí práve zrážková stena microburstu).

Iným typom je oblak s výraznou (a zväčšujúcou sa) **trhlinou** práve nad oblasťou zrážok. Takýto tvar je svedectvom o prenikaní suchého vzduchu do oblaku z vyšších vrstiev atmosféry, čo sme spomínali v prípade mokrého microburstu.



Veľmi zvláštnym typom oblaku je "**veľký mravcožrút**", ako ho nazval profesor Fujita, pretože vzhľadom pripomína (oblak, nie profesor ;-)) toto zviera.



Prostredníctvom dopplerovských rádiolokátorov sa zistilo, že zostupný prúd v microburste zároveň aj rotuje. Pravda, nie takou rýchlosťou, ako výstupný prúd v tornáde. Teda aj v microburste sa môže vytvoriť (ale len vo vyšších hladinách) tlaková níz veľmi malých rozmerov (stovky metrov až kilometre). Pri zemi sa však v dôsledku zostupných pohybov (a ochladenia vzduchu zrážkami) tvorí – naopak - tlaková výš. Jej rozmery dosahujú tiež maximálne len niekoľko km v priemere (do 4 km pri microburste). Možno tu teda nájsť určité analógie, aj kontrasty, v porovnaní s prúdením vzduchu v tornáde, hoci tento atmosférický jav vzniká úplne iným spôsobom.

Prečo je microburst schopný narobiť také škody? Ako vzniká vír?

Už sme spomenuli, že pod microburstom vzniká tlaková výš malých rozmerov. Tam, kde je stred tejto výše, je rýchlosť vetra najmenšia a smerom von, vo vytekajúcom studenom vzduchu, vietor prudko zosilnie. Ak porovnáme veľkosť tlaku vzduchu nameranú v centre microburstu s veľkosťou tlaku vzduchu v jeho okolí, mohli by sme

pomocou výpočtov odhadnúť maximálnu rýchlosť prúdenia v microburste.

Keď sa začali vyhodnocovať experimentálne výsledky, zistilo sa, že jednoduché výpočtové metódy značne podhodnocujú predpokladanú maximálnu rýchlosť vetra voči skutočne nameraným hodnotám.

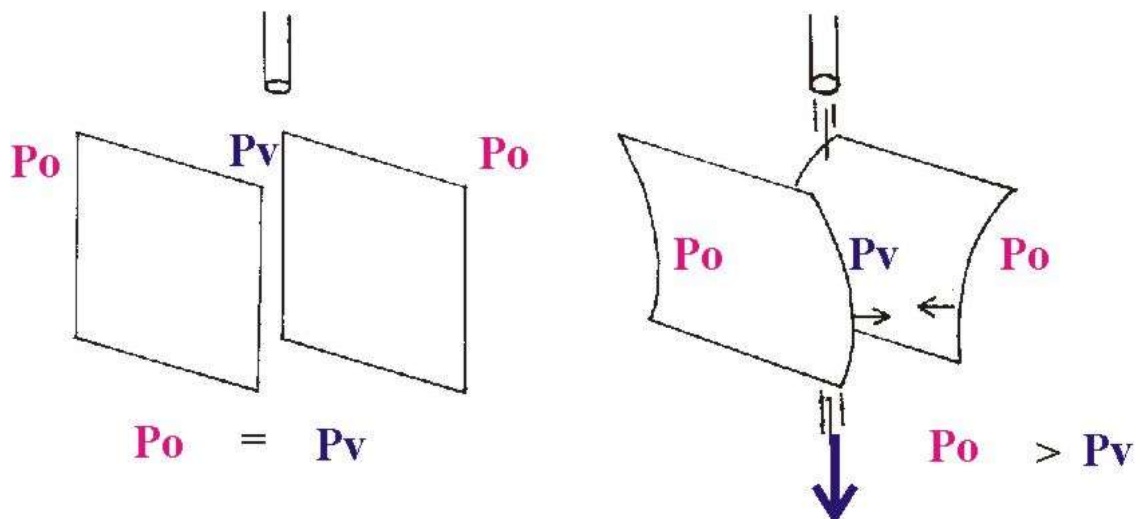
Vo fyzike je napríklad dobre známa **Beroulliho rovnica**, z ktorej vyplýva, že pokles tlaku v prúdiacom vzduchu je priamo úmerný štvorcu maximálnej rýchlosti prúdenia (uvažujeme, že v centre microburstu je bezvetrie). Vo väčšine prípadov tlakový rozdiel medzi stredom a okolím microburstu neprekročí 2 hPa, čomu zodpovedá maximálna rýchlosť "iba 17,5 m/s"). Tlakové rozdiely 3 až 4 hPa pri microburste sú vzácne a často sú spojené s rozsiahlejšími tlakovými zmenami (prechodom frontu, rýchlym presunom a budovaním väčších tlakových útvarov a pod.). Napriek tomu pomerne bežne zaznamenáme pri zmene tlaku o 2 hPa aj nárazy vetra vyše 30 m/s.

Bernoulliho rovnica

Môžeme použiť veľmi jednoduchý pokus na to, aby sme ukázali jednu zo základných vlastností prúdiacich tekutín.

Vezmeme dva papiera a podržíme ich vedľa seba. Potom zhora medzi ne fúkneme a zistíme, že spodné konce papiera **sa k sebe približujú** (tento pokus sa bežne predvádza na hodine fyziky v prvom ročníku gymnázia). Čo sa odohralo ?

Prúdenie medzi papiermi spôsobilo, že tlak vzduchu poklesol na hodnotu **P_v**, ktorá bola menšia ako tlak okolitého vzduchu **P_o**. (Nárast rýchlosti prúdenia vzduchu teda automaticky generuje podtlak voči okoliu.) Rozdiely v tlaku sú vyrovnávané tlakovými silami (znázornené na obrázku šípku), ktoré priťahujú spodné konce papierov k sebe.



Bernoulliho rovnica dáva do súvislosti **pohybovú energiu** (rýchlosť) prúdiacej tekutiny a **tlakovú energiu** (tlak) v tejto tekutine:

$$\text{pohybová energia} + \text{tlaková energia} = \text{konštanta}$$

alebo ináč povedané

súčet energií na začiatku deja = súčtu energií na konci deja

Ak sa teda zvýši rýchlosť prúdenia, zvýši sa tým jeho pohybová energia. Tlaková energia (tlak vzduchu) tým pádom musí klesnúť, ináč by sme nedostali po ich súčte to isté číslo ako na začiatku deja a rovnica by neplatila.

Skúsme teda túto vlastnosť použiť v našom prípade s microburstom. Na začiatku deja máme iba zostupné pohyby v centre microburstu a rýchlosť vetra je malá. Celková energia vzduchovej hmoty v microburste je teda tvorená prevažne tlakovou energiou (vyšší tlak vzduchu). V momente, keď sa studený vzduch začne roztekať spod microburstu do okolia, prudko stúpa rýchlosť vetra v smere od stredu microburstu k jeho okraju. Znamená to teda, že v miestach so silným vetrom na okraji microburstu začne prevládať pohybová zložka energie a tlak musí klesať.

Na mape tlakového poľa by sme to zaregistrovali ako prstenec nižšieho tlaku vzduchu okolo stredu microburstu, kde sa rýchlosť vetra podstatne nezväčšila a ostáva tam miniatúrna tlaková výš (pochopiteľne, museli by sme mať veľmi hustú sieť meraní, aby sme ju mohli detekovať).

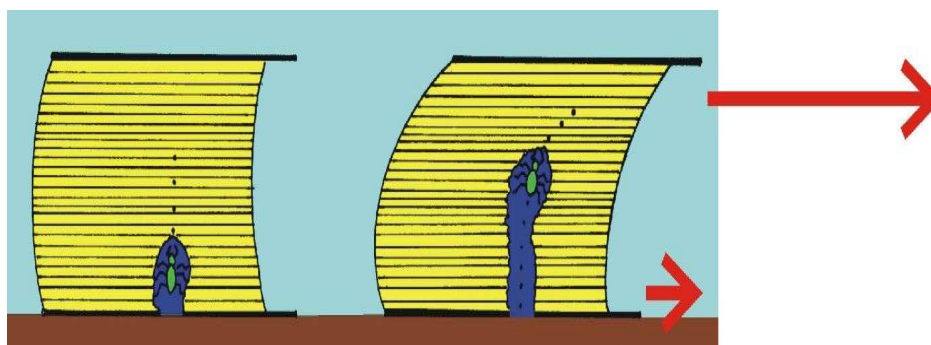
Podobne by sme zaznamenali zmenu v tlaku vzduchu, pokiaľ by sa microburst presúval ponad naše stanovište. Najprv by sme zaznamenali na jeho prednej strane silný nárazový vietor, pri ktorom by tlak vzduchu začal klesať. Ďalej, v studenom vzduchu ochladenom zrážkami, by začal tlak stúpať a rýchlosť vetra by poklesla, lebo by sa k nám blížil stred microburstu. Tvar krivky na barografe, zameranávajúci tento vzostup tlaku vzduchu, sa v literatúre niekedy označuje ako **búrkový nos**. Po prechode stredu microburstu by začala rýchlosť vetra opäť narastať a tlak vzduchu klesať. Po zániku (odchode) celého microburstu by sa tlak vzduchu opäť ustálil na pôvodných hodnotách.

Ako v prípade mnohých iných rovníc, ktoré sa snažia popísať fyzikálne zákony, aj Bernoulliho rovnica má len obmedzenú platnosť. Dost' dobre ju môžeme použiť, ak nie sú rýchlosti prúdenia príliš veľké. Vtedy sa tekutina (voda, ale aj vzduch) správa ideálne: nevznikajú víry, prúdenie je vo všetkých vrstvách rovnomerné (laminárne), zahrievanie tekutiny v dôsledku trenia jednotlivých vrstiev možno zanedbať. Ale v popise atmosféry a atmosférických dejov, akým je microburst, s tým väčšinou nevystačíme. Prirodzenou vlastnosťou atmosféry (najmä pri väčších rýchlostiach vetra) je tvorba vírov. Vieme ich síce popísať, ale potrebujeme na to zložité matematické vzťahy, ktoré sa dnes už väčšinou riešia prostredníctvom počítačov.

Bernoulliho rovnicu teda môžeme použiť len pre prípad ustáleného prúdenia, v ktorom sa netvorí víry. A v tom je práve problém. Hlavnou príčinou škôd, ktoré napácha microburst, je práve vír, ktorý sa tvorí na jeho okraji a v ktorom dosahuje vietor najväčšiu rýchlosť. Akým spôsobom a prečo teda vzniká ?

Schopnosť tvoriť víry, čiže **turbulencia**, je prirodzená vlastnosť prúdenia vzduchu. Jednou z možností, ako dôjde k vytvoreniu víru, je veľká zmena v rýchlosti vetra (v meteorologickom jazyku veľký **strih v rýchlosti prúdenia**) bez toho, aby sa dali pôvodne

vidieť nejaké významné rozdiely v smere prúdenia. Takúto tvorbu víru môžeme demonštrovať, ak položíme na stôl veľmi hrubú knihu, pritlačíme ju zhora rukou a snažíme sa ju posúvať tým, že ťaháme len jej horný obal.



Trenie medzi listami papiera (listy papiera nám reprezentujú rôzne vrstvy prúdiaceho vzduchu) spôsobuje, že najviac sa pohybujú dopredu horné listy, zatiaľ čo spodné listy sa pohybujú pomaly a kniha sa deformuje. Ak sa pozrieme na knihu z profilu, vidíme, že okraje listov tvoria krivku. Ak by sa teda nejaký chrobák počas pohybu prehryzával listami papiera zdola nahor, posúval by sa spolu s knihou a zároveň by opisoval túto krivku, teda rotoval by v smere hodinových ručičiek.

V microburste padá smerom nadol vzduch, ktorý je chladnejší a tým aj ťažší, ako jeho okolie. Preto je rýchlosť zostupných pohybov vzduchu v microburste oveľa väčšia ako v jeho okolí. Trenie medzi zostupujúcimi vrstvami na okraji microburstu spôsobuje, že sa vytvára vír. Smer rotácie tohto víru je taký, akoby sa vzduch prúdiaci von z microburstu snažil otočiť hore a vrátiť sa potom späť do microburstu, kde je vyššia rýchlosť prúdenia. Kvôli názornosti môžeme použiť malú demonštráciu: uchopíme dvomi rukami kotúč (alebo valček) a pohybujeme rukami smerom dole. Nech ľavá ruka (z hľadiska pozorovateľa) predstavuje prúdenie v microburste a pohybuje sa k zemi rýchlejšie. Pravá ruka, ktorá reprezentuje prúdenie v okolitom vzduchu, vzhľadom na ňu zaostáva a kotúč sa otáča proti smeru hodinových ručičiek (pozri [fotografiu](#)).



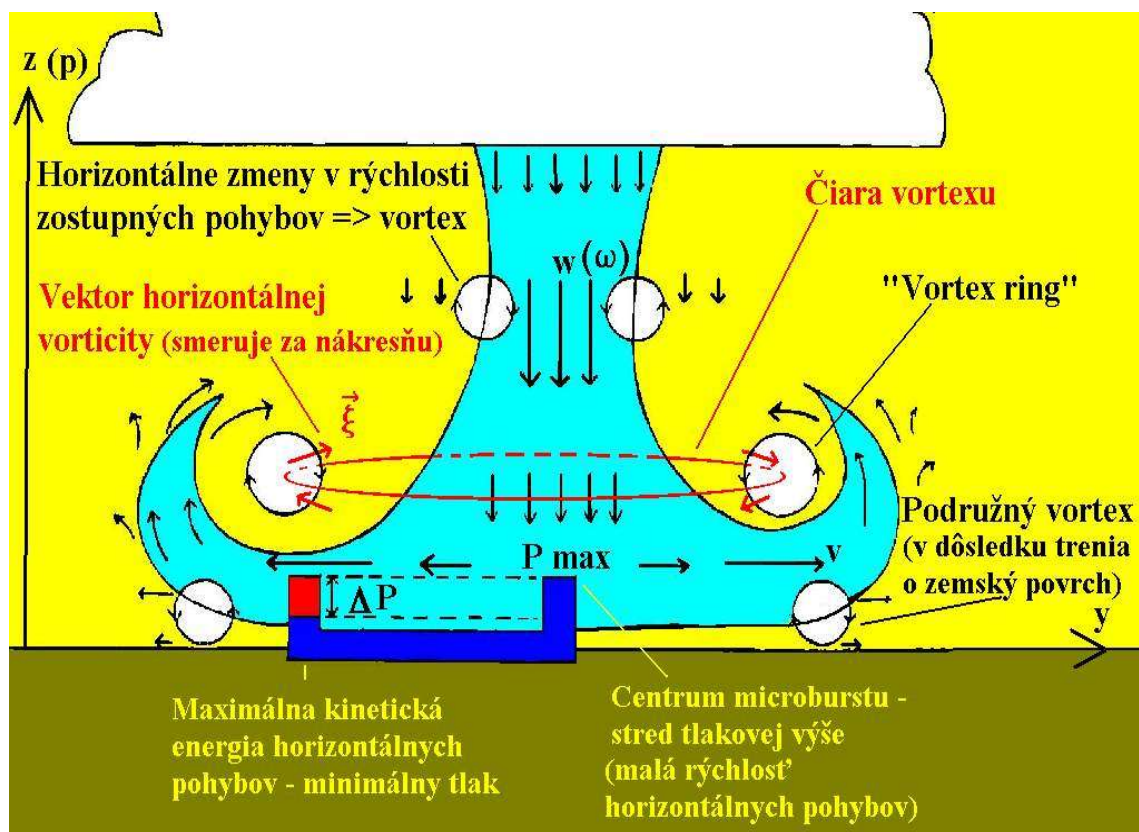
Naše úvahy (a dokazujú to aj počítačové simulácie a filmové záznamy) nás vedú k tomu, že vír vzniká ešte pred dotykom microburstu so zemou. Ako je to potom, keď sa

microburst začne pri zemi rozširovať a zostupné prúdy vzduchu sa menia na horizontálne ?

Pôvodný (hlavný) vír sa zachováva na hornej časti "nohy" microburstu, teda tam, kde rýchlosť vetra podstatne klesá s rastúcou výškou. Výtok studeného vzduchu siaha maximálne do výšky niekoľko sto metrov a nad jeho hornou hranicou je rýchlosť vetra oveľa nižšia. Smer rotácie si znovu ľahko overíme pomocou predošlého pokusu s kotúčom. Teraz je už jasné, prečo sú kvapky vymršťované na prednej strane víru smerom nahor !

Tesne pri zemi však rýchlosť prúdenia s pribúdajúcou výškou rastie, a to v dôsledku trenia so zemským povrchom. Tu sa tiež tvoria víry (podružné), ktorých rozmery sú oproti hlavnému víru menšie a majú opačný smer rotácie. Šírenie rotora do strán, von zo stredu microburstu a povahu prúdenia v jeho okolí ukazuje **obrázok** na nasledujúcej strane.

Ďalej je dôležité to, že vír tvorí vždy uzavretý prstenec okolo oblasti zostupných pohybov. Nemôžeme si ho teda predstaviť ako nejaký voľný rotor (podobne ako rotujúcu ceruzku). Pochopiteľne, rotácia nemusí byť rovnako intenzívna po celej dĺžke tohto prstenca a ani sa nemusí všade zviditeľniť, ale zas - nemôže byť len tak niekde "useknutá" a skončiť "vo vzduchu".



Tento fakt nie je až také jednoduché dokázať a je na to potrebný matematický aparát (podrobnejšie na stránke NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration) http://www.nssl.noaa.gov/users/doswell/public_html/microbursts/Handbook.html).

Uspokojme sa zatiaľ s tým, že rotáciu možno popísať poľom čiar (ktoré pripomínajú siločiaru elektrického alebo magnetického poľa) a nazývajú sa čiarami vortexu (vortex znamená vír, rotor). Aj fyzikálna veličina, ktorá popisuje schopnosť tekutiny rotovať, sa nazýva **vorticity**. Pre nás je dôležité to, že spomenuté čiary vortexu musia byť do seba uzavreté alebo končiť na pevnom povrchu (na zemi) a to platí tým pádom aj pre oblasť, v ktorej existuje rotácia. Toto má význam nielen pre prúdenie v microburste ale aj v okolí

tornád a tlakových útvarov veľkých rozmerov.

Čo je motorom microburstu ? Prečo vzniká ?

V predchádzajúcich odsekoch sme spoznali, že pôvodcom vzniku víru a škôd pri microburste sú silné zostupné pohyby vzduchu. Prečo k nim dochádza a prečo vznikajú len za určitých okolností ?

Hlavnú úlohu v týchto procesoch zohráva **ARCHIMEDOVSKÁ VZTLAKOVÁ SILA**.

Tá je pravdepodobne jedným z najznámejších fyzikálnych javov a veľa ľudí pozná poučku o "nadľahčovaní telesa ponoreného v kvapaline úmerne k objemu vody, ktoré samo vytlačí ..."

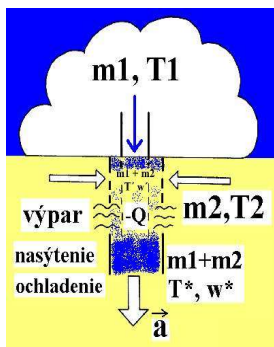
Archimedovská sila však nepôsobí len v kvapalnom prostredí ale aj v plynoch. My si ju na suchu väčšinou neuvedomujeme, nakoľko vzduch je omnoho redší ako voda a gravitačná sila, ktorá nás priťahuje k zemskému povrchu je tak v porovnaní s ňou o mnoho väčšia. Avšak teplovzdušné balóny lietajú práve vďaka tomu, že ohrievaný vzduch v balóne sa stáva ľahším ako okolitý vzduch a je nadnášaný touto vztlakovou silou. Toto isté platí aj pre prízemné vrstvy (bublíny) vzduchu, ktoré sa v letných mesiacoch silne ohrievajú od zemského povrchu. Výstupné prúdy s nimi spojené sú vyhľadávané plachtármi. Tento jav sa v meteorológii nazýva **konvekcia** a je aj príčinou vzniku mohutných, vertikálne rozvinutých búrkových oblakov.

Menej sa však už vie, že tento jav platí aj opačne. Pokiaľ sa vo vyšších vrstvách ovzdušia vytvorí vrstva (bublina), ktorá je chladnejšia (a ťažšia) oproti okolitému vzduchu, začne na ňu pôsobiť tlaková sila ale tentoraz smerom dolu. Preto sa niekedy nazýva ako **NEGATÍVNA ARCHIMEDOVSKÁ VZTLAKOVÁ SILA**. *

* Pozn.: Autorom nie je známy slovenský ekvivalent tohto pojmu, ktorý sa v anglickej literatúre nazýva ako "negative buoyancy". Buoyancy znamená v preklade vztlaková sila, vztlak (odvodené od slova "buoy" - bója).

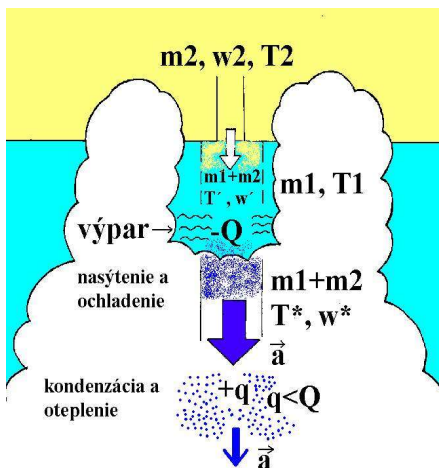
Čím je táto sila väčšia, tým viac zrýchľuje bublina smerom k zemi a o to väčšie sú aj následky jej dopadu na zemský povrch. Je zaujímavé, že prostredníctvom počítačových simulácií sa zistilo, že rozdiely v tejto sile spôsobujú aj rozširovanie prstenca víru od centra microburstu do okolia (pôvodne sa myslelo, že toto rozširovanie spôsobuje najmä "pretlak" v strede microburstu).

Prečo však dochádza len niekedy k takému silnému ochladeniu a prepadu studeného vzduchu ? Na toto je už odpoveď omnoho zložitejšia, a preto sa môžeme pokúsiť len o približné náčrty toho, ako k tomuto javu môže dôjsť.



Najjednoduchšie sa vysvetľuje vznik silných zostupných pohybov v **suchom microburste**. Po tom, čo z oblaku začínajú vypadávať zrážky a dostávajú sa do oblasti veľmi suchého vzduchu pod oblakom, začnú sa intenzívne vyparovať. Výpar si však vyžaduje spotrebu tepla - o tom sa ľahko presvedčíme v lete na kúpalisku, keď vylezieme z vody. Kvapky na našom tele sa na slnku rýchlo vyparujú a napriek tomu, že je vonku horúco, na koži pociťujeme chlad. Podobne je tomu aj v microburste, pričom procesy

miešania s okolitým vzduchom, výparu a ochladenia trvajú, až kým sa všetky zrážky z oblaku nevyparia. Na povrch zeme dopadne potom už len bublina studeného vzduchu.



Komplikovanejšia je situácia v **mokrom microburste**, kde suchý vzduch preniká do oblaku zhora (viď oblak typu "trhlina") a mieša sa s nasýteným vzduchom v oblaku. Tým vznikne základ pre silné zostupné pohyby vzduchu. Zostupujúci vzduch sa v spodných vlhkých hladinách pod oblakom môže nasýtiť (čím sa opäť ohreje), ale pokiaľ je prenikanie suchého vzduchu a výpar v horných hladinách veľmi intenzívny, nedá sa už vzniknutá bublina studeného vzduchu "ubrzdiť". Microburst tak spadne na zemský povrch spolu so zrážkami.

Celý proces však závisí od mnohých "zdanlivých maličkostí", ktoré vo veľkorozmerných meteorologických javoch nehrajú až takú úlohu. Opäť - pomocou počítačových simulácií sa ukázalo, že jedným z rozhodujúcich faktorov môže byť napríklad aj veľkosť kvapiek, ktoré vypadávajú z oblaku. Je všeobecne známe, že výpar prebieha omnoho rýchlejšie, pokiaľ sú kvapky malé - tým pádom sa aj vzduch ochladzuje rýchlejšie.

Rýchlosť padania studeného vzduchu zrejme nezávisí len od množstva zrážok, ktoré sa v ňom vyparia ale aj od rýchlosti, akou sa tento výpar udeje. Tomu môže významne napomôcť turbulencia, ktorá podporuje premiešavanie suchých a vlhkých vrstiev vzduchu v okolí oblaku. To by vysvetľovalo aj fakt, prečo niektoré, aj keď rozmerné, oblaky nevyprodukujú zodpovedajúce silné zostupné pohyby, zato však iné, aj relatívne malé, oblaky môžu "splodiť" nebezpečný microburst.

Toto všetko nás privádza k hlavnému problému:

Prečo microburstom „rozumieme“, ale zatiaľ ich nevieme predpovedať ?

Alebo presnejšie povedané, nevieme ich predpovedať načas a so spoľahlivosťou, ktorá by vystačila v meteorologickej praxi. Spomenuté "maličkosti", od ktorých závisí rozvoj microburstu sú z meteorologického pohľadu objekty veľmi malých rozmerov - napríklad rozmery turbulentných vírov sú väčšinou desiatky alebo stovky metrov. Pri predpovedaní veľkorozmerných atmosférických procesov (ktoré majú rozmery desiatok, stoviek, ba i tisícov kilometrov) vystačíme aj s menej presnými popismi takýchto javov. Rovnako nás vtedy nemusí trápiť ani rozdelenie veľkostí kvapiek v oblaku a pod oblakom.

Počítačové modely, ktoré predpovedajú pohyby frontov a tlakových níží, sa nedajú použiť na predpoveď nejakého konkrétneho oblaku, a už vôbec nie microburstu. Na to potrebujeme vedieť popísať s veľkou presnosťou deje, ku ktorým dochádza v samotnom oblaku, jeho štruktúru (mikrofyziku), povrch terénu (orografiu) a pod. Takéto simulácie si vyžadujú spresniť aj základné fyzikálne zákony, podľa ktorých prebieha výpočet modelu (napríklad sa v súčasnosti experimentuje s takzvanými nehydrostatickými modelmi).

To všetko však stále nestačí. Ak chceme úspešne predpovedať javy, ktoré majú

rozmary niekoľko kilometrov a potrebujeme popísať štruktúry o veľkosti rádovo niekoľko desiatok metrov, potrebujeme aj veľmi hustú sieť meraní a údajov (a to nie len zo zemského povrchu ale i z voľnej atmosféry).

Ani vyriešenie tohto problému však nemusí byť zárukou dobrej predpovede. Otázka existencie alebo neexistencie lokálne silného zostupného pohybu je často otázkou počiatočného impulzu. Aj za veľmi dobrých podmienok pre vznik microburstu môže dôjsť k tomu, že sa (napriek všetkým očakávaniam) nevytvorí. To isté platí aj pre vývoj búrkových oblakov, keď sa často stáva, že tenká vrstva stabilne zvrstveného vzduchu (prejavuje sa napríklad nízkou oblačnosťou typu stratocumulus) zastaví výstupné pohyby a nedôjde k vzniku mohutnej kopovitej oblačnosti. Naopak, niekedy stačí aj veľmi malý impulz (hoci prelet lietadla alebo lokálne zväčšená turbulencia), aby sa táto vrstva narušila a odštartovala rozsiahlu konvekciu.

Nakoľko podobné počiatočné impulzy sú prakticky nepredpovedateľné, v počítačových simuláciách oblakov sa vyvolávajú zväčša umelo. Často sa teda jedná o testy čiste akademického rázu. To však v žiadnom prípade neznižuje ich význam. Napokon, mnoho hypotéz o vzniku a vývoji búrkových oblakov, microburstov alebo i tornád bolo potvrdených práve počítačovými simuláciami. Prostredníctvom výkonných počítačov sa môžeme dopracovať k takým poznatkom, ku ktorým by sme sa žiadnou inou cestou nedostali. Na rozdiel od iných vied, v meteorológii bohužiaľ (alebo možno našťastie ! :-)) nemôžeme robiť experimenty priamo v prírode, a toľž nie ich opakovať. V tom je prednosť numerických počítačových simulácií, ktoré možno zopakovať pre jednu a tú istú situáciu v ľubovoľnom počte pokusov a s rôznymi podmienkami.

Aké sú prostriedky skúmania microburstov?

Microbursty, pokiaľ ich výskyt zachytíme technikou, môžeme zdokumentovať a nepriamo skúmať pomocou výstupov z rádiolokátora, prípadne pomocou meraní meteorologických staníc. Neoceniteľnými pomocníkmi pri ich skúmaní však i naďalej ostávajú prevažne vizuálne pozorovania, najlepšie zaznamenané fotoaparátom alebo videokamerou.

Radary

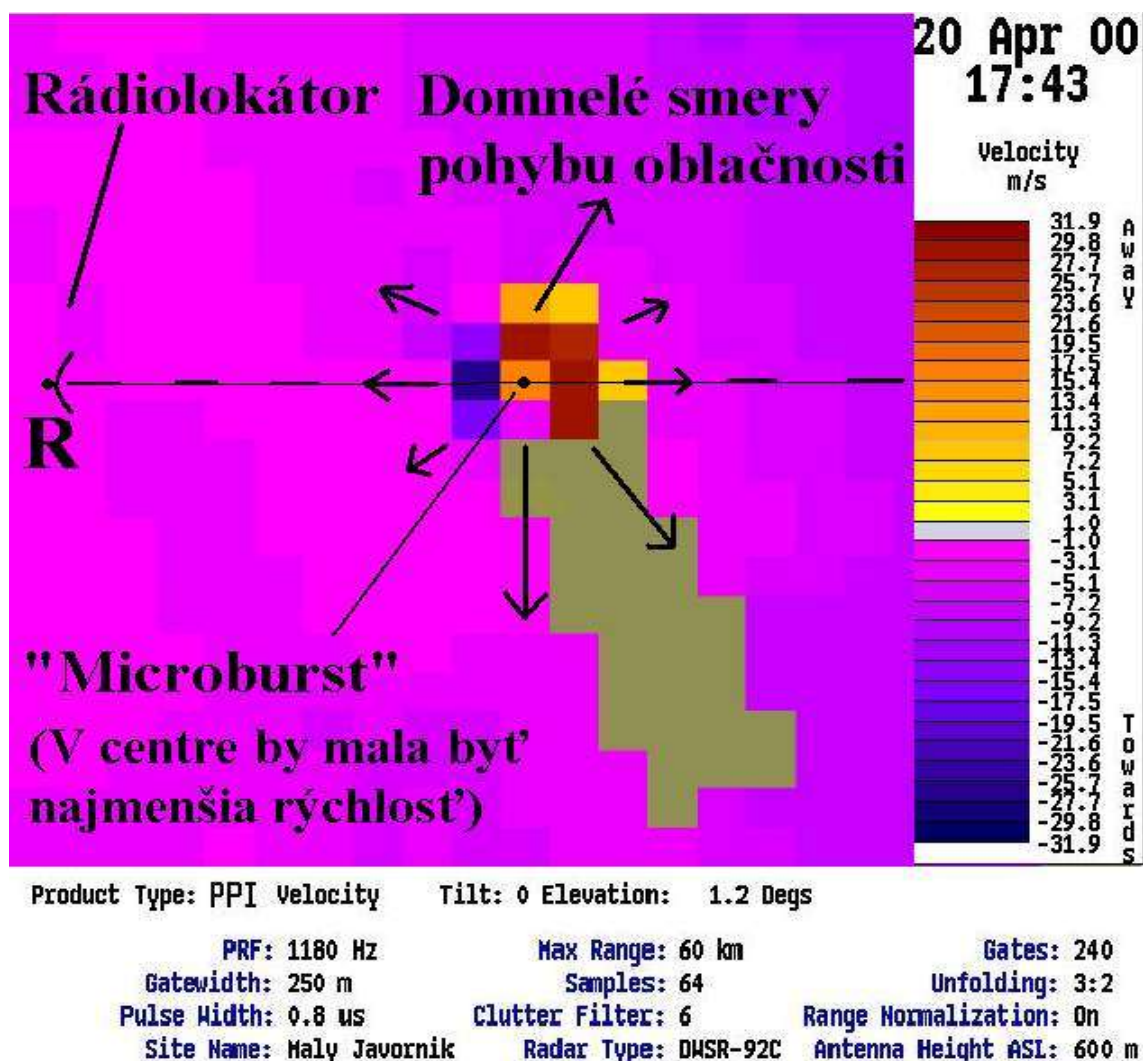
Hoci rádiolokátory, podobne ako družice, nepredpovedajú vznik a vývoj oblačnosti, môžu byť veľmi užitočnými prostriedkami na analýzu aktuálnych poveternostných javov. Za určitých podmienok to platí aj pre microbursty a macrobursty.

Pomocou rádiolokátorov tzv. dopplerovského typu sa zistilo, že microbursty zanechávajú v spodných hladinách merania výraznú **stopu** – **echo** (viď **obr.** nižšie), ktoré je spôsobené rozbiehavosťou prúdenia v microburste.

Ďalším signálom toho, že "niečo nie je v poriadku", môže byť aj náhle "zmiznutie", t.j. rozpad sledovaného oblaku alebo jeho časti. To je spôsobené vťahnutím suchého vzduchu do oblaku a jeho rýchlym vyparením za súčasnej existencie silných zostupných pohybov.

Všetky tieto merania sú však len nepriamymi svedectvami o existencii microburstu. Na priame pozorovanie a získavanie konkrétnych údajov o poli vetra a o výstupných (zostupných) pohybov sú nevyhnutné aspoň tri relatívne blízke a synchronizované rádiolokátory. Rádiolokátor je však veľmi drahé zariadenie a takú hustotu rádiolokačnej

siete si nemôžu dovoliť ani najvyspelejšie štáty (v USA fungovalo niekoľko navzájom synchronizovaných dopplerovských rádiolokátorov, ale pokiaľ je známe, bolo to len pre vedecké účely).



Aj v prípade, že rádiolokátor zachytí vznik microburstu, môže to byť už neskoro na vydanie včasnej výstrahy pre ohrozenú lokalitu, keďže celý jav môže trvať len 5 až 10 minút. Význam detekcie je skôr v tom, že microbursty sa často vyskytujú v skupinkách. Čiže možno počítať s tým, že v blízkej dobe sa silné zostupné pohyby vytvoria aj v jeho okolí, tam, kde sú na to vhodné podmienky. Pri pohybujúcich sa microburstoch možno aspoň predpokladať (na základe predchádzajúcich snímok) trasu oblaku a vydať upozornenie, aby sa piloti lietadiel tejto oblasti vyhýbali. Možnosti konkrétnej lokálnej výstrahy a krátkodobej predpovede sú však veľmi obmedzené.

Vizuálne pozorovania

V prípade, že sa microburst spustí priamo nad letiskom alebo v jeho tesnej blízkosti (t.j. v blízkosti miesta pozorovania), možno charakter javu posudzovať aj vizuálne. Aj v čase vyspelých technológií sa dajú získať niektoré dôležité informácie len voľným okom alebo pomocou kamery (fotoaparátu).

Výhodou priameho pozorovania je, že oblohu môžeme sledovať prakticky nepretržite v čase a v priestore, čo radarmi ani staničnými meraniami nie je umožnené. Toto má

zvlášť veľký význam pri malých a krátkotrvajúcich javoch, ktoré sa môžu ľahko "prešmyknúť" medzi stanicami alebo sa vyskytnú v čase, keď sa nekonajú zodpovedajúce rádiolokačné pozorovania.

Významnými javmi sú najmä rýchlosť zosadania zrážok; nápadný tvar oblačnosti (viď špeciálne druhy oblakov – hriab, trhlina, mravcožrút - vyššie) a jej prudký vývoj; "noha" - teda rozširovanie zrážkovej steny v tesnej blízkosti zemského povrchu; prachový vír alebo vír vytvorený vodnými kvapkami pri päte zrážkovej steny, ktorý sa rýchlo šíri do okolia... V každom prípade sa oplatí zaznamenať si čas pozorovania (najmä dotyku zrážkových pruhov s terénom alebo výrazného zosilnenia intenzity zrážok).

V USA bola vydaná aj príručka určená na vizuálne rozpoznávanie microburstov (hlavne pre potreby pilotov), ktorej internetovskú podobu nájdete na tejto stránke: <http://www.cimms.ou.edu/~doswell/microbursts/Handbook.html>.

Staničné merania

Ďalším dôležitým prostriedkom na skúmanie microburstov sú merania a pozorovania z meteorologických staníc. V súčasnosti sú už k dispozícii automatické stanice, ktoré poskytujú údaje o teplote, vlhkosti, tlaku vzduchu..., rýchlosti a smeru vetra, a intenzite zrážok každých desať minút alebo dokonca každú minútu. To je veľmi dôležité, nakoľko microburst sa môže prejavovať na stanici len počas veľmi krátkej doby - napríklad len päť, šesť minút (hoci dĺžka života samotného microburstu môže byť vyššia). Tam, kde nie je automatická stanica, je nutné využiť "tradičné" metódy pozorovania, ako sú záznamy z anemografu, termografu alebo barografu. Tieto sú však značne nepresné a je ťažké odčítať z nich hodnoty s požadovanou presnosťou.

Na to, aby sme mohli skutočne skúmať javy takého malého rozsahu ako je microburst pomocou staničnej siete, potrebovali by sme automatické stanice doslova na každom kilometri. Pri veľmi malých microburstoch by ani táto hodnota nestačila a rozostupy by museli mať v priemere len desiatky alebo stovky metrov. (Jedna stanica nestačí, aj keď ju microburst trafi, nakoľko na stanici meriame iba lokálne prejavy výtoky studeného vzduchu. Tieto sú značne odlišné v závislosti od toho, v ktorej časti microburstu sa stanica nachádza. Ak sa napríklad stanica nachádza priamo v "ceste" microburstu, ktorý sa pohybuje vo výraznom prúdení, nemusí ani dôjsť vždy k výraznému stočeniu vetra, iba k jeho zosilneniu. Naopak, pokiaľ leží stanica na okraji microburstu, mimo jeho dráhy, možno očakávať, že smer vetra sa zmení výrazne.)

V skutočnosti by sme potrebovali stanicu, ktorá by sa pohybovala zároveň s microburstom aby sme mohli skúmať priamo jeho fyzikálne vlastnosti. Cenné údaje pri výskume týchto javov poskytli letové záznamy a merania z lietadiel, ktoré sa zámerne alebo nechtiac dostali do oblasti microburstu. V takomto prípade bolo veľmi dôležité aj to, že sa mohli skombinovať merania z pozemnej staničnej siete s meraniami z vyšších vrstiev atmosféry (získal sa tak vertikálny profil vetra).

Iné metódy pozorovania

Opísané prostriedky nie sú jedinými, pomocou ktorých môžeme získať informácie o microburstoch. Tam, kde nie sú dostupné pozorovania zo staničnej siete a rádiolokátory sú príliš ďaleko na to, aby poskytli použiteľné výsledky, zostáva nám často iba prehliadka škôd, ktoré microburst zanechal. Treba však upozorniť na to, že v tejto oblasti vstupujeme na veľmi tenký ľad. Povaha škôd často nezávisí ani tak od poveternostného javu, ktorý ich spôsobil, ako od kvality poškodeného materiálu. Preto sa v USA zaoberajú skúmaním

škôd viac špecializovaní inžinieri ako meteorológovia.

Pri microburstoch sú možnosti detekcie škôd sťažené veľkou rôznorodosťou ich prejavu a vývoja. Všeobecne možno povedať, že najľahšie sa určujú škody v rovinnom teréne a v prípade stacionárnych (a symetrických) microburstov. Vtedy sú škody rozmiestnené rovnomerne na všetky strany (do tvaru hviezdy). Veľmi dobre sa dajú rozoznať napríklad na obilnom poli, samozrejme, je to možné len z pohľadu lietadla. Horšie je to v kopcovitom teréne, kde môže dôjsť k deformácii prúdenia pod vplyvom terénu. Za zložitej poveternostnej situácie môžu vzniknúť škody kombináciou viacerých faktorov. K tomu ostatne dochádza pomerne často, ak sa v okolí vyskytlo viac búrok za sebou, prípadne za búrkami so silnými zostupnými pohybmi ešte postupoval atmosférický front. Vtedy sa často mení smer prúdenia a zistiť len podľa škôd, čo sa v danej lokalite odohralo, je prakticky nemožné. Vyskytujú sa aj prípady, keď škody spôsobené rýchlo sa pohybujúcim microburstom možno len ťažko odlišiť od tornádických škôd (škody sú spôsobované tiež v pásoch ako u tornáda).

Hlavným pravidlom je, že prieskum sa musí vykonať čo najskôr (okamžite, ako príde správa o udalosti). Keď sú škody postupne odstraňované a ovplyvňované ďalšími poveternostnými udalosťami, obhliadka stráca na význame a výsledky môžu byť ľahko spochybniteľné. Najúčinnjším prostriedkom na rýchle zhodnotenie škôd je lietadlo. S leteckým prieskumom oblastí postihnutých microburstmi a tornádami majú skúsenosti nielen americkí meteorológovia, ale aj naši kolegovia z ČHMÚ.

Možnosti výskumu microburstov na Slovensku. Detekcia a okamžité výstrahy.

V našich podmienkach sa môžeme pokúsiť o skúmanie micro(macro)burstov iba tam, kde je dostatok pozorovaní - napríklad v blízkosti letísk. Ideálnym miestom sa preto javí Bratislava, kde má výskum microburstov význam z hľadiska leteckej dopravy. V Bratislave a v blízkom okolí Bratislavy sa nachádzajú štyri automatické stanice (Bratislava - Koliba, Bratislava - Ivánka, Malý Javorník a Kuchyňa - Nový Dvor) a k dispozícii sú aj údaje z dráhových meračov na letisku v Ivánke. Okrem toho sú tu stanice, ktoré vykonávajú klimatické pozorovania a merania zrážok (Fakulta matematiky, fyziky a informatiky v bratislavskej Mlynskej doline, Malacky, Kráľová pri Senci, Stupava).

Takáto hustota pozorovaní postačuje aspoň na skúmanie zostupných pohybov väčšieho merítka (macroburstov) v kombinácii s rádiolokačnými pozorovaniami z Malého Javorníka.

Väčší počet automatických staníc s minútovými meraniami by umožnil aj vytvorenie systému, ktorý by sledoval a okamžite upozornil meteorológov na krátkodobé a výrazné zosilnenie vetra na týchto staniaciach.

Pracuje sa zároveň na vytvorení trasovacieho programu, ktorý by potom umožnil z rádiolokačných údajov vytýčiť predpokladanú trasu "podozrivého" oblaku.

Pokusne sa začali vykonávať špeciálne rádiolokačné merania na detekciu nízkych a malých cieľov v okolí rádiolokátora na Malom Javorníku, ktoré sľubujú väčšiu šancu zachytiť a identifikovať javy podobné microburstom. Veľmi by v tomto smere pomohol rádiolokátor umiestnený priamo na letisku, ktorý by mohol takéto merania vykonávať nepretržite. V USA boli na takéto účely skonštruované tzv. TDWR (Terminal Doppler Weather Radar) rádiolokátory.

Je veľmi dôležité uvedomiť si, že rádiolokačné merania nikdy nemôžu nahradiť staničné pozorovania. Rádiolokátor nemeria teplotu, ani vlhkosť vzduchu a zrážky, a rýchlosť vetra sa dá z jeho výstupov len hrubo odhadnúť. Staničné merania nám navyše poskytujú údaje z prízemnej vrstvy atmosféry (spodných desať metrov), v ktorej prebieha väčšina ľudských aktivít, zatiaľ čo rádiolokátor je skôr konštruovaný na skúmanie dejov v hladinách nad touto vrstvou. V praxi by bolo chybou tieto dva druhy pozorovania od seba oddeliť. Preto sa v budúcnosti treba zamerať na skvalitnenie tak rádiolokačných ako aj staničných meraní a nájsť vhodné prostriedky, ako ich skombinovať.

Ďalším krokom, a dá sa povedať, že aj najväčšou výzvou do budúcnosti, je využitie nameraných dát v počítačových modeloch, ktoré by nám dali odpoveď na to, za akých podmienok sa u nás microbursty tvoria a ako ich intenzitu môžu ovplyvniť lokálne geografické podmienky.

Štatistické spracovanie – o niekoľko desaťročí ?

Zatiaľ vieme veľmi málo (alebo takmer nič) o tom, ako často sa microbursty u nás vyskytujú a ktoré oblasti na Slovensku majú geograficky priaznivejšie podmienky na ich výskyt. Vzhľadom na to, že ich výskum je u nás prakticky na samom začiatku, nie je zatiaľ možné urobiť žiadne štatistické spracovanie. Tomu bráni nielen chýbajúca databáza týchto javov (pričom vytvoriť ju spätne je v podstate nemožné), ale aj všeobecne malá informovanosť, a to nielen v laických, ale i odborných kruhoch. Vzhľadom na to, že sa jedná o útvary, ktoré sú veľmi malé a krátkotrvajúce, nemožno sa spoliehať len na sieť meteorologických staníc, ale je potrebné zbierať údaje aj od dobrovoľných pozorovateľov a podnikať prieskumy škôd v postihnutých oblastiach. Možno by stálo za to vybudovať "horúcu" linku, na ktorú by občania mohli bezplatne [oznamovať pozorovania extrémnych búrkových javov](#). Pomohlo by to značne nielen výskumu a výstražnej službe, ale aj poisťovníctvu. (Viac v nasledujúcej informačnej „odbočke“.)

Štúdium nebezpečných búrkových javov a verejnosť

Jedným z hlavných dôvodov, prečo vznikol aj tento materiál je, že výskum búrkových javov sa nezaobíde bez spolupráce so širokou verejnosťou. Nakoľko javy, ktorým sa venujeme, sú obvykle veľmi malých rozmerov a trvajú veľmi krátko, je malá pravdepodobnosť, že budú zaznamenané niektorou profesionálnou meteorologickou stanicou, či dokonca zachytené prostredníctvom rádiolokátora. Preto dosiaľ vieme veľmi málo (alebo takmer nič) o tom, ako často sa tornáda alebo microbursty u nás vyskytujú a ktoré oblasti na Slovensku majú geograficky priaznivejšie podmienky na ich výskyt.

V ostatných rokoch pribudlo v strednej Európe veľa správ o výskyte tornád a ďalších nebezpečných búrkových javov. Tento fenomén však nesúvisí ani tak s klimatickými zmenami ako skôr s veľmi rýchlym rozvojom komunikácie a informovanosti a určite aj s rozširovaním správ prostredníctvom internetu. Tornáda a im podobné atmosférické javy sa stali mediálne zaujímavými, a noviny, rozhlas, či televízia sú schopné priniesť v priebehu niekoľkých hodín od udalosti často unikátne zábery a veľa cenných informácií.

Bohužiaľ, neodborné zasahovanie a komentovanie môže neraz skresliť skutočný obraz toho, čo sa stalo - niektoré škody sú automaticky pripisované tornádam, nakoľko sa nevie, že aj iné javy môžu spôsobiť také veľké škody. Prípadne sú niektoré udalosti okamžite vyhlasované za mimoriadne, hoci v širšom kontexte sa neskôr ukáže, že išlo o "bežnú" búrku s typickými prejavmi počasia. Napriek týmto nedostatkom sú pre nás všetky tieto správy cenným zdrojom informácií a po tom, čo sa začalo s ich systematickým overovaním, sa ukázalo, že microbursty a tornáda sa v oblasti Českej a Slovenskej republiky vyskytujú omnoho častejšie, ako sme to boli schopní kedykoľvek predtým pripustiť. Okrem toho stále pribúda počet ľudí, ktorí vlastnia kvalitnú fotografickú techniku alebo videokameru - v Českej republike tak už bolo zaznamenaných niekoľko tornád na filmový materiál.

Informovanosť má teda veľmi veľký význam: Spôľahlivé a včasné informácie z radov širokej verejnosti pomôžu nielen rozšíriť našu štatistiku, ale môžu sa stať aj vodítkom pri vedeckom výskume, či dokonca vydávaní výstrah na tieto javy. V USA sú výstrahy pred tornádami zabezpečené predovšetkým vďaka dobre rozvinutej sieti dobrovoľných pozorovateľov a ľudí, ktorí okamžite nahlásia výskyt nebezpečného javu priamo príslušnému meteorologickému pracovisku. Rádiolokátor sa teda často (ak nie vo väčšine prípadov) využije až následne za účelom sledovania predpokladanej oblasti výskytu a ďalšieho vývoja búrkovvej oblačnosti v ohrozených lokalitách.

Účinnosť tohto výstražného systému sa odhaduje na zhruba 50 %, čo je (vzhľadom na súčasný stav vedeckého poznania a možnosti predpovedania) slušný výsledok. V rámci Európy existuje podobný systém aj vo Veľkej Británii - vid' organizácia [TORRO](#). Pre nás zatiaľ zostáva najúčinnjším prostriedkom, ako sa chrániť pred poveternostnými extrémami spôsobenými búrkovou činnosťou, pasívna bezpečnosť. K tomu patrí aj schopnosť rozpoznať príznaky blížiacej sa búrky, poznať nebezpečné javy a riziká, ktoré ju sprevádzajú a vedieť včas vyhľadať úkryt. Poznanie, že také poveternostné úkazy ako tornáda sa môžu vyskytnúť aj v našej oblasti, má zasa význam z hľadiska poistenia proti škodám, ktoré môžu spôsobiť vietor, krúpy alebo prívalová povodeň. To je ďalší dôvod, prečo by mali odborníci oboznamovať širokú verejnosť s existenciou tornád, húlav, microburstov a so škodami, ktoré spôsobujú. Nevyhnutnou súčasťou informačných publikácií a stránok je obrazový materiál a výpovede očitých svedkov.

Preto v prípade, že sa stanete svedkami poveternostného javu, ktorý pripomína microburst, tornádo alebo iné extrémne javy sprevádzajúce búrky (veľké krúpy, prívalové zrážky), veľmi pomôžete, ak sa o svoje skúsenosti podelíte s nami. Skice, fotografie, či dokonca kamerové záznamy sú cenným materiálom, ktoré umožnia predstaviť si, ako tieto javy vyzerajú, za akých poveternostných podmienok existujú a čo im predchádza.

Pokiaľ to dovoľujú okolnosti, je vhodné si poznamenať presný čas, miesto výskytu, dĺžku trvania javu, odhad vzdialenosti a jeho rozmerov.

Informácie je možné posielat' na e-mailovú adresu: burka@shmu.sk

alebo poštou na adresu:

Odbor predpovedí a výstrah
Slovenský hydrometeorologický ústav
Jeséniova 17
833 15 Bratislava

V prípade, že by sme už teraz začali systematicky študovať a zaznamenávať všetky prípady "podozrivé" z výskytu microburstu, bude trvať desaťročia, kým sa nazbiera hodnoverná a použiteľná databáza. Všeobecne totiž platí, že čím je jav extrémnejší a čím viac sa vzťahuje len na malú lokalitu, o to ťažšie sa posudzuje aj miera jeho "extrémnosti". Je napríklad smiešne tvrdiť o lokálnej povodni z búrky, že sa jedná o "tisícročnú vodu", pokiaľ sa na danom mieste vykonávajú merania iba tridsať alebo päťdesiat rokov.

Aj po tom, čo budeme mať k dispozícii kvalitnú štatistiku, bude asi ťažké roztriediť microbursty podľa konkrétnych parametrov, lebo sa už väčšinou nedozvieme, akú rýchlosť v ňom dosiahol vietor, o koľko stupňov pri ňom poklesla teplota a pod. Aj pre microbursty bude zrejme potrebné používať subjektívnu škálu intenzity podľa dosiahnutých škôd (podobnú **Fujitovej stupnici** intenzity tornád).

Literatúra a ďalšie zdroje informácií:

Burroughs, W. J. - Crowder, B. - Robertson, T. - Vallier-Talbotová, E. - Whitaker, R. :

Počasí

Praha, Nakladatelství Václav Svojtka & Co. 1999 (edícia Cesty za poznáním)

Milan Nedelka a kolektív: **Slovenský letecký slovník terminologický a výkladový**
Bratislava, Magnet Press Slovakia 1998

kolektív : **Meteorologický slovník výkladový a terminologický**

Praha, Ministerstvo životního prostředí ČR 1993

T.T.Fujita: **Tornadoes and Downbursts in the Context of Generalized Planetary Scales**

Journal of Atmospheric Sciences, 1981, Vol.38, No.8, 1511-1534

T.T.Fujita: **The downburst, Microburst and Macrobust** (správa z projektov NIMROD a JAWS)

SMRP, University of Chicago, 1985

C.Doswell III. : **Microburst - a handbook for visual identification**

NOAA/NSSL (aj na internetovskej stránke NSSL
http://www.nssl.noaa.gov/users/doswell/public_html/microbursts/Handbook.html)

C.Doswell III : **A primer on vorticity for Application in Supercells and Tornadoes**

(aj na internetovskej stránke NSSL
http://www.nssl.noaa.gov/users/doswell/public_html/vorticity/vorticity_primer.html)

F.H.Proctor : **Numerical Simulation of an Isolated Microburst. Part I**

Journal of the Atmospheric Sciences, 1988, Vol.45, No.21, 3137-3159

F.H.Proctor : **Numerical Simulation of an Isolated Microburst. Part II**
Journal of the Atmospheric Sciences, 1989, Vol.46, No.14, 2143-2165

J.R.Anderson, J.M. Straka : **Numerical Simulations of Microburst-producing Storms**
Journal of Atmospheric Sciences, 1993, Vol.50, No.10, 1329-1348

L.G.Orf, J.R.Anderson, J.M. Straka : **A Three-Dimensional Numerical Analysis of Colliding Microburst Outflow Dynamics**
Journal of Atmospheric Sciences, 1996, Vol.53, No.17

C.K.Mueller, R.E.Carbone : **Dynamics of a Thunderstorm Outflow**
Journal of Atmospheric Sciences, Vol.44, No.15, 1879-1898

R.C.Srivastava : **A Simple Model of Evaporatively Driven Downdraft: Application to Microburst Downdraft**
Journal of Atmospheric Sciences, 1985, Vol.42, No.10, 1004-1023

Čiary nárazov (húľav)

Fotografie húľavových mrakov na Slovensku

V tejto stati postupne uvedieme fotografie oblačnosti, ktorá vzniká na čele studeného vzduchu, vytekajúceho spod búrkového oblaku. V dôsledku trenia väčšinou dochádza na hranici medzi postupujúcim studeným a vytláčaným teplým vzduchom k rotácií. Cirkulácia na rozhraní týchto rôznych mäs vzduchu (po anglicky sa toto rozhranie nazýva **gustfront**, čo možno zhruba preložiť ako **húľavový front** alebo ako **čiaru húľav**) spôsobuje lokálny pokles tlaku vzduchu voči okolitému prostrediu. Ak je vlhkosť vzduchu dostatočne veľká, objaví sa nám toto rozhranie v podobe zlovestného oblaku v tvare valca, či goliera, ktorý visí pod základňou búrkového oblaku. Pri veľmi silnom prúdení sa môže húľavový mrak (odborne nazývaný **arcus**) dostať aj mimo základňu búrkovej oblačnosti.

Rozpínanie studeného vzduchu majú na "svedomí" zrážky, pri ktorých vznikajú silné zostupné pohyby vzduchu. Po dosiahnutí zemského povrchu však už zostupujúci vzduch nemá kam ďalej klesať, a preto sa v nižších hladinách rozširuje všetkými smermi von, od centra zrážok. Prúdenie je v tomto studenom vzduchu omnoho rýchlejšie ako v jeho okolí, preto sa húľavový mrak postupom času značne vzdiali od oblasti zrážok (**zrážkovej steny**).

Vidíme teda, že húľavový rotor je v podstate dôsledkom prepadu studeného vzduchu v búrkovom oblaku, čiže "**downburstu**" (microburstu – vid' Microbursty), o ktorom pojednávajú predošlé stránky.

Fotografií húľavových mrakov existuje nepomerne viac ako fotografií microburstov, o tornádach ani nehovoriac. Je to najmä preto, že tento jav je pomerne častý, spoľahlivo identifikovateľný a je aj známejší ako napríklad microburst.

Ako prvý uvádzame príklad húľavového mraku z roku 2001, druhý prípad je starší, z roku 2000 (pre typickosť prvého prípadu nie je rešpektovaná chronológia v popisovaní odфотографovaných javov).

8.máj 2001

Levice

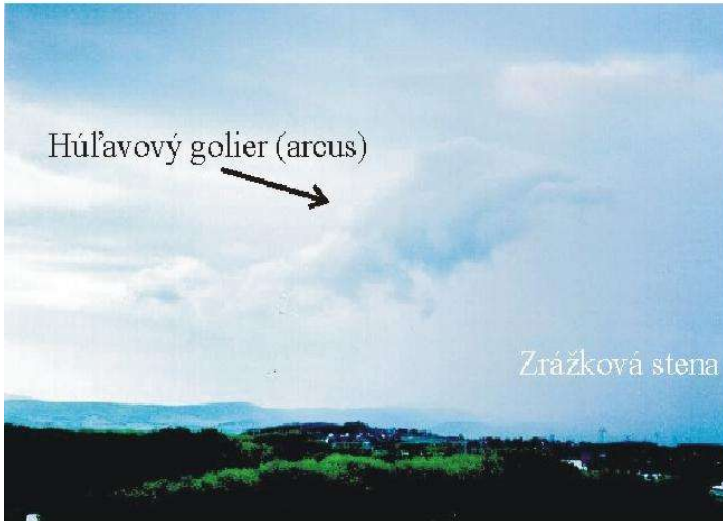
- ukázkový prípad húľavového mraku

Hoci na mieste pozorovania sa vietor nijako zvlášť neprejavil, fotografie dobre dokumentujú vývoj húľavového mraku.

V čase krátko pred 17:00 LSEČ sa v oblasti Štiavnických vrchov (zhruba v okolí Novej Dediny, Devičian a Pukanca) vyskytla prehánka (možno aj búrka). Krátko po sedemnástej hodine sa na mieste pozorovania v Leviciach objavil nízky, podlhovastý mrak, ktorý rýchlo smeroval od centra zrážok smerom na juh až juhozápad (**fotografia č.1**).

Tento mrak postupoval pomerne rýchlo. Po priblížení smerom k pozorovateľovi bolo evidentné, že je súčasťou nízkej oblačnosti, ktorá tvorí prsteneц okolo búrkového oblaku.

Jednotlivé oblaky z tohto prstenca sa šírili pod základňou búrkového oblaku na všetky strany smerom od centra zrážok - ako vidieť na **fotografii č.2**.



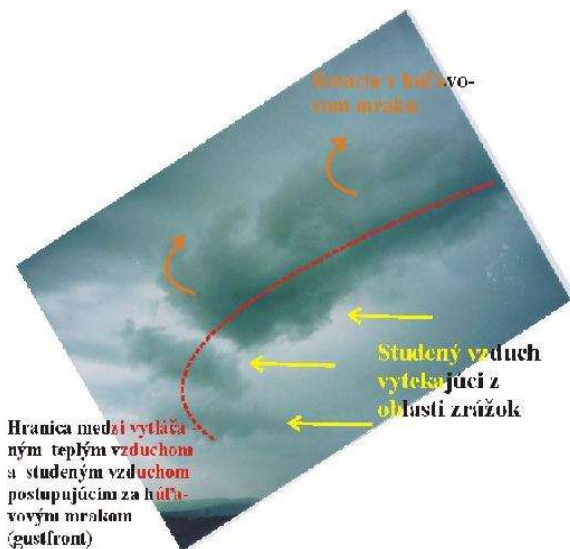
fotografia č.1



fotografia č.2

Na tom istom zábere však vidieť aj ďalší, veľmi dôležitý jav: na rozhraní vytekajúceho studeného vzduchu a vytlačovaného teplého vzduchu sa vytvára rotor (s vodorovnou osou rotácie), čo je znázornené na **fotografii č.3**.

Do tohto rotoru bola viditeľne vťahovaná oblačnosť z hmlavového mraku, čo ukazuje **fotografia č.4** (urobená zvolením väčšej ohniskovej vzdialenosti). Táto fotografia vznikla v čase 17:10 LSEČ, potom sa hmlavový mrak rozpadol.



fotografia č.3



fotografia č.4

Fotografie č.1 až 4 ukazujú hmlavový mrak už vlastne v záverečnej fáze postupného rozpadu, keď sa nachádzal vo vzdialenosti približne 10 km od centra zrážok. Na mieste pozorovania sa nedala zaznamenať žiadna zmena v rýchlosti vetra po prechode mraku. Ani najbližšia meteorologická stanica v Mochovciach nezaznamenala výraznú zmenu smeru vetra, prípadne jeho zosilnenie. Dá sa povedať, že väčšina nárazových vetrov, ktoré vzniknú pri lokálnych, málo pohyblivých búrkach, sa neprejavujú na väčšie vzdialenosti

ako niekoľko kilometrov od miesta vzniku. Väčší "dosah" majú spravidla rozsiahlejšie skupiny búrok (napríklad tzv. **čiar instability**) a búrky, ktoré sa rýchlo premiestňujú. Vtedy sa k rýchlosti prúdenia vytekajúceho studeného vzduchu za húl'avovým mrakom pripočítava aj rýchlosť pohybu samotnej búrky, tým pádom dosah aj intenzita nárazových vetrov môžu byť väčšie.

24.jún 2000 Bratislava

- prípad húl'avového mraku

Tento húl'avový mrak sa vyskytol takisto pri prehánke, ktorá postupovala od Malých Karpát smerom na juhovýchod. Pri prechode húl'avového frontu (gustfrontu) bol na stanici Bratislava - Koliba zaznamenaný náraz vetra 19 m/s. Prvá snímka (**fotografia č.5**) vznikla v čase 15:35 LSEČ. Svetlý, podlhovastý val oblačnosti húl'avového frontu ostro kontrastuje s tmavou základňou oblačnosti typu cumulonimbus a s oblasťou zrážok, ktorá sa nachádza za ním. K zvýšeniu kontrastu značnou mierou prispelo aj to, že na prednú stranu búrkovej oblačnosti a okolitú krajinu dopadalo priame slnečné žiarenie. Žiaľ, pri väčšine búrok, najmä pri tých rozsiahlych, je veľa oblačnosti už ďaleko pred samotným jadrom zrážok, čím sa vyhliadky na kvalitné fotografie značne znižujú.



fotografia č.5

Na **fotografii č.6**, ktorá vznikla o dve minúty neskôršie, sa dá ľahko rozoznať, že oblačný val húl'avového frontu je zakrivený a obkolesuje oblasť zrážok (v ideálnom prípade by mal tvoriť kruh, ktorý sa postupne rozpína na všetky strany). Tu sa skutočne nůka prirovnanie ku golieru okolo zrážkovej steny.

Na ďalšej snímke (**fotografia č.7**) máme pohľad na opačnú stranu. Tu je húl'avový mrak rozoznateľný ako záves, ktorý sa tiahne smerom na západ.



fotografia č.6



fotografia č.7

Zosilnenie vetra sa na mieste pozorovania prejavilo zhruba desať minút po prvej

snímke. Húľavový mrak bol rozpoznateľný ešte približne dvadsať minút po jeho prechode nad miestom pozorovania.

Zimné búrky

Búrky patria medzi prejavy počasia, ktoré sú charakteristické najmä pre leto a ich výskyt v zimných mesiacoch (december - február) je oveľa zriedkavejší. Napriek tomu bývajú búrky skoro každú zimu zaznamenané na niektorej zo slovenských alebo českých meteorologických staníc (Matejovič, Šedivka). Pre meteorológov, a rovnako aj pre verejnosť, sú búrky v zime zaujímavé tým, že môžu byť spojené so silným snežením, fujavicou, výskytom krúpok alebo nárazového vetra. **Búrka** je však v meteorológii chápaná predovšetkým ako elektrický jav. Pozorovateľ teda musí zaregistrovať **blesk alebo hrmenie**. Všeobecne sa dá povedať, že elektrická aktivita búrok v zime je oveľa slabšia v porovnaní s búrkami v letnej časti roka.

Ako vznikajú búrky ?

Vývoj búrkovej oblačnosti je podmienený predovšetkým existenciou labilného vertikálneho teplotného zvrstvenia (za absolútne labilný považujeme vzduch, ktorého teplota klesá s výškou rýchlejšie ako 0,98 stupňa na 100 metrov, za podmienenú labilitu považujeme pokles teploty väčší ako 0,6 stupňa na 100 metrov). Nerovnomerné prehrievanie zemského povrchu a od neho aj spodných vrstiev ovzdušia počas denných hodín spôsobuje, že vzduch je na niektorých miestach teplejší, redší a labilný oproti svojmu okoliu. V týchto miestach vzduch stúpa nahor (podobne ako balón), pričom rýchlosť výstupných pohybov dosahuje bežne hodnotu jednotiek až niekoľko desiatok metrov za sekundu. Tento proces sa v meteorológii nazýva **konvekcia** a s ňou spojené pohyby vzduchu a ďalšie prejavy sa označujú ako konvekčné (konvektívne).

Ak je stúpajúci vzduch dostatočne vlhký, v dôsledku jeho vlastného ochladzovania v priebehu výstupu dochádza nad tzv. **výstupnou kondenzačnou hladinou** k zrážaniu vodnej pary prítomnej v ňom - a vzniká oblak. Búrkový oblak môže dosiahnuť výšku 6 až 12, v ojedinelých prípadoch okolo 15, v trópoch aj 18 km. Oblak dosiahne maximálnu výšku zhruba za pol hodinu. Výstupné pohyby potom zväčša slabnú a v dôsledku zrážok začnú prevládať zostupné pohyby vzduchu. Typická doba existencie búrkového oblaku je približne jedna hodina, od začiatku až po rozpad.

Búrková oblačnosť sa nezriedka vyskytuje v okolí **atmosférických frontov**. Najčastejšie sa búrky vyskytujú na studených frontoch, menej často ich nachádzame na teplých frontoch alebo pred teplými frontmi. Na frontoch sa vytvárajú výstupné pohyby aj z tzv. dynamických dôvodov. V okolí frontov nachádzame totiž výrazné rozdiely v teplote a vlhkosti vzduchu spojené s deformáciami poľa tlaku vzduchu, a v dôsledku toho v atmosfére vzniká nerovnováha, ktorá je vyrovnávaná výstupnými a zostupnými pohybmi vzduchu. Na rozdiel od konvekčných pohybov sa tu jedná skôr o výklzné pohyby vzduchu po naklonenej rovine, ktorú tvorí plocha frontu. Rýchlosť dynamicky generovaných výstupných a zostupných pohybov vzduchu je spravidla niekoľko centimetrov, maximálne niekoľko desiatok centimetrov za sekundu. Takáto rýchlosť nestačí na vytvorenie búrkového oblaku - preto možno frontálnu cirkuláciu vzduchu považovať skôr za **podporný a spúšťací mechanizmus búrkovej činnosti**. Dynamické pohyby môžu napríklad prechádzať aj oblasťami so stabilným zvrstvením a môžu vytlačiť

vzduchové častice do výšok s lepšími podmienkami na tvorbu konvekcie.

Pred príchodom frontu dochádza často k zosilneniu prílevu teplého a vlhkého vzduchu v spodných hladinách ovzdušia, nachádzame tu aj výrazné horizontálne a vertikálne zmeny (strihy) v smere a v rýchlosti vetra. V okolí frontu týmto spôsobom stúpa labilita teplotného zvrstvenia a vylepšujú sa podmienky pre búrkovú činnosť. Búrky, ktoré sa nevyskytujú na frontoch, označujeme ako **búrky vo vnútri vzduchovej hmoty** (niekedy sa nesprávne nazývajú ako búrky z tepla).

Ako sa tvorí búrková oblačnosť v zime ?

V zimnom období sú podmienky pre konvekciu väčšinou nepriaznivé. Menej intenzívne slnečné žiarenie a naopak, silné vyžarovanie počas noci, najmä za prítomnosti snehovej pokrývky, stabilizuje teplotné zvrstvenie atmosféry. Početné sú prípady teplotnej inverzie, keď teplota s výškou rastie. Okrem toho má studený vzduch oveľa menší obsah vodnej pary a skôr dochádza k jeho nasýteniu. Na druhej strane je prúdenie v zimnom období oveľa intenzívnejšie ako v lete. Vysoké rýchlosti vetra (250 až 300 km/h) sa pozorujú najmä v oblasti tzv. dýzového prúdenia vo vyšších vrstvách atmosféry. Fronty sú po teplotnej stránke výraznejšie a tlakové útvary (cyklóny a anticyklóny) hlbšie, resp. mohutnejšie. Labilizácia teplotného zvrstvenia je umožnená v zime najmä počas prílevu teplejšieho morského vzduchu od severozápadu. Energia výstupných pohybov je však napriek tomu niekoľkokrát menšia ako v letnom období (v zime sú to desiatky až stovky Joulov na kilogram, v lete môže táto energia dosiahnuť aj 3000-4000 J/kg).

Zimné búrky sa vo väčšine prípadov vyskytujú na frontoch alebo v tesnej blízkosti frontov. Boli však už zaznamenané aj pozoruhodné prípady nefrontálnych zimných búrok. Jedným z výrazných prípadov boli búrky počas snehovej kalamity 22.2.2001 (Sulan, 2002). Analýzy niektorých vybraných prípadov naznačujú, že dynamické generovanie výstupných pohybov môže hrať v zime dôležitejšiu úlohu pre vývoj búrok oproti letným prípadom. Jedným z dôležitých faktorov je tzv. **baroklinná instabilita**, ktorá má za následok rýchle prehlbovanie tlakových útvarov a intenzívnejší vývoj frontálnej cirkulácie. Prítomnosť baroklinnej instability bolo možné pozorovať vo viacerých situáciách so zimnými búrkami a detailnejší popis je možné nájsť v článku autorov Racko, Simon, Sokol, 2002. Intenzitu výstupných pohybov vzduchu značne ovplyvňujú aj procesy ako kondenzácia, topenie alebo výpar zrážok, pri ktorých dochádza k uvoľňovaniu, resp. k spotrebe tepla.

Intenzívne výstupné pohyby sa môžu objaviť aj v situáciách, keď je zvrstvenie ovzdušia vo vertikálnom smere úplne stabilné. Vzduchová častica sa môže dostať do nerovnovážneho stavu pri pohybe v smere šikmo nahor. Tento špeciálny prípad je **kombináciou konvekčnej a tzv. inerčnej lability** (inerčná labilita vzniká v dôsledku nerovnováhy sily spôsobenej tlakovými rozdielmi a uchylujúcej sily zemskej rotácie). V meteorológii sa pre tento stav atmosféry zaužíval názov **symetrická instabilita**, prípadne podmienená symetrická instabilita, v angličtine conditional symmetric instability (CSI). Výsledným efektom sú pohyby pripomínajúce **konvekciu na naklonenej rovine** (po anglicky slantwise convection), dosahujúce rýchlosti niekoľko jednotiek metrov za sekundu. Typická doba trvania týchto pohybov je niekoľko hodín, maximálne jeden deň, čo je výrazne dlhšie ako priemerná doba trvania búrkového oblaku. Symetrickej instabilite

sa pripisujú pásy intenzívnych zrážok, ktoré nie sú frontálneho pôvodu a pri ktorých je prakticky vylúčená možnosť vzniku klasickej vertikálnej konvekcie. Dá sa predpokladať, že niektoré prípady zimných búrok mohli byť spojené práve s výskytom tohto druhu lability ovzdušia.

Elektrická aktivita búrok v zime

Elektrická aktivita v oblačnosti závisí od mnohých faktorov. V zime prevláda vrstevnatá oblačnosť typu **stratus**, **altostratus** alebo **nimbostratus**, kde elektrické pole dosahuje intenzitu niekoľko jednotiek až desiatok kilovoltov na meter (MacGorman, Rust, 1998). Táto intenzita síce nie je malá, väčšinou však **nestačí na** to, aby v oblaku vznikol **výboj bez umelého pričinenia** (napríklad vystrelením rakety alebo preletom lietadla s povrchom nabitým statickou elektrinou). Elektrické pole vrstevnatých oblakov je tvorené väčšinou viazaným povrchovým nábojom, pri vertikálne mohutnejšej oblačnosti sa môže vytvárať náboj aj vo vnútri oblaku.

Silné elektrické polia schopné produkovať výboje (pri intenzite rádovo niekoľko stoviek kilovoltov na meter) sa tvoria predovšetkým v kopovitej oblačnosti typu **cumulonimbus**. Predpokladá sa, že najefektívnejším spôsobom vytvárania elektrického náboja v oblaku sú kolízie krúpok (ľadové častice pripomínajúce polystyrén, o veľkosti 2 až 5 mm) a menších ľadových kryštálov. K týmto kolíziám dochádza hlavne vďaka silným výstupným a zostupným pohybom, pri ktorých búrkové oblaky vznikajú. Existujú však aj iné spôsoby nabíjania oblaku, kde výstupné a zostupné pohyby vzduchu premiestňujú povrchový elektrický náboj a vytvárajú tak centrá elektrického náboja s dostatočne veľkou intenzitou elektrického poľa na vznik výboja. Tento mechanizmus preskúmali v päťdesiatich rokoch minulého storočia Grennet a Vonnegut. Je možné, že práve týmto spôsobom vznikajú blesky v oblačnosti, ktorá obsahuje málo ľadových častíc a kde sú vertikálne pohyby vzduchu menej intenzívne, no môžu trvať dlhšie. Nakoľko pri blesku sa spravidla celé centrum náboja vybije, početnosť výbojov je pri tomto mechanizme malá a úplne závislá na rýchlosti vertikálnych pohybov. Mnohé búrky v zimnom období však produkujú len málo bleskov medzi oblakom a zemou resp. výbojov medzi oblakmi.

Iné mechanizmy tvorby elektrického náboja v oblaku ešte nie sú dostatočne preskúmané - náboj sa môže pravdepodobne vytvárať aj pri topení snehových zrážok, napríklad v oblačnosti typu **nimbostratus**. Elektrické polia s dostatočne vysokou intenzitou na vznik výboja sa vyskytujú aj v **zmiešaných oblakoch**, ktoré pozostávajú z vrstevnatej oblačnosti **nimbostratus** s lokálne prerážajúcimi kopovitými oblakmi typu **cumulonimbus**.

V súčasnosti existuje niekoľko typov detektorov bleskov, ktoré umožňujú zaznamenať, lokalizovať a aj určiť typ a vlastnosti blesku. Blesky sa napríklad rozlišujú podľa polarít vybiťého centra náboja. Ak vybité centrum obsahovalo záporné náboje, výboj sa označuje ako negatívny, v prípade kladného náboja ide o **pozitívny výboj**. Asi 80 percent všetkých výbojov je negatívnych. Pozitívne výboje však môžu vytvárať silnejšie a dlhšie trvajúce prúdy (až 500 kiloampérov). Pozoruhodnosťou zimných búrok je, že podiel pozitívnych bleskov smerujúcich z oblaku do zeme je u niektorých búrok v zime výrazne väčší ako u búrok v letnom období (Rakov, Uman 2003).

Búrky v zimnom období a globálne otepľovanie ?

Počas zimy 1999/2000 sa vyskytlo pomerne veľa prípadov zimných búrok na území Českej republiky a Slovenska. To viedlo k špekuláciám, že tento počet súvisí s vyššou teplotou v atmosfére, či dokonca s globálnym otepľovaním. Štatistický výskum (Matejovič, Šedivka) ukázal, že početnosť búrok v zimnom období sa počas deväťdesiatych rokov minulého storočia mierne zvýšila oproti predchádzajúcim desaťročiam. Veľký počet búrok v decembri 1999 a v januári 2000 však súvisel najmä s veľkou intenzitou atmosférickej cirkulácie (obidva mesiace boli na území Českej republiky a Slovenska v rámci teplotného normálu, podrobnosti sú uverejnené v článku Racko et al., 2002).

Všeobecne sa dá povedať, že suché a studené zimy, v ktorých dominujú kontinentálne tlakové výše, sú nepriaznivé pre tvorbu búrok. Vyššia pravdepodobnosť vzniku búrok v zimnom období je **na okraji hlbokých tlakových níží**, ktoré sa presúvajú od Atlantického oceánu do vnútrozemia. Napriek tomu sa nedá použiť rovnosť: čím teplejšia zima, tým väčší počet búrok, pretože vznik búrkovej oblačnosti je často viazaný na ďalšie podmienky lability ovzdušia, o ktorých sme sa zmieňovali v stati venovanej podmienkam vzniku búrok v zime vyššie. V súčasnosti by bolo **predčasné hovoriť o trende nárastu počtu búrok v zimnom období**. Dá sa však povedať, že sa podstatne zlepšili podmienky na ich štúdium a pozorovanie a to vďaka vývoju počítačových modelov a prostriedkov diaľkovej detekcie (rádiolokátory, satelity a detektory bleskov).

Literatúra:

MacGorman, D. R., Rust, W. D., 1998:

The electrical nature of storms

Oxford University Press, 422 pp.

Matejovič, P. - Šedivka, J.:

Výskyt búrok na území Českej republiky a Slovenskej republiky v zime 1999/2000 v porovnaní s obdobím 1960/61 až 1999/2000

(rukopis)

Racko, S., Simon, A., Sokol, A., 2002:

Niektoré z príčin búrok v zimnom období

Meteorologické zprávy, 55, 69-82

Rakov, V.A., Uman, M.A., 2003:

Lightning, Physics and Effects

Cambridge University Press, 687 pp.

Sulan, J., 2002:

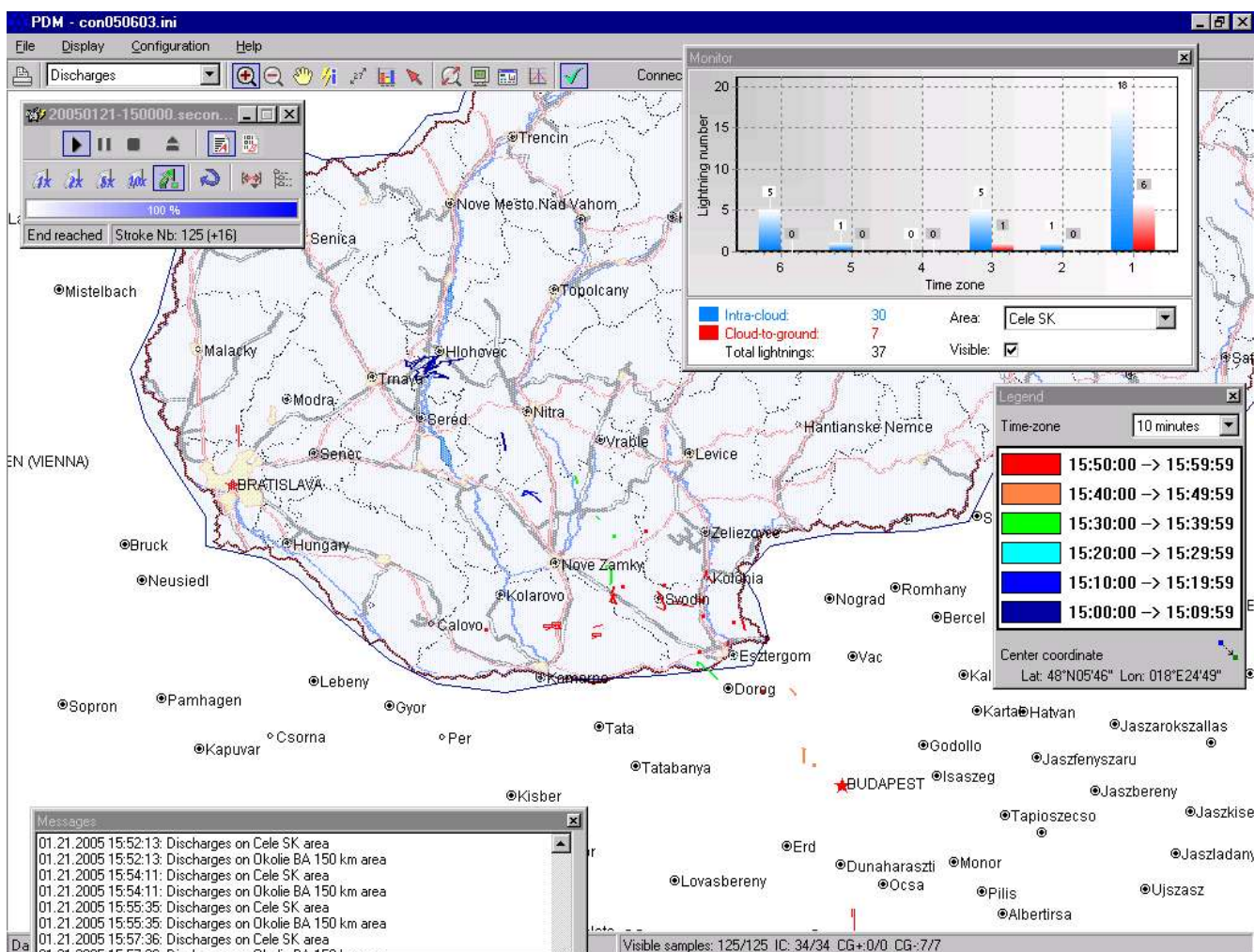
Sněhové bouře 22. února a tornáda 31. května roku 2001 z pohledu koncepčních modelu

Meteorologické zprávy, 55, 69-82

Slovenska bola na úrovni zväčša od 4 do 8 stupňov (maximum 8,4 stupňa Celzia bolo nameraných v Hurbanove). Fúkal mierny až silný západný až severozápadný vietor rýchlosťou 5 až 10 m/s (20 až 35 km/h). Z profesionálnych staníc zaznamenala búrku iba stanica v Hurbanove v čase medzi 16:30 a 17:30 SEČ ako vzdialenú búrku so zrážkami. Blesky však boli pozorované aj v iných lokalitách, napríklad pri Nitre (kolega - Mgr. Pavol Zaujec, osobná komunikácia). Počas preháňok a búrok sa ochladilo zhruba o 3 až 4 stupne Celzia (napr. v Hurbanove klesla teplota z 5,7 na 1,9 stupňa) a ojedinele došlo aj k stočeniu vetra (v Hurbanove sa vietor stočil prechodne zo západného smeru na severný a rýchlosť poklesla zo 7 na 5 m/s). Nárazy vetra sa vyskytli na staniciach Jaslovské Bohunice (13 m/s) a Nitra (16 m/s). Zrážky boli dažďové alebo vo forme krúpok, celkové úhrny však boli malé a nepresiahli 4 mm (4 litre na meter štvorcový).

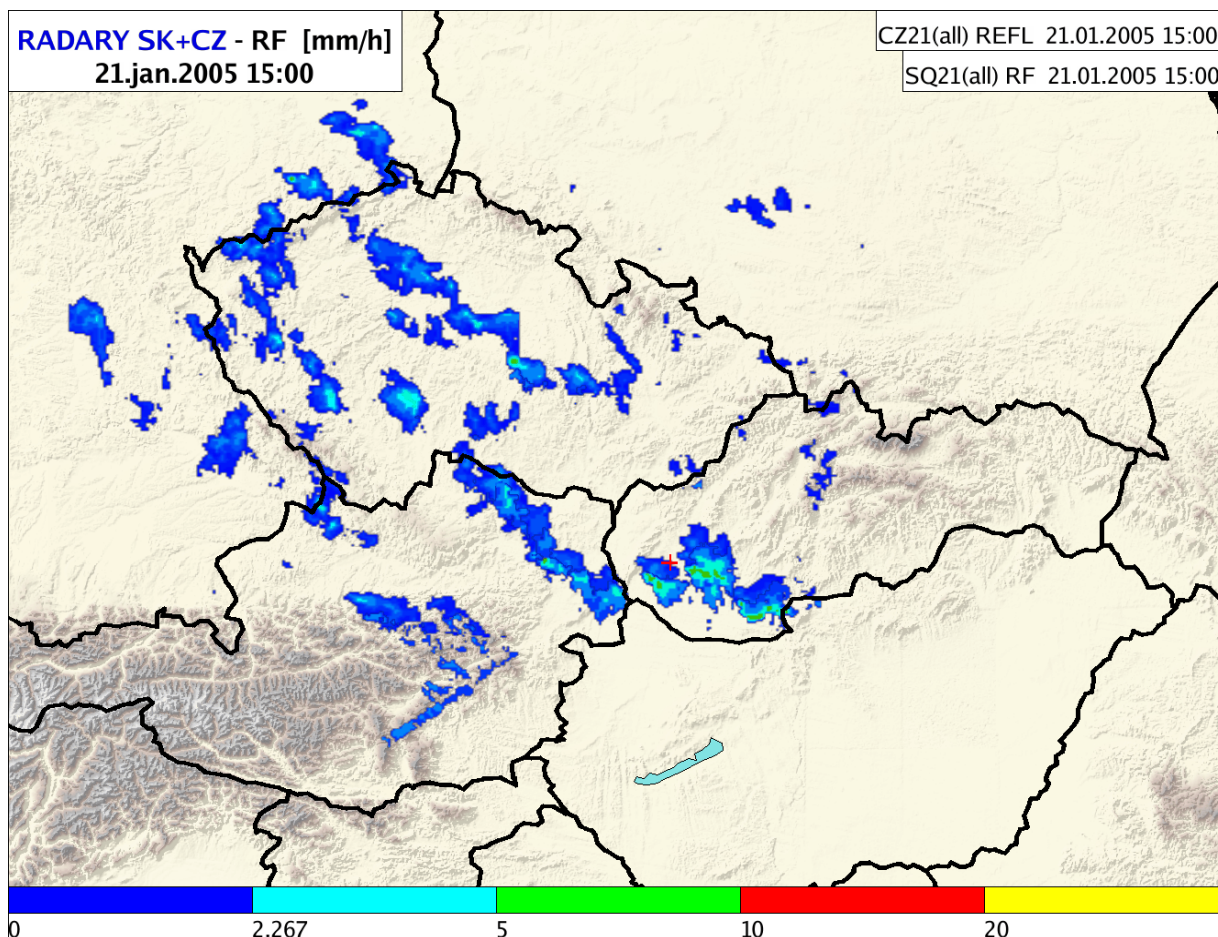
Pozorovania z rádiolokátorov, geostacionárneho satelitu METEOSAT a detektora bleskov SAFIR:

Atmosférické výboje boli systémom SAFIR zaznamenávané v čase od 15:50 SEČ do 17:20 SEČ. Systém zaznamenal celkovo 40 výbojov na území Slovenskej republiky, z toho 33 bolo výbojov vo vnútri oblaku alebo medzi oblakmi a 7 bleskov smerovalo z oblaku do zeme (všetky boli negatívnej polarita). Priebeh monitorovania aktivity bleskov je znázornený na nasledujúcom obr:

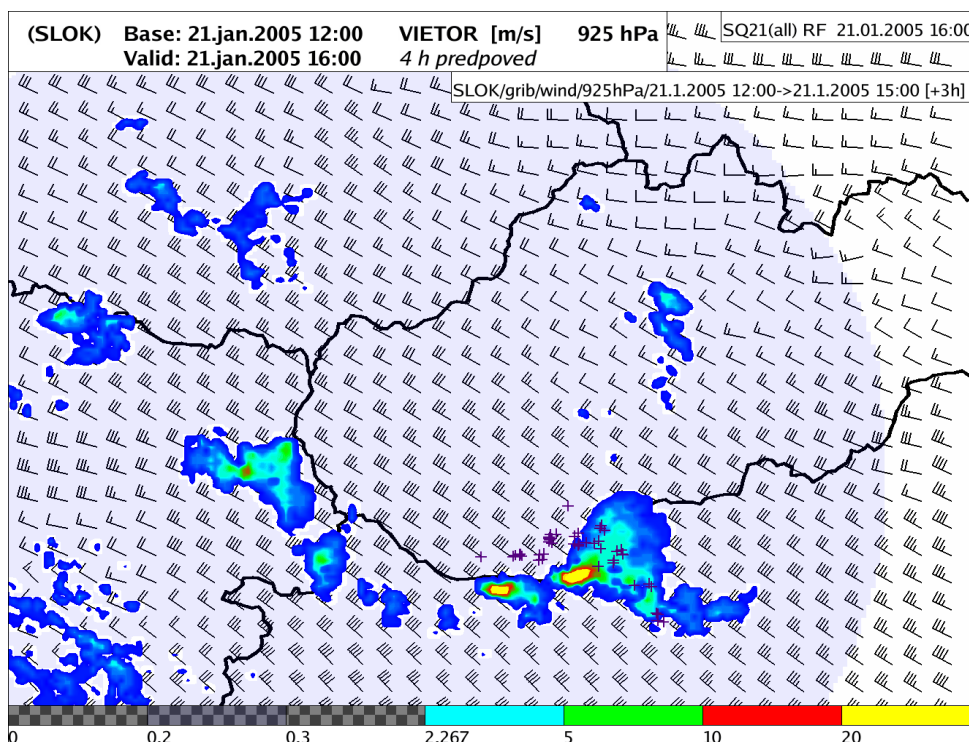


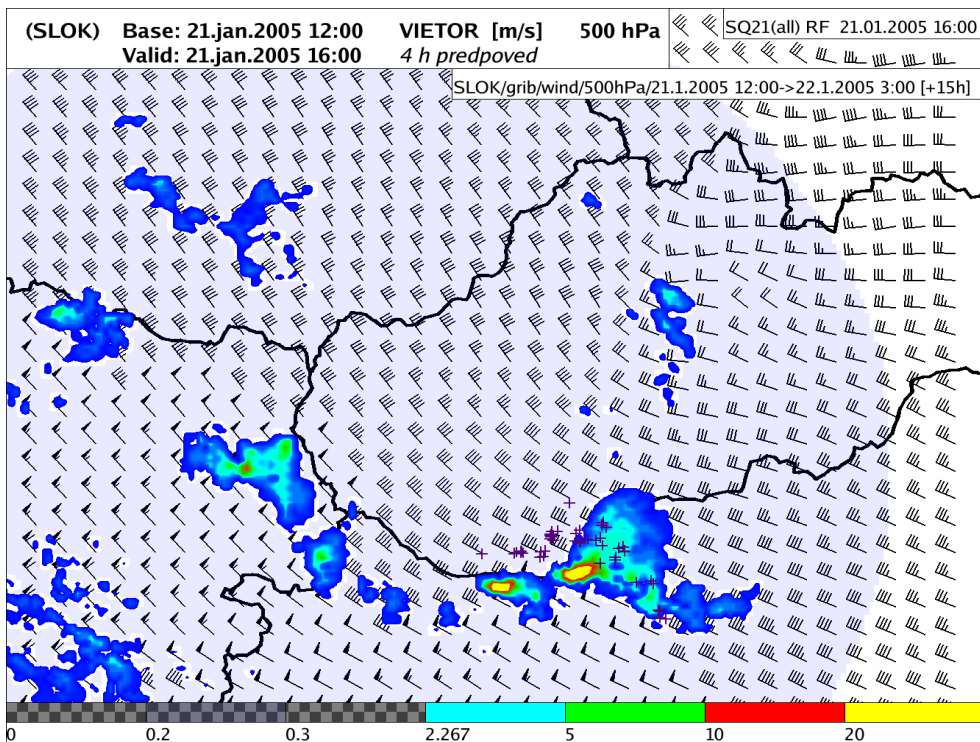
Pomocou zlučenej informácie z rádiolokátorov v Českej republike a na Slovensku bolo možné pozorovať jednotlivé bunky kopovitej oblačnosti, ktoré sa veľmi rýchlo

presúvali cez Čechy, Moravu a Slovensko na juhovýchod.

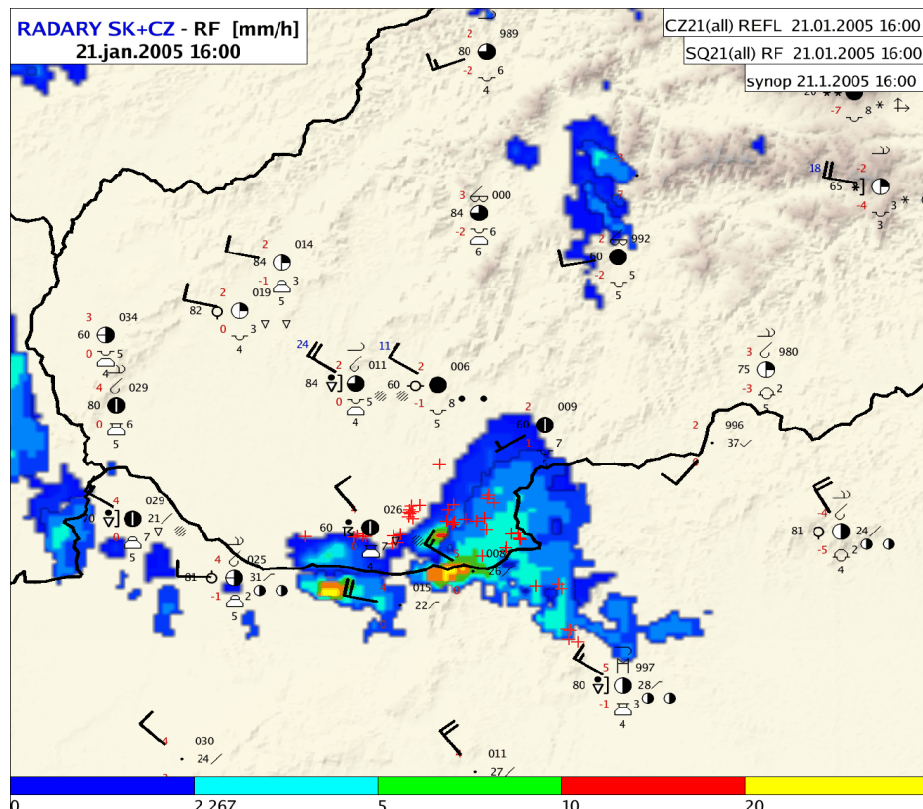


Tento rýchly presun bol spôsobený veľmi intenzívnym prúdením od hladiny 925 hPa (okolo 700 metrov) až po vyššie atmosférické hladiny (500 hPa, t.j. asi 5 km), ako je znázornené na nasledujúcich obrázkoch.

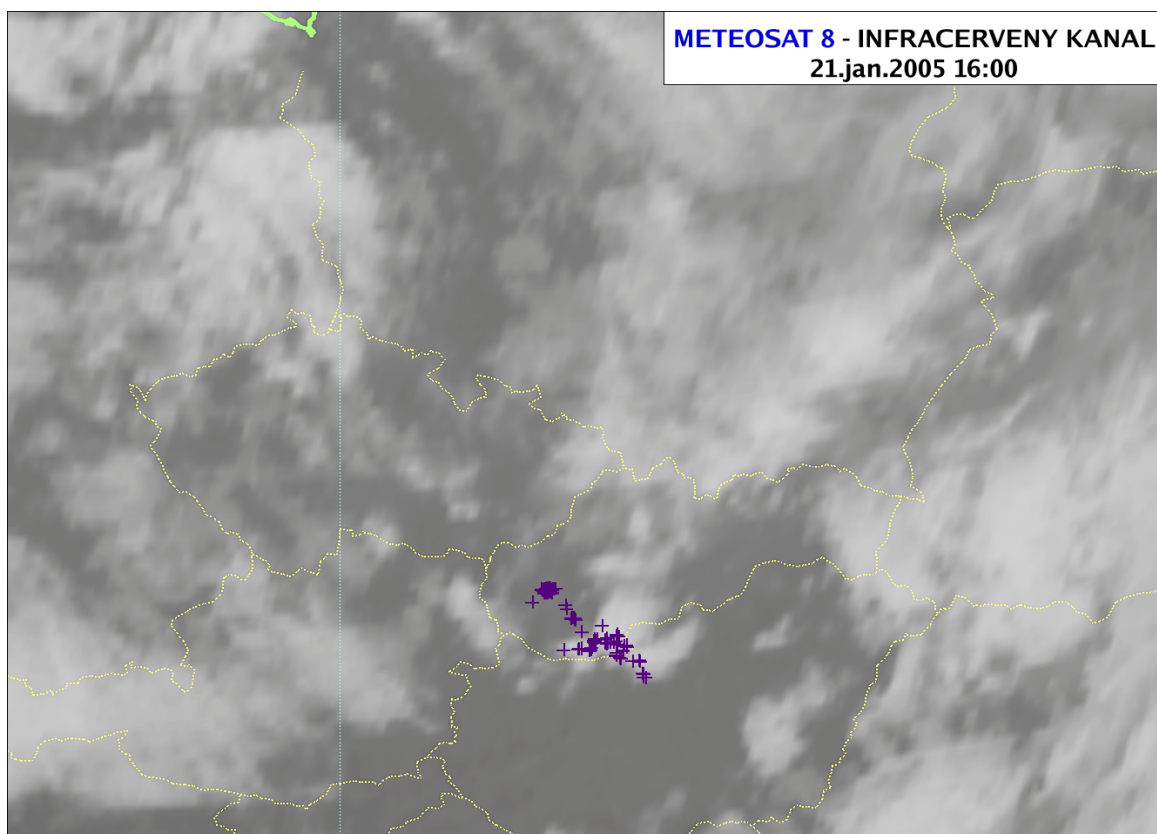
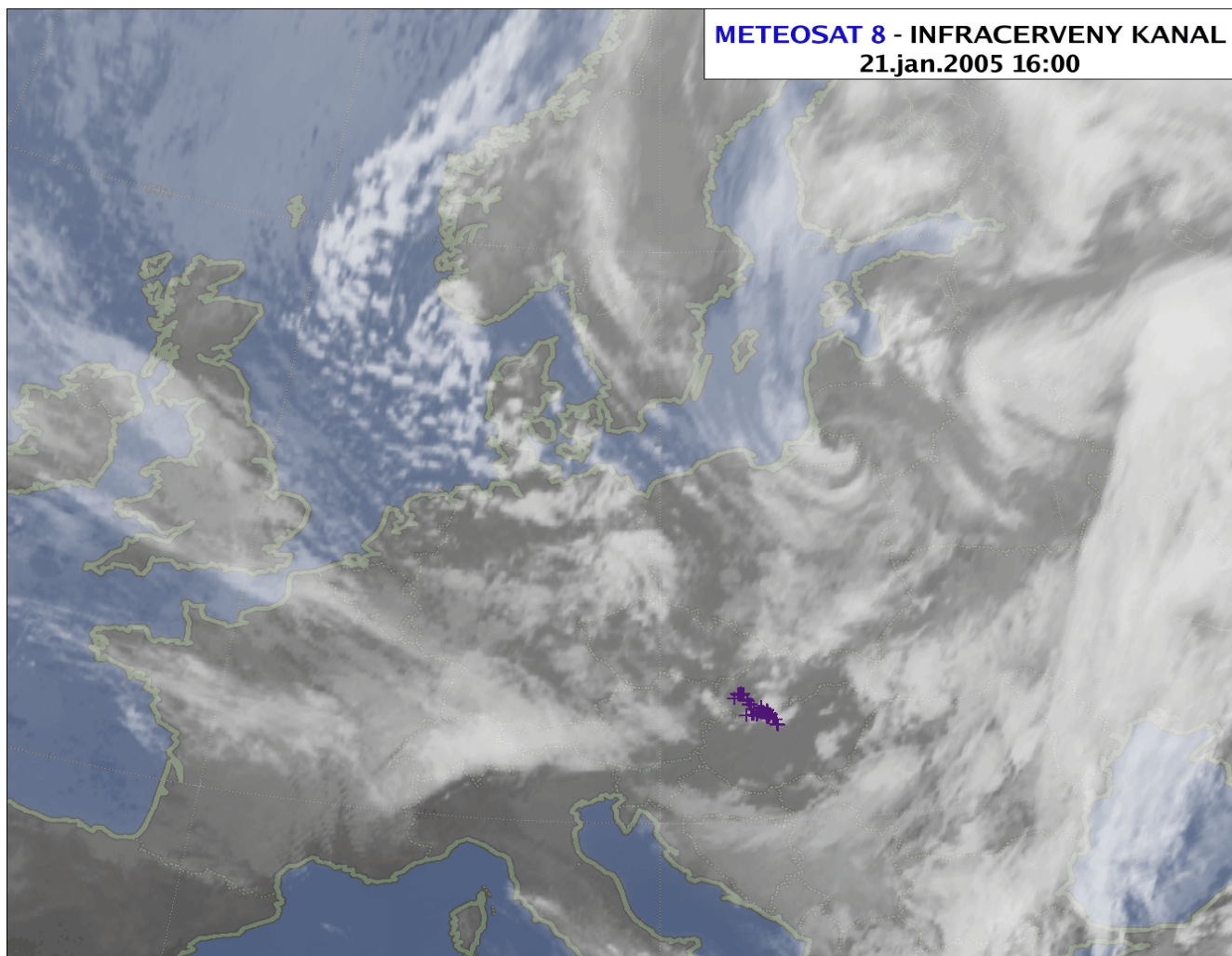




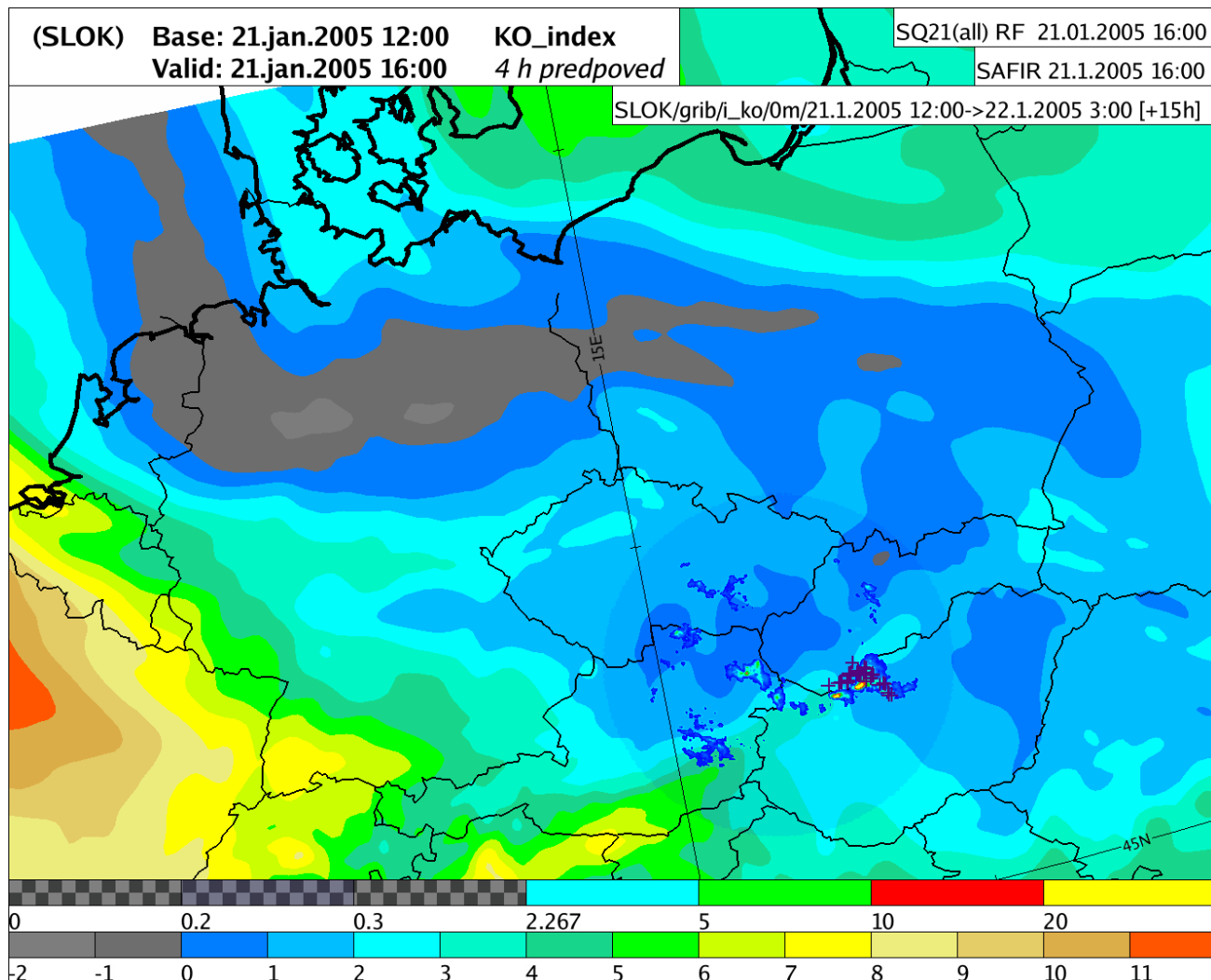
Rýchlosť pohybu oblakov (60 až 70 km/h) dokumentuje aj "zaostávanie" výbojov nameraných v skorších časových intervaloch za rádiolokačnými odrazmi búrkových mrakov. Ďalší obrázok ukazuje porovnanie odhadovanej intenzity zrážok z merania rádiolokátora v čase 17:00 SEČ a pozíciu výbojov určených za obdobie 16:30 až 17:00 SEČ. Väčšina výbojov sa vyskytla v oblasti s intenzívnymi zrážkami, ktoré boli (s výnimkou najnižších hladín atmosféry) vo forme snehu alebo krúpok. Odhady maximálnej intenzity zrážok v jadrách búrok boli pravdepodobne mierne nadhodnotené. Intenzita do 20 mm za hodinu (čo by znamenalo najviac 10 mm pri zhruba polhodinovom trvaní zrážok na určitej lokalite) zodpovedá viac realite a staničným pozorovaniam.



Kombinácia detekcie bleskov s obrázkami z družice METEOSAT ukazuje chumáčiky kopovitej oblačnosti, ktorá sa pohybovala do oblasti strednej Európy od Severného mora



Búrky sa vyskytli v tomto dni aj v iných častiach Európy, najviac nad severným Nemeckom (mimo dosahu detekčného systému SAFIR). Labilitu v tejto oblasti dosvedčuje aj predpoveď indexu KO vypočítaného numerickým modelom ALADIN. Záporné hodnoty indexu znázorňujú oblasti lability, hodnoty od 0 po 2 oblasti slabej stability, hodnoty od 2 po 6 oblasti miernej stability a hodnoty vyššie ako 6 dokumentujú veľmi vysokú stabilitu zvrstvenia. Oblasť juhozápadného Slovenska sa teda nachádzala podľa tohto materiálu vo vzduchovej hmote so slabou až miernou stabilitou zvrstvenia.



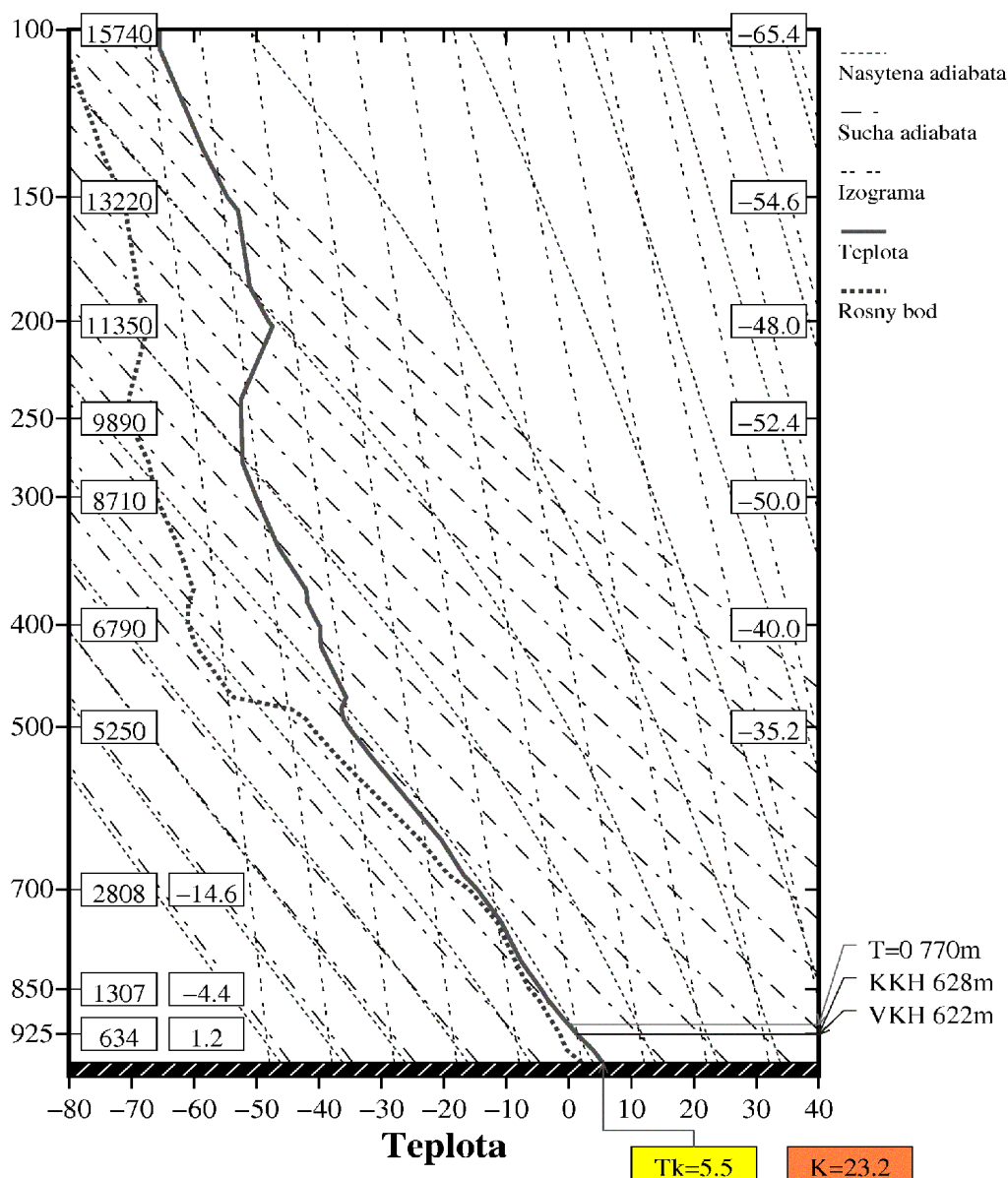
Analýza stability na základe výstupov aerologickej sondy (meteorologického balóna)

Podrobnejšie informácie o vlastnostiach vzduchovej hmoty poskytujú záznamy aerologickej sondy. Na Slovensku existuje stanica, ktorá robí aerologické pozorovania, a to v Gánovciach pri Poprade. Pre juhozápadné Slovensko sú viac reprezentatívne pozorovania, ktoré sa vykonávajú vo Viedni na stanici Hohe Warte a v Budapešti na stanici Lörinc. Z merania rádi sondy vypustenej vo Viedni 21.7.2005 o 12 UTC (13 SEČ) (viď výstup z meraní sondy na obr. nižšie) je možné rozpoznať vysokú nasýtenosť vzduchu v hladine do 5 km (krivka teploty je blízka teplote rosného bodu). Za spodnú hladinu tvorby oblačnosti je možné považovať takzvanú výstupnú kondenzačnú hladinu (VKH), ktorá sa nachádzala vo výške 622 metrov. Obdobným parametrom pre kopovité oblaky je konvekčná kondenzačná hladina (KKH), ktorá býva niekedy položená nižšie ale

v tomto prípade sa takmer zhodovala s hladinou VKH. Hladina nulovej izotermy, pod ktorou sa dajú očakávať zmiešané alebo kvapalné zrážky, bola vo výške 770 metrov. Treba však zdôrazniť, že pri zostupných pohyboch vlhkého vzduchu pod oblakom, najmä pri zrážkach, sa vzduch výrazne ochladzuje a teplota nulovej izotermy môže klesnúť (snhové zrážky a krúčky sa tak počas zrážok nestihnú vždy roztopiť, aj keď je teplota vzduchu pri zemi mierne nad nulou).

Tue Aug 23 22:20:10 2005

11035 Wien 21/01/05 12 UTC

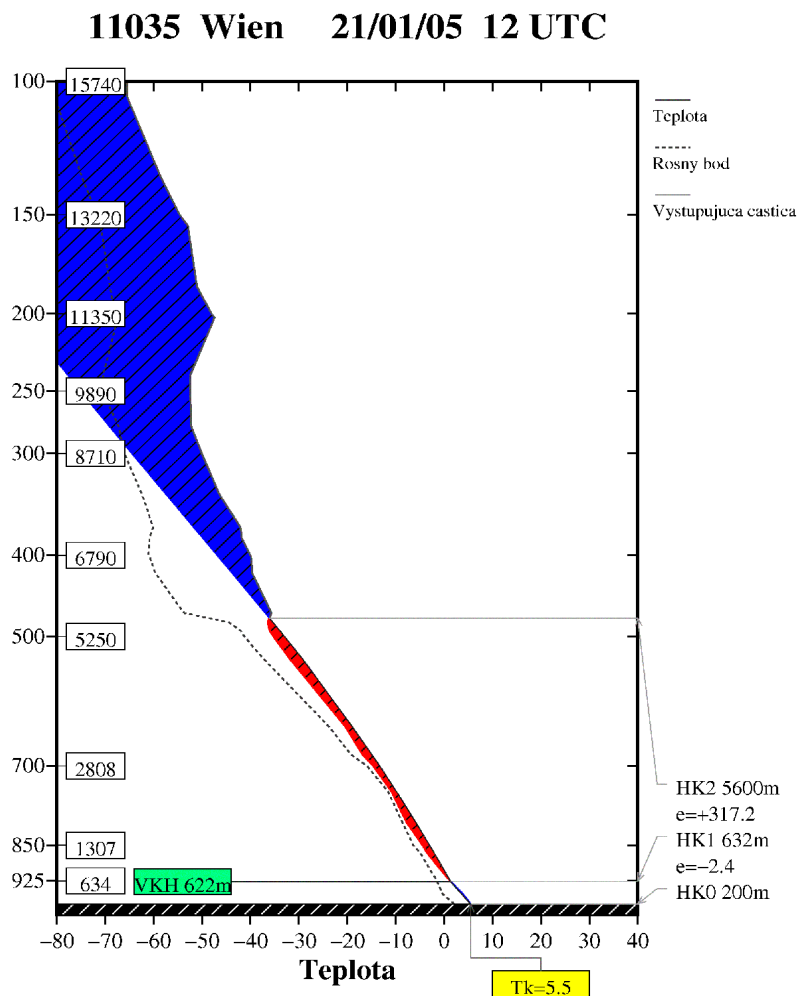


Vrchol oblačnosti bolo možné očakávať vo výške asi 5600 metrov, nad ktorou sa pokles teploty spomalil. V ešte vyšších hladinách atmosféry teplota vzduchu prestane klesať a s výškou dokonca narastá. Táto hladina sa nazýva **tropopauza** a jej výška bola pri tejto situácii okolo 9 km (v zime sa zvykne nachádzať aj nižšie, vo výškach okolo 6 km). Oblačnosť sa sústreďuje väčšinou vo vrstve vzduchu pod tropopauzou (v troposfére), nad touto hladinou sa väčšinou vyskytuje už iba veľmi riedka stratosferická oblačnosť.

Na to, aby sa vytvárala kopovitá oblačnosť, je často potrebné, aby sa vzduch v spodných hladinách ovzdušia ohrial na istú teplotu, ktorú nazývame **teplotou konvekcie** (na obr. vyššie vyznačená žltou farbou). V prízemnej vrstve mala táto teplota hodnotu 5,5 stupňa Celzia, ktorú, ako vieme z pozorovaní, viaceré stanice na juhozápadnom Slovensku dosiahli. Tzv. **parameter K** (oranžovo vyznačený), počítaný podľa metódy Whittinga, nadobúdal hodnoty dostatočné pre konvekciu, ale nie pre vývoj búrok (táto hranica je pri $K=30$ ale v zime je uvedená metóda menej spoľahlivá).

Na analýzu stability je vhodnejší výpočet **energie konvekčných pohybov**.

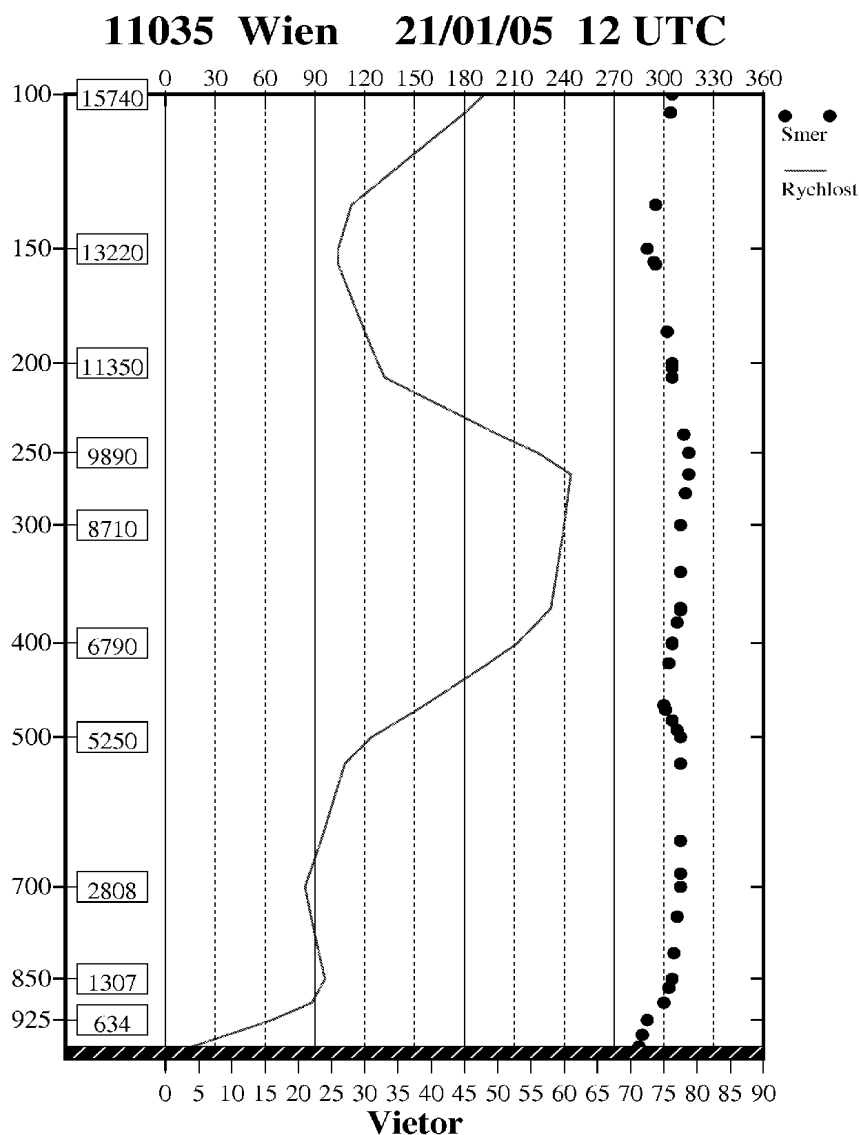
Tue Aug 23 22:20:43 2005



Z tejto analýzy je možné zistiť, že pod tzv. **hladinou voľnej konvekcie** HK1 (do výšky 632 metrov) bolo teplotné zvrstvenie slabo stabilné (na narušenie tejto stability by však postačoval len malý impulz). Niekoľko metrov nad hladinou voľnej konvekcie nasleduje vrstva (na **obr.** vyššie vyznačená červenou farbou), kde bolo teplotné zvrstvenie vzduchu absolútne labilné. Táto vrstva je dostatočne mohutná a siaha až po takzvanú **hladinu rovnováhy** HK2 vo výške 5600 metrov. Energia výstupných pohybov v tejto vrstve je 317 Joulov na kilogram, čo sa obvykle považuje za spodnú hranicu, keď sa môže začať tvoriť búrková oblačnosť (i keď slabej intenzity).

Pozoruhodný je aj profil vetra znázornený na nasledujúcom **obrázku**.

Tue Aug 23 22:21:15 2005



Podľa výstupov rádi sondy sa smer vetra s výškou menil iba málo (bol severozápadný a vial zo smerov 290 až 315 stupňov). S výškou však prúdenie veľmi rýchlo silnelo. Rýchlosť 20 m/s (72 km/h) dosiahol vietor už v hladine okolo 1000 metrov, vo výškach pod tropopauzou (pravdepodobne v blízkosti osi dýzového prúdenia) rýchlosť vetra dosiahla až 60 m/s (216 km/h)!

Analýzy z iných staníc (Budapešť, Prostějov, Gánovce) vykazovali podobné črty, ale z analýzy teplotného zvrstvenia vyplývala celkovo neutrálna stabilita (striedali sa tu vrstvy vzduchu s malou labilitou a vrstvy s malou stabilitou atmosféry).

Celkovo možno situáciu z 21.1.2005 hodnotiť ako typický príklad podmienok, pri akých sa vyskytujú búrky v zimnom období.