

METEOROLOGICKÉ ZPRÁVY

Meteorological Bulletin

ROČNÍK 55 (2002)

V PRAZE DNE 28. ÚNORA 2002

ČÍSLO 1

Milan Šálek – Martin Setvák – Jan Sulan – František Vavruška (ČHMÚ)

VÝZNAMNÉ KONVEKTIVNÍ JEVY NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY V LETECH 2000–2001

Severe convective weather of years 2000 and 2001 on territory of the Czech Republic. Total number of tornadoes and other severe convective weather phenomena, documented in region of the Czech Republic, has increased significantly in 2000 and 2001 as compared to previous years. This is mainly due to enhanced awareness of these phenomena among the Czech meteorological community as well as among general public. Targeted research, supported by the Grant Agency of the Czech Republic, has also considerably enhanced information collection and more systematic study of convection-related severe weather. However, the increase of evidences of tornado occurrences, down(micro)bursts, hailstorms etc. is at least partly related to wide broadening of communication means (especially Internet) and to increased attention of public media (press, radio-and TV stations). The paper addresses the most important or interesting cases of severe convective storms of 2000 and 2001, with occurrence of tornado, downburst or microburst damage, significant hail, or flash floods with some comments on the predictability and warning service aspects. Further details, especially about tornadoes in the Czech territory, can be found at <http://www.chmi.cz/torn/>.

KLÍČOVÁ SLOVA: jevy konvektivní – tornáda – škody – Česká republika

ÚVOD

Nezanedbatelná část nebezpečných povětrnostních jevů připadá na silné konvektivní bouře, které mohou způsobit přívalové srážky, škody bleskem a silným větrem. V poslední době je těmto jevům věnována zvýšená pozornost vyvolaná silící snahou o minimalizaci škod způsobených přírodními živly a s tím spojenými zvyšujícími se nároky veřejnosti na kvalitu varovných a výstražných systémů. Dokonalejší sledování uvedených jevů je též umožněno zavedením nových technologií, zejména metod dálkové detekce, i lepším informačním propojením společnosti. Intenzivněji jsou zkoumány možnosti okamžité detekce a předpovědi (nowcastingu) konvektivních systémů, které se však dosud potýkají zejména s obtížemi při podchycení jejich dynamiky. V oblasti nowcastingu, a to především při nowcastingu silné konvekce, se uplatňují i koncepční modely, které popisují typický životní cyklus a základní projevy příslušného meteorologického jevu.

Základním krokem k lepší informovanosti laické i odborné veřejnosti je podrobnější systematické zkoumání intenzivních bouří a jejich projevů, a to kombinací metod dálkové detekce a pozemního pozorování, popř. pomocí matematického modelování. Vzhledem k měřítku významných konvektivních jevů (typicky zlomky až jednotky, nanejvýše desítky km) není možné spoléhat pouze na standardní pozorovací a měřicí sítě, a dokonce ani na metody dálkové detekce. Důležitou

a někdy i klíčovou roli pro bližší poznání a klasifikaci těchto jevů hraje spolupráce s veřejností a terénní průzkum na místě výskytu případného konvektivního fenoménu. Právě díky intenzivnějšímu koordinovanému terénnímu průzkumu a soustavnému shromažďování všech informací týkajících se silných bouří v posledních dvou letech vznikl soubor případů, jejichž první stručný přehled je tématem tohoto článku. Je ale nutné připomenout, že silné bouře na našem území nebyly v minulých letech opomíjeny, o čemž svědčí četné publikace, jako např. [1, 8, 11, 12]. V posledních dvou letech byly tyto jevy zkoumány důkladněji a ve větším rozsahu, a to také díky probíhajícímu projektu Grantové agentury ČR.

Jak je snad čtenářům zřejmé, nejedná se o žádný ojedinělý výzkum – podobné aktivity jsou v některých částech světa zcela běžné (např. v USA se jedná o činnost spadající do rutinálních povinností Národní meteorologické služby již zhruba od konce 50. let [2]). V Evropě však dokumentace a výzkum downburstů či tornád nejsou zdaleka tak běžnou činností jako je tomu v USA. Je to celkem pochopitelné – pro Evropu nepředstavují tornáda zdaleka takové ohrožení jako pro některé oblasti v USA. Přesto ani v Evropě nebyla tornáda nikdy zcela opomíjena, jak o tom svědčí např. [9], nebo nověji např. [3].

Značný nárůst zájmu o extrémní konvektivní jevy lze v Evropě vypořádat od konce 90. let, kdy se této problematice začíná věnovat většina západo- a středoevropských

Tab. 1 Přehled významných konvektivních případů na území České republiky v letech 2000–2001.

Table 1. The most important cases of severe convective storms on the territory of the Czech Republic in 2000–2001.

Datum výskytu	Čas a doba trvání jevu (SELČ)	Území, příp. název lokality	Zem. šířka (orient. údaj)	Zem. délka (orient. údaj)	Intenzita jevu, náraz větru	Typ jevu
4. 8. 2001	~17:00-19:00	postižené území od Brna po Kroměřížsko a dále na Vsetínsko	49.33 N	17.58 E	náraz větru v Holešově 35,4 m/s	D,T,K (hlavně down-bursty)
3. 8. 2001	~20:00-22:00	pás území Český Krumlov – České Budějovice – Třeboň – Jindř. Hradec	49.01 N 48.95 N	14.80 E 14.95 E		D,(T),K
20. 7. 2001	~16:00 ~1 min	severně od Velké Bystřice (okr. Olomouc)	(49.67 N)	(17.43 E)		T?
20. 7. 2001	~14:30 ~10-15 min	Stařechovice (okr. Prostějov)	49.53 N	17.07 E	F2	T
20. 7. 2001	14:10 ~7 min	jižně od Brna	49.10 N	16.68 E	F1	T
20. 7. 2001	~14:00 ~15 s (?)	Vranovice (okr. Prostějov)	49.40 N	17.10 E		T?
15. 7. 2001	~ 19:00	Spálené Poříčí	49.62 N	13. 60 E		K
7. 7. 2001	~ 15:00-16:00	Západní Čechy (Luby u Chebu)	50. 25 N	12.41 E		D, K
7. 7. 2001	~18:00 ~2-3 min	Český Krumlov	48.92 N	14.32 E		D,T
7. 7. 2001	17:50 (???)	Lipno (okr. Český Krumlov)	(48.72 N)	(14.07 E)		T ?
21. 6. 2001	19:15 ~2-3 min	jižně od Kolína	(49.98 N)	(15.16 E)		F
18. 6. 2001	15:07 ~10 min	JV od Pardubic	(49.98 N)	(15.88 E)		F
17. 6. 2001	18:49 ~1 min	Olomouc	(49.59 N)	(17.25 E)		F
17. 6. 2001	~14:50 ~10 min	Rostěnice-Zvonovice (okr. Vyškov)	49.22 N	16.96 E		F
31. 5. 2001	~17:10 ~3-4 min	Vyšehořovice (okr. Praha-východ)	50.12 N	14.77 E	F0	T
31. 5. 2001	??? ~1 min	Dušníky nad Vltavou (okr. Mělník)	50.30 N	14.34 E	F1	T
31. 5. 2001	~17:00 (???)	Vilémovice, Mrzkovice (okr. HB)	49.68 N	15.34 E	F2	T
31. 5. 2001	16:30-16:40 ~10-15 min	Mílošovice (KH) – Velká Paseka (HB)	49.71 N	15.17 E	F2-F3	T
31. 5. 2001	~16:00 ~3-4 min	Kochánov/Střížkov (okr. Benešov)	49.79 N	14.78 E	F2	T, D
8. 5. 2001		Vranov nad Dyjí	48.89 N	15.79 E	FF	
21./22. 8. 2000	~21:00-03:30	střední a východní Čechy, HK			F1	D, T?
6. 8. 2000	~17:50-02:30	Třeboň a okolí	~49.00N	~14.75E	FF	
30. 7. 2000	~16:00	Popovice (okr. Beroun)	49.93 N	14.02 E	F0	T
12. 7. 2000	13:25 5 min	Šternberk (okr. Olomouc)	~49.72 N	~17.30 E		F
8. 7. 2000	~17:00	Přestavky (okr. Přerov)	49.39 N	17.49 E	F1	T
4. 7. 2000	16:56 ~5 min	Dražovice (???) (okr. Vyškov)	~49.19 N	~16.95 E		T
4. 7. 2000	~15:00	Lutová (okr. J.Hradec)	48.98 N	14.90 E	D, T?	
2. 7. 2000	~16:00	Krasíkovice (okr. Pelhřimov)	49.46 N	15.23 E	F2	D, T?
11. 6. 2000	18:00 ~15 min	Málkov (okr. Chomutov)	50.45 N	13.33 E	F2-F3	T
19. 4. 2000	17:15 10-20 min	Studnice (okr. Vyškov)	49.38 N	16.89 E	F1	T

Vysvětlivky: Označení Fx ve sloupci „intenzita jevu“ znamená x-tý stupeň Fujitovy stupnice intenzity tornád uvedená v Dodatku II, která posuzuje intenzitu tornáda na základě doložených škod způsobených větrem. Zkratky ve sloupci „Typ jevu“ mají následující význam: F – oblačný vír, kondenzační chobot, kornout, trychtýř či nálevka, vše bez prokázání doteku cirkulace se zemským povrchem; D – downburst nebo microburst, případně obecněji „gust fronta“; FF – přívalová povodeň; K – kroupy s ničivým účinkem (průměr většinou nad 2-3 cm nebo jakéhokoliv rozměru ve větším množství), T – prokázané tornádo; (T) – tornádo, kde na jeho výskyt pouze usuzujeme na základě charakteru způsobených škod; T? – nejasné případy.

států (viz např. [5] či [6]). Na téma výskytu tornád v Evropě se již uskutečnila i první mezinárodní konference (Toulouse, únor 2000), další – druhá v pořadí – se uskuteční v srpnu 2002 v Praze.

Současný výzkum silných konvektivních bouří na území ČR je zaměřený na případy, které způsobily škody větrem, ať tornády nebo downbursty (či microbursty), u nichž se vyskytlo neobvyklé krupobití nebo jejichž srážky byly příčinou pří-

valových povodní (povodní způsobených přívalovým deštěm). V článku následuje za úvodem část věnovaná přehledu sledovaných konvektivních událostí. V dalších dvou kapitolách se věnujeme stručné charakteristice jednotlivých případů z roku 2000 a 2001. Jde o první stručnou informaci o vybraných případech, jejichž studium ještě pokračuje. Zájemce o podrobnější popisy je možné již nyní odkázat na www stránku věnovanou silným bouřím a tornádům, která je umístěna na serveru Českého hydrometeorologického ústavu [14]. V závěru článku se snažíme stručně vyjádřit obecnější myšlenky, týkající se důsledků studia silné konvekce v provozních podmínkách.

Výzkum konvektivních systémů v ČR s sebou přináší mnohé problémy terminologické, neboť nové poznatky o četnosti, intenzitě a charakteru jevů spojených se silnou konvekcí nejsou vždy v souladu s kodifikovanými termíny a v některých případech neexistuje zatím v češtině ekvivalent analogický pojmu obecně užívanému v angličtině. Proto často volíme cestu používání anglických termínů (např. downburst, gust fronta), i když nemůžeme být zcela spokojeni s tvary vznikajícími přidáním českých koncovek. Význam některých takto užitých termínů je stručně popsán v dodatku, který zařazujeme za závěr článku.

1. PŘEHLED VÝZNAMNÝCH KONVEKTIVNÍCH PŘÍPADŮ V LETECH 2000–2001

Přehled konvektivních případů, při kterých se vyskytly nebezpečné povětrnostní jevy, ukazuje tabulka 1. Není samozřejmě vyloučeno, že se vyskytly další případy, které nebyly dostatečně podchyceny, zatímco některé konvektivní jevy byly do přehledu zařazeny především na základě větší publicity. Typickým příkladem jsou menší tromby, např. kondenzační chobot u Rostěnic-Zvonovic dne 17. 6. 2001, který, ač v podstatě neškodný, se stal předmětem velkého zájmu sdělovacích prostředků. Zeměpisné souřadnice uvedené v tab.1 jsou v některých případech pouze orientační a ukazují na těžiště působení bouře či na místo největších způsobených škod.

2. VYBRANÉ KONVEKTIVNÍ PŘÍPADY V ROCE 2000

Významným případem roku 2000 byl výskyt tornáda v obci Studnice 19. dubna, který byl již popsán v příspěvku [13].

2.1 Tornádo v Málkově (okres Chomutov) 11. června 2000

Uvedeného dne se nad západní Evropou vyskytovala v hladině 500 hPa brázda nižšího tlaku vzduchu, která se při svém postupu na východ vyplňovala. Při zemi postupovala přes střední Evropu k východu studená fronta spojená s mělkou brázdou nízkého tlaku vzduchu, která se začala od poledních hodin rovněž vyplňovat.

Na radaru se bouře, která nakonec nad Málkovem „zplodila“ tornádo, nejvíce zpočátku nijak mimořádnou. Postupovala jako nevýrazný izolovaný jev od východu k západu, tedy v podstatě proti směru postupu frontálních bouří. Daleko významněji vypadaly frontální bouře postupující od jihu – ty však nakonec byly doprovázeny „pouze“ slabšími downbursty. Na animaci radarových snímků bylo dobře patrné jakési „splynutí“ frontálních bouří postupujících od jihu s „málkovskou“ bouří, postupující od východu. To může vysvětlit citace řady svědků o „srážce“ dvou bouří těsně před vlastním výskytem tornáda. Samozřejmě, že ke „srážce“ bou-

ří jako takové nedošlo – zbytky systému postupující od jihu slábly a kolem 17.50 SELČ se stala dominantním útwarem „málkovská“ bouře. Je však možné (dokonce velmi pravděpodobné), že spouštěcím mechanismem supercelární cirkulace „málkovské“ bouře, resp. vzniku tornáda, mohlo být právě přísátí vzduchu vytékajícího z okolních bouří. Vzduch vytékající ze sestupných proudů („downdraftů“) okolních bouří může mít vyšší hodnotu potenciální vorticity než původní (bouří ještě nemodifikovaný) vzduch okolního prostředí, tudíž jeho „přísátí“ do bouře může zintenzivnit její supercelární rotaci (viz např. [4]). V době kolem výskytu tornáda dosahovala jeho „mateřská“ bouře výšky kolem 15 km.

Podle svědeckých výpovědí byl trychtýř tornáda poprvé spatřen kolem 18. hodiny SELČ v prostoru povrchového dolu východně od Málkova. V prostoru dolu bylo pro absenci vegetace a staveb obtížné zaznamenat škody svědčící o přítomnosti tornáda. Z prostoru dolu pokračovalo tornádo přibližně severozápadním směrem nad obec Málkov, kde již způsobilo řadu podrobně zdokumentovaných škod (viz [14]). Tornádo urazilo vzdálenost asi 2,5 km, mělo klasický tvar trubky či trychtýře a bylo doprovázeno značným hlukem. I když bezprostředně po výskytu tornáda kolovaly zvěsti o pořízených fotografiích či dokonce videozáznamu, žádný takový materiál se meteorologům do rukou nedostal.

Při terénním průzkumu bylo zjištěno několik natolik zajímavých skutečností, že považujeme za vhodné je zde uvést. Chronologicky první z nich bylo svědectví hlídače statku Agro Málkov z bezprostřední blízkosti tornáda – sám byl tornádem povalen a vláčen, jako zázrakem nebyl zraněn množstvím létajících předmětů (zejména kusy střešní krytiny). Ještě zajímavější svědectví poskytl řidička vozu Škoda 105, pohybující se po silnici E 442 směrem k Chomutovu. Její auto i s posádkou tornádo nadzvedlo, ve vzduchu jej otočilo o 180° (ve směru hodinových ručiček) a odhodilo do příkopu, kde auto vyvrátilo břízu. Vzhledem k tomu, že řidička za „letu“ viděla na povrch země pozemku za plotem z vlnitého plechu, jehož horní okraj je asi 3 metry nad úrovní vozovky, muselo být auto nadnášeno alespoň 2 až 2,5 metru nad silnicí. Za letu též došlo k odtržení kapoty kufru auta i s úchyty. Kapota i s obsahem kufru pak odlétly „neznámo kam“. Pozoruhodné bylo poškození domku v úžlabině severozápadně od obce – tornádo mu doslova utrhlo střechu, aniž by však došlo k dalším škodám na domku nebo v jeho bezprostředním sousedství. Zřejmě se jednalo o efekt „savého víru“ doprovázejícího nosné tornádo.

Vzdálenost, na kterou tornádo přemisťovalo i poměrně hmotné předměty, dosahovala s určitostí 300–350 m, podle některých zpráv až 500 m. Podle škod bylo tornádo ohodnoceno intenzitou F2 až F3, přičemž se patrně jednalo o nejsilnější tornádo roku 2000.

2.2 Přívalové srážky na Třeboňsku 6. srpna 2000

Bouřková činnost souvisela s mělkou výškovou tlakovou níží postupující od jihozápadu přes jižní Čechy na Moravu. V odpoledních hodinách se začaly v Bavorsku a Horním Rakousku vytvářet jednotlivé, zpočátku izolované bouřky, které se po 16. hodině SELČ rozšiřovaly přes Šumavu do jižních Čech, kde se výrazná bouřková činnost udržovala až do půlnoci. Teprve poté bouřková činnost postupně ustávala.

Nejpozoruhodnějším projevem bouřek byly mimořádné srážkové úhrny související s jejich pomalým postupem a dlouhým trváním. Maximální úhrn zaznamenala stanice v Třeboni, a to 148,8 mm, z toho 70 mm za 50 minut v době

od 18. 10 do 19.00 SELČ. Na dalších pěti srážkoměrných stanicích (na ploše ca 600 km²) překročil úhrn 100 mm (Lásenice, Stráž nad Nežárkou, Suchdol nad Lužnicí, Chlum u Třeboně a Ledence). Srážková činnost vyvolala na všech menších tocích postižené oblasti výraznou odtokovou vlnu, přičemž odhadnuté kulminační průtoky dosáhly na několika místech až 100leté hodnoty. Přes mimořádné množství spadlých srážek nebyly následné škody příliš dramatické, zřejmě díky pomalému odtoku vody v převážně plochem terénu Třeboňské pánve.

2.3 Bouře 21. srpna 2000 ve středních a východních Čechách

V uvedených dnech leželo naše území v hladině 500 hPa na přední straně výrazné brázd nížšího tlaku vzduchu, která se udržovala v prostoru Skandinávie, Britských ostrovů a východního Atlantiku. V přízemním tlakovém poli postupovala přes střední Evropu k východu mělká bráza nížšího tlaku vzduchu spojená se studenou frontou charakterizovanou výrazným gradientem teploty.

Vlastní bouře, která později působila význačné škody, vznikla po 21. hodině SELČ v prostoru jihozápadních Čech. Záhy se zformovala do podoby tzv. „bow echa“ a začala vykazovat jistou pravostáčivost od trajektorií ostatních bouří v okolí. Přibližně od 22. hodiny SELČ začala vykazovat vysoké hodnoty radiolokační odrazivosti, které přetrvaly po celou dobu její další existence, kdy bouře přešla ze západních Čech jižně od Prahy do Čech východních. Hodinu po půlnoci bouře opustila naše území směrem do Polska, kde kolem 3. hodiny SELČ zmizela jako dosud aktivní bouře z dosahu radaru Skalky.

Největší škody bouře působila v části trajektorie vymezené „přechodem“ bouře přes Vltavu a oblastí kolem Hradce Králové. Na většině postiženého území bylo zaznamenáno velmi intenzivní krupobití s průměrem krup většinou kolem 2 cm, jejichž účinek byl výrazně zesílen silným větrem. Největších průměrů dosahovaly kroupy v okolí Kouřimi, údajně až 6 cm. Kromě škod kroupami se vyskytly četné škody způsobené silnými nárazy větru, zejména v pásu území od Kouřimi po Hradec Králové. V okolí Plaňan charakter škod nasvědčuje přítomnosti slabšího tornáda, všechny ostatní škody nastaly zřejmě v důsledku působení downburstů, resp. microburstů. Přesnější identifikace mechanismu zodpovědného za způsobené škody byla obtížná až nemožná z důvodu nepříznivých pozorovacích podmínek (tma). U Chlumce nad Cidlinou došlo bohužel k úmrtí v důsledku pádu stromu na stan.

3. VYBRANÉ KONVEKTIVNÍ PŘÍPADY V ROCE 2001

3.1 Přívalové srážky na Tachovsku 3. – 4. května 2001

Po přechodu slábnoucí studené fronty od západu zůstalo naše území v nevýrazném tlakovém poli. Impulzem pro vývoj mohutné kupovité oblačnosti v západních Čechách bylo zřejmě společně působení dvou bouřkových systémů nad Šumavou a severně od Plzně. Výtoky studeného vzduchu z těchto bouřkových systémů pravděpodobně iniciovaly výrazný vývoj kupovité oblačnosti na Černošinsku a výsledné intenzivní vydatné srážky se vlily do několika bezejmenných přítoků Dolského potoka, na kterém leží obec Ostrovce. Vyskytlo se též krupobití s kroupami o průměru kolem 1 cm, kterých se místy nashromáždilo větší množství o tloušťce vrstvy 20 až 30 cm. Bohužel v místě největších srážek není srážko-

měrná stanice, nejvyšší úhrn z blízkého okolí naměřili v Řebří – 74 mm a v srážkoměru ZD Černošín – 65 mm. Ze zaměření stavu hladiny v době kulminace na několika profitech Dolského potoka a z následných výpočtů vyplývá, že průměrná doba opakování těchto průtoků kolem obce Ostrovce, která byla zasažena nejvíce (viz barevná příloha, obr. 1), činí asi 400–500 let. O množství vody svědčí i fakt, že na Mži byl též přechodně dosažen třetí stupeň povodňové aktivity.

3.2 Přívalové srážky u Vranova nad Dyjí 8. května 2001

Uvedeného dne se v oblasti Junáckého potoka u Vranova nad Dyjí vyskytla přívalová povodeň, vyvolaná silnými srážkami z konvektivního komplexu. Povětrnostní situace z makrosynoptického hlediska nebyla příliš nápadná. V přízemním poli leželo naše území v nepříliš silném severovýchodním proudění mezi tlakovou výší nad východním Atlantikem a Severním mořem a oblastí nízkého tlaku vzduchu nad východní Evropou, zatímco v hladině 500 hPa bylo možno pozorovat jen nevýraznou brázu nížšího tlaku vzduchu, která k nám zasahovala od východu.

Podle informací z meteorologického radaru začala bouřková činnost v uvedené oblasti krátce před 17. hodinou SELČ; silné srážky způsobené opakovaným vývojem konvektivních buněk v téměř stejné oblasti (řetězovým efektem) trvaly asi dvě hodiny, přičemž pravděpodobně kolem 19. hodiny intenzita srážek vrcholila. Nejvíce srážek naměřili v obci Podmyče (83 mm), zatímco radarový odhad ve stejné oblasti za uvedené období činil 114 mm.

Výslednými přívalovými povodněmi byla nejvíce postižena povodí Junáckého potoka (obec Podmyče) a povodí místních potoků ve Felicině údolí a Zadních Hamrech. Kulminační průtoky zde dosáhly hodnot povodně 50 až 100leté. Dále byly protřženy hráze tří menších rybníků v povodí Junáckého potoka a došlo k dalším škodám, též v sousedních povodích. Na vzniklých škodách však měly svůj podíl i z hlediska protipovodňové ochrany nevhodné místní vodohospodářské úpravy, zvláště v obci Podmyče.

3.3 Silné bouřky v Čechách a na Českomoravské vrchovině 31. května 2001

Dne 31. května 2001 se na území České republiky vyskytly dvě bouře prokazatelně doprovázené tornády. Jedno z tornád, zaznamenané v Posázaví, bylo natolik mimořádné, že mu bude věnován samostatný článek v některém z příštích čísel.

3.4 Kondenzační chobot jihovýchodně od Pardubic 18. června 2001

Uvedený případ je zde zmíněn především z důvodu kvalitní fotodokumentace z několika míst současně (viz barevná příloha, obr. 3). Kondenzační chobot se vyskytl pod konvektivní oblačností, která nebyla při srovnání s okolními kumulonimby nijak nápadná. Samotný chobot, pozorovatelný kolem 15 až 20 minut, se zemského povrchu nejspíše nedotkl, tudíž nelze jev označit za tornádo.

3.5 Downburst a přívalové srážky v západních a jižních Čechách 7. července 2001

V sobotní podvečer a večer 7. července 2001 postupovala přes Čechy od jihozápadu studená fronta, která se po přechodu hraničních hor zformovala do výrazné squall-line. Během 6–7 hodin přešel uspořádaný pás bouřek provázených vichřicí, kroupami a intenzivními srážkami většinu České republiky a zanechal po sobě polomy, přetřhaná vedení, zatopené sklepy a četná zranění v důsledku popadaných stromů. Pro-

jevy silných bouří byly zvláště nebezpečné vzhledem k tomu, že se v sobotní podvečer konalo mnoho kulturních akcí pod širým nebem. Den před tím došlo k několika úmrtím vlivem podobných bouří v západní Evropě, proto postupu bouřek věnovaly zvláštní pozornost i sdělovací prostředky.

Ještě před přechodem squall-line se vyvíjela konvekce v oblasti Šumavy, Českého a Slavkovského lesa a také Krušných hor. Nejdynamičtější byl vývoj nad Slavkovským lesem, odkud mezi 17. a 18. h SELČ přešel úzký bouřkový pás celou Chebskou pánev směrem k západu. Bouře byly místy doprovázeny down(micro?)bursty, které způsobily polomy v rozsahu ca 10 tisíc kubických metrů dřeva – dle informací Lesní správy Františkovy Lázně šlo z osmdesáti procent o vývraty; vyvrácené či polámané stromy byly položeny vesměs jedním směrem v pásech širokých desítky až stovky metrů. Z osídlených lokalit bylo přívalovým deštěm a krupobitím s velikostí krup 1–2 cm nejvíce postiženo město Luby u Chebu. Na území okresu byly naměřeny celkové úhrny srážek 60–80 mm, ve Skalné 100 mm a na vodním díle Skalka 115 mm. Srážky na ostatním území západních Čech v souvislosti s přechodem fronty se pohybovaly v rozmezí 15–30 mm. Vlivem přívalového deště došlo místy k rozvodnění menších toků.

V jižních Čechách zaznamenaly bouřku doprovázenou nárazy větru prakticky všechny stanice, přičemž zajímavý byl zejména neobvykle malý rozptyl hodnot maximálních nárazů, a to v rozmezí od 15 do 23 m/s. Škody větrem byly rozptýleny na většinu území jižních Čech, nebyly však velké – většinou šlo o ulámané větve a stromy, které narušily dopravu. U Třeboně do spadlého stromu narazil osobní vlak, několik cestujících bylo zraněno.

Kolem 18. hodiny SELČ, v době příchodu výše uvedené squall-line, byly v oblasti vodní nádrže Lipno poblíž kempinku Jestřábí pozorovány tromby. Jednalo se o 3 víry zdvihající vodu a vodní tříšť, které postupovaly po hladině vedle sebe v rozestupech několika desítek metrů, od jihozápadu směrem ke břehu. Jejich průměr byl odhadem 10 až 20 m, výška (viditelné části) kolem 30 m. Odhad rychlosti jejich postupu na vodní hladině je velmi nejistý, mezi 50 a 100 km/h, což by zhruba odpovídalo rychlosti, jakou se pohybovalo čelo hlavního nárazu větru. Je zřejmé, že víry s tímto čelem souvisely a že se tedy pravděpodobně nejednalo o „klasické“ tornádo, vyskytující se pod jádrem bouře, ale o jeho slabší „verzi“ vyskytující se na gust frontách (někdy slangově označované jako „gustnado“). Jev byl pozorován více svědky po dobu 1 až 2 minut a jeho závěrečná fáze byla natočena i na video, jež se ale bohužel nepodařilo od autora získat. Pravý krajní vír dorazil na břeh, kde ulomil ve výšce 4 m olši, která padla na auto a na stan a zranila zde chlapce. Další dva víry zřejmě zanikly ještě nad vodní hladinou. Následující bouřku doprovázel jen mírný déšť a údajně také mírná elektrická aktivita. Drobnější škody v širším okolí (převrácená plavidla, poškozené stany, ulámané větve) spíše souvisely se silným, delší dobu trvajícím nárazovitým větrem.

Krátce poté, za stejné situace, byl při přicházející bouři pozorován v Českém Krumlově, 20 km severovýchodně od Lipna, další vzdušný trychtýřovitý vír. Jeho průměr činil několik metrů, rotoval cyklonálně a ze svého okolí nasával prach, listí a drobné větve. Vír, který byl pozorován zhruba po dobu dvou minut, souvisel s nástupem downburstu; následný silný vír trval asi čtyři minuty a bouře byla doprovázena též krupobitím. Je pravděpodobné, že šlo o jev stejné povahy jako na Lipně.

3.6 Supercela na zvlněné studené frontě a večerní bouře 15. července 2001

Přes střední Evropu velmi zvolna postupovala k severovýchodu zvlněná studená fronta. Před ní k nám proudil velmi teplý a vlhký, značně labilní vzduch, ovšem se zádržnou stabilní vrstvou, která po většinu odpoledne bránila rozvoji hluboké konvekce. Až v podvečer po 17. hodině SELČ se v západních Čechách rychle vyvíjela mohutná bouřková oblačnost. V prostředí s výrazným vertikálním stříhem větru a potenciální energií lability CAPE 1260 J/kg se z bouře nad Klatovskem vyvinula supercela postupující k severovýchodu. Kolem 18. hodiny SELČ se rozštěpila na dva samostatně se vyvíjející objekty, z nichž pravý postupoval kolem 19. hodiny SELČ přes městečko Spálené Poříčí, kde začaly vypadávat bez deště kroupy (nebo spíše kusy ledu) o průměru 2–3,5 cm.

Současně se výrazná bouřková oblačnost tvořila nad Bavorskem. Po překročení hraničního horského hřebene se zformovala do uspořádaného pásma bouří provázených prudkými srážkami, nárazy větru kolem 15 m/s a zejména značnou elektrickou aktivitou. Během večera postoupilo pásmo přes západní a jižní Čechy dále k severovýchodu. Srážky na území regionu byly v rozmezí 10–20 mm, v místech se supercelou 30–35 mm.

3.7 Tornáda na Moravě 20. července 2001

Dne 20. července vznikla na Moravě četná tornáda, která byla způsobena intenzivními bouřkami, vznikajícími na tlakově níže spojené s frontálním rozhraním oddělujícím chladný vzduch nad západní Evropou od teplého vzduchu nad Evropou východní. Zmíněná tlaková níže postupovala z oblasti rakousko-maďarských hranic k severu a v době výskytu tornád přecházela přes území Moravy. V době zejména mezi 13.00 až 13.30 SELČ se nad střední a jižní Moravou rychle vyvinuly silné bouře, ze kterých se spustila tornáda. Množství a intenzitu bouří je možno dokumentovat na obr. 2, zobrazujícím souhrnně radiolokační odrazivost z radarové sítě České republiky, teplotu oblačnosti z meteorologické družice METEOSAT, výstupy systému detekce blesků a objektivní analýzu geopotenciálu hladiny 700 hPa z modelu ARPEGE/ALADIN.

Zajímavý byl průběh vektoru větru s výškou, který pro výskyt tornád, alespoň ve světle současných poznatků, příliš typický nebyl; v přízemní vrstvě vál slabý severní vítr, od hladiny ca 900 hPa výše mírný jihovýchodní vítr kolem 7 m/s, zatímco horní polovina troposféry měla pouze slabý jihovýchodní vítr do 3 m/s.

3.7.1 Tornádo u Brna

První tornádo uvedeného dne vzniklo v oblasti asi 10 km jižně od Brna a dotyk se zemí nastal u obce Opatovice, kterou vír poté zasáhl a poničil asi deset střeš. Od zmíněné obce postupoval k severovýchodu, ničil stromy a polní kultury, a zhruba po 7 km se začalo tornádo „vytahovat“ vzhůru a posléze zaniklo.

Tornádo pozorovali též zaměstnanci Letecké meteorologické stanice Brno-Tuřany. Díky jejich pozorování byl stanoven začátek tornáda na 14.11 SELČ a jeho konec na 14.18 SELČ, z čehož vyplývá postupná rychlost kolem 50–60 km/h. Vzhledem k charakteru škod bylo klasifikováno stupněm F1 Fujitovy stupnice (viz Dodatek II). Podařilo se jej též vyfotografovat, a to z jižního okraje Brna (barevná příloha, obr. 4) a z letiště Brno-Tuřany (barevná příloha, obr. 5).

3.7.2 Tornádo mezi Prostějovem a Čechami pod Kosířem

Téměř bezprostředně po brněnském tornádu, zhruba kolem 14.30 SELČ, se na jiné bouři vyskytlo další tornádo, které se poprvé dotklo zemského povrchu na severozápadním okraji Prostějova a poté postupovalo dále k severozápadu, kde na své trase zasáhlo několik obcí. Nejhůře byly postiženy obce Služín a Stařechovice, kde vír poničil značné množství střech, z nichž některé byly odneseny i s krovem. Krátce poté, co vyvrátilo či polámalo množství stromů v Čechách pod Kosířem, se tornádo podle svědků rozpadlo. Vír byl natočen též na video, z něhož uvádíme ukázkou na obr. 4.

3.7.3 Tornádo (tornáda) severně od Velké Bystřice na Olomoucku

V oblasti mezi Velkou Bystřicí u Olomouce a vodní nádrží Slezská Harta se vyskytlo nejméně jedno tornádo pravděpodobné intenzity F1, které bylo několikrát svědecky potvrzeno, a to zejména v oblasti mezi Velkou Bystřicí a obcemi Hlubočky a Hrubá Voda, a dále u Norberčan a Nových Valteřic. Vzhledem ke vzdálenosti mezi Velkou Bystřicí a Novými Valteřicemi (téměř 30 km) je spíše pravděpodobné, že se jednalo o více tornád, i když je nutno zdůraznit, že rozlišení mezi jedním tornádem, které výrazně mění svoji intenzitu či se občas „stahuje“ do kumulonimbu, a více tornád je velmi obtížné, ne-li nemožné.

3.8 Silné bouře v jižních Čechách dne 3. 8. 2001

V jihozápadním výskovém proudění na přední straně brázdy nízkého tlaku postupovala zvlněná studená fronta v odpoledních a podvečerních hodinách z Bavorska do Čech. Vývoj prvních izolovaných předfrontálních bouří v časných odpoledních hodinách zřejmě ještě omezovala tenká zádržná inverzní vrstva kolem hladiny 850 hPa, takže k hromadnému vzniku bouřkových jader došlo v jižních Čechách po 18. hodině SELČ. Významný komplex bouří vznikl po 17. hodině SELČ nad jižní Šumavou a kolem 18. hodiny SELČ se zformoval do severojižně orientovaného pásu sahajícího od Českých Budějovic k Linci. Tento pás (squall-line) postupoval k severovýchodu rychlostí 70-100 km/h, přičemž před 19. hodinou SELČ se na východ od Třeboně, kde došlo k nejničivějším účinkům bouře, výrazně vyklenul (vytvořil tzv. bow-echo).

Škody způsobené větrem byly zaznamenány v pásmu dlouhém minimálně 80–90 km a širokém 10–30 km, s osou probíhající od Českého Krumlova přes Třeboňsko a Jindřichohradecko nad jižní část Českomoravské vrchoviny. Kromě celkového plošného poškození (na Třeboňsku a Jindřichohradecku odhadnut objem polomů na 50 tisíc plnometrů dřeva) bylo v tomto pásmu zjištěno několik lokalit s výrazně většími, koncentrovanějšími účinky větru, jejichž stopy by nasvědčovaly výskytu tromby či spíše více tromb. K výskytu tromby došlo s velkou pravděpodobností i na jihovýchodním okraji Chlumu u Třeboně, kde byla mj. totálně vyvrácena v šíři asi 100 m alej velkých kanadských dubů a kde došlo ke smrtelnému úrazu. Podle svědectví návštěvníků zdejšího kempu byl na čele přicházející bouře pozorován „trychtýř doprovázený u země světlou vodní koulí o průměru asi 100 m, který se velice rychle a s velkým hukotem přihnál od jihozápadu“. Na některých místech působily škody také kroupy o velikosti 3 až 5 cm a přívalový déšť.

Přestože se nenašel během průzkumu svědek, který by výskyt tromby potvrdil zcela jednoznačně, lze podle všech šetření pokládat za velmi pravděpodobné, že na čele vzduchu

vytékajícího z bouře (gust frontě) se tromba, či spíše několik tromb postupujících velkou rychlostí, vyskytlo.

3.9 Downbursty a krupobití na Moravě 4. 8. 2001

Uvedeného dne se působení nebezpečných povětrnostních jevů spojených s hlubokou konvekcí přesunulo na Moravu, kde byly pozorovány rozsáhlé škody silným větrem a krupobitím. Vznikly jako průvodní jev výrazného konvektivního komplexu, který postupoval od jihozápadu od Znojemska přes Brněnsko nad Kroměřížsko a Vsetínsko, kde, zvláště v oblasti Holešova a Hostýnsko-Vsetínské hornatiny, byly jeho účinky nejsilnější, přičemž se zde ojediněle vyskytly kroupy o průměru kolem 5 cm. Vlastní škody způsobené větrem měla na svědomí především hůlava (zřejmě downbursty); existenci tornáda se podařilo doložit v obci Tučapy, nicméně ve srovnání se zkoumaným rozsáhlým působením zřetelných downburstů bylo jeho působení téměř zanedbatelné.

ZÁVĚR

Počet zaznamenaných jevů, které souvisejí se silnou konvekcí na našem území, přibývá. Zvýšení počtu dokumentovaných tornád a obecně škod průkazně spojených se silnými konvektivními bouřkami je však velmi pravděpodobně spojeno s informovaností veřejnosti, tj. rozšířením internetu a zvýšeným zájmem sdělovacích prostředků o tuto problematiku. Výraznou roli hraje též snazší dostupnost záznamových prostředků, od klasických fotoaparátů po digitální fotoaparáty a videokamery.

Předložený článek je prvním stručným shrnutím základních poznatků získaných v posledních dvou letech, které dokumentují výskyt řady silných jevů spojených s organizovanými konvektivními systémy. Silné konvektivní bouře patří k velmi působivým, ale zároveň velmi nebezpečným fenoménům, stále více poodhalují svá tajemství díky práci mnoha odborníků po celém světě. Ale i přes významně lepší znalosti těchto procesů je a stále bude obtížné tyto jevy předpovídat s dostatečnou přesností. Během devadesátých let se v České republice velmi výrazně zlepšila detekce konvektivních bouří zejména díky instalaci digitálních dopplerovských meteorologických radarů. Při lokalizaci konvektivních bouří pomáhají významně též meteorologické družice a nově zaváděné systémy detekce blesků. Je ale nutné si uvědomit, že stále bude existovat určitá prodleva mezi okamžikem detekce a reakcí případného varovného systému. Tu bude možné poněkud snížit aplikací vhodného systému nowcastingu, kde však bude nutné pečlivě vážit jeho použitelnost u rozebíraných jevů, jejichž vývoj je zejména v malém měřítku (kilometry) výrazně nelineární, a tudíž velmi těžko předpověditelný.

Pro lepší účinnost varovného systému by bylo též možné využít vizuální pozorování, které je v této době, kdy se nasazují stále vyspělejší metody dálkové detekce, poněkud podceňováno. Síť dobrovolných vyškolených pozorovatelů, jejíž jádro by mohlo vzejít ze spolupracovníků – dobrovolných pozorovatelů ČHMÚ, případně hasičského sboru, by mohla případná upozornění vydaná meteorology-profesionály velmi vhodně lokálně upřesnit (zejména pro potřeby informovanosti hasičských a záchranných sborů). Další možností je též nasazení prostředků vizuálního sledování oblohy, například pomocí tzv. webových kamer, jejichž počet se v celém světě i v naší republice rozšiřuje a jež se bohužel pro meteorologické účely využívají nedostatečně.

Poděkování: Článek byl připraven s podporou grantu GAČR

205/00/1451. Autoři děkují mnoha svým kolegům, kteří se podíleli na pracích spojených s výzkumem silných konvektivních jevů, zejména (bez titulů) Vladimíru Fárkovi, Ladislavovi Juránkovi, Bohuslavě Markové, Zdeňce Šimšové, Václavu Dvořákovi, Kateřině Habrdové, Josefu Cinkovi a mnohým dalším. Dále je nutno poděkovat autorům uvedených snímků, panu Miroslavu Ježkovi, Jiřímu Menšíkovi, Pavlu Ambrožovi a Aleši Bednaříkovi. Děkujeme rovněž Daniele Řezáčové za cenné podněty a připomínky k tomuto článku.

Dodatek I. Upřesnění vybraných termínů souvisejících se silnou konvekcí

Poznámka: Níže uvedené termíny jsou vysvětleny spíše orientačně a jejich popisy nelze v mnoha případech považovat za ustálené a vyčerpávající, neboť vlivem probíhajícího výzkumu dochází často k posunům jejich významů.

konvektivní bouře (convective storm)

souhrn atmosférických jevů generovaných konvekcí doprovázející vznik oblaku cumulonimbus – většinou bouřka (blesky a jevy je doprovázející), srážky (kapalné – většinou intenzivnější přeháňky, resp. kroupy), krátkodobě zesílený vítr (např. hůlavou).

bouřka

soubor elektrických (elektromagnetických), optických a akustických jevů vznikajících mezi oblaky navzájem nebo uvnitř oblaku, resp. mezi oblakem a zemí, vznikajících jako důsledek přerozdělení elektrického náboje v atmosféře vlivem konvektivních a kondenzačních procesů. Často nevhodně (nepřesně) používáno jako synonymum pro konvektivní bouři.

silná konvektivní bouře (severe convective storm)

konvektivní bouře doprovázená extrémními (nebezpečnými) jevy, jako např. mimořádně velké kroupy či velmi intenzivní krupobití (působící význačné škody), silné přívalové srážky (zpravidla vedoucí k přívalovým povodním), silný nárazový vítr (tornáda, downbursty, microbursty, gust fronta), mimořádně silné nebo četné elektrické výboje mezi oblakem a zemí.

tromba (obdobný obecný zavedený angl. termín není autorům znám)

atmosférický vír s (kvasi)vertikální osou rotace generovaný (atmosférickou) konvekcí, s horizontálním rozměrem (průměrem) řádu metrů až stovek metrů, vyskytující se při zemském povrchu (vč. vodní hladiny) nebo pod spodní základnou konvektivní oblačnosti; může i nemusí se dotýkat zemského povrchu (vodní hladiny).

tornádo (tornado)

tromba vyskytující se ve vazbě na vertikálně mohutnou konvektivní oblačnost, která se alespoň jednou během své existence prokazatelně dotkne zemského povrchu nebo vodní hladiny a která současně má dostatečný potenciál k působení škod. Zpravidla sestává ze dvou viditelných částí – kondenzačního chobotu (nálevky) spouštějícího (zviditelňujícího) se ze spodní základny oblaku směrem k zemi, a z prašného (vodního) víru vznikajícího (zviditelňujícího) působením cirkulace tornáda u zemského povrchu (vodní hladiny). Zpravidla se rozlišují tornáda supercelární a nesupercelární.

netornádická tromba

tromba, která jednoznačně nespĺňuje kritéria definice tornáda (např. kondenzační chobot nedotýkající se zemského povrchu, prašný vír, „rarášek“, ...).

pseudotornádická tromba

slangové souhrnné označení pro jevy mající blízko tornádům (nálevka, kondenzační chobot, kornout, ...), vyskytující se pod oblakem Cb, u kterých nebyl prokázán dotek se zemským povrchem (vodní hladinou).

updraft (updraft)

vzestupný konvektivní proud uvnitř oblaku Cb.

downdraft (downdraft)

sestupný konvektivní proud uvnitř oblaku Cb.

downburst (downburst)

prudké zesílení sestupného proudu spojeného s konvektivní bouří, které vyvolává při zemi silný (a nárazový) vítr a je zpravidla doprovázené i velmi silnými přívalovými srážkami či krupobitím, o horizontálním rozměru cca stovky metrů až několik kilometrů, dobou trvání zpravidla v desít-

kách minut. Podstatným mechanismem je krátkodobé zrychlení sestupujícího vzduchu ochlazeného (ochlazovaného) výparem srážek.

microburst (microburst)

downburst menších rozměrů, který má charakter obří „kapky“ vzduchu výrazně chladnějšího vůči svému okolí, vyskytující se ve vazbě na konvektivní bouře, sestupující a dopadající k zemskému povrchu značnou rychlostí. Typický rozměr microburstů je v desítkách až stovkách metrů, na zemském povrchu mají potenciál působit škody obdobné tornádům.

gust fronta (gust front)

čelo chladného vzduchu „vylévajícího se“ z konvektivní bouře nebo jejich komplexů při zemském povrchu, jehož přechod je doprovázen náhlým zvýšením větru (hůlavou)

řetězový efekt (train effect)

opakovaný vývoj konvektivních buněk nad daným územím vzniklý jako důsledek interakce vnějšího proudění a vnitřní cirkulace bouří. Vyskytuje se především u squall line při slabém vnějším proudění a vhodném střihu větru. Tento koncepční model není definitivní, přesný kvantitativní popis zatím není k dispozici.

squall-line (squall-line)

souvislý organizovaný pás konvektivních bouří, mezinárodně užívané označení pro srážkově výrazné a silné linie instability. Vazba mezi squall-line a linií instability není zatím ustálená.

Dodatek II: Fujitova stupnice intenzity tornád

F0 17 – 32 m/s	lehké škody – nahodile zbořené komíny a dřevěné ploty; drobné škody na střešní krytině; poškozené reklamy a dopravní značky vedle silnic; ulámané větve stromů, sporadicky vyvráceny stromy s mělkými kořeny; na polích již patrná stopa tornáda
F1 33 – 51 m/s	mírné škody – částečně poničená krytina střech; jedoucí automobily vytlačeny ze silnice, různé stavbařské buňky posunuty ze základů, převráceny či silně poškozeny, chatrnější stavby (kúlny, plechové garáže, plechové haly) těžce poničeny až zcela zničeny; sporadicky vyvráceny či přelomeny větší stromy s pevnějšími kořeny
F2 52 – 72 m/s	středně těžké škody – zcela utrhány střechy z hůře postavených budov; mobilní buňky a chatrnější stavení zcela zničena; u bytelnějších staveb boční a čelní stěny ještě vážněji nepoškozeny; lehčí auta nadnášena; vznik „projektilů“ z lehčích, malých trosek; většina izolovaně rostoucích velkých stromů vyvrácena nebo přelámana
F3 73 – 95 m/s	značné škody – střechy a některé stěny zcela utřeny od konstrukce dobře postavených budov; těžší auta nadnášena; převrácené vlaky či lokomotivy; většina stromů v souvislém lese vyvrácena nebo ulámana, stojící stromy či pahýly stromů částečně zbaveny kůry létajícími troskami
F4 96 – 120 m/s	těžké škody – železobetonové budovy významně poškozeny, zděné (cihlové) a kamenné budovy těžce (většinou neopravitelně) poškozeny, méně pevné budovy zcela srovnány se zemí, trosky nejchatrnějších budov rozptýleny do značné vzdálenosti od svých základů; auta unášena vzduchem (těsně nad zemí) nebo rolována na velké vzdálenosti; vznik velkých a těžkých „projektilů“ z létajících trosek; pahýly stromů zcela zbaveny kůry
F5 nad 120 m/s	totální zkáza – železobetonové budovy těžce poškozeny, ostatní budovy zcela zničeny; zpevněné nezděné budovy přeneseny před totálním zničením do značné vzdálenosti; automobily přenášeny vzduchem jako „projektily“ na značné vzdálenosti; pole zcela zbavena vegetace (úrody) – ta převážně vytrhána i s kořeny

Poznámky. Je zřejmé, že přiřazení rychlostí a způsobených škod je pouze orientační a že zabývat se hlouběji exaktností takto definované stupnice nemá příliš cenu. Nicméně je to zatím asi jediná možnost, jak vyjádřit sílu

či intenzitu tornáda. Obecně platí, že pro klasifikaci jevu je rozhodující nejtěžší škoda zjištěná na dobře postavených stavbách (tedy nikoliv na chatrných) – bohužel toto kritérium může být opět značně subjektivní. Dále je nutné si uvědomit, že výsledná rychlost větru (a tedy způsobená škoda) je dána součtem rychlosti rotace tornáda a rychlosti jeho postupu – z čehož vyplývá, že na pravé straně stopy rychle postupujícího cyklonálně rotujícího tornáda lze očekávat škody výrazně větší než na levé straně stopy (u anticyklonálně rotujícího tornáda naopak). Současně však platí, že málo pohyblivé tornádo má více času na poškození či destrukci konkrétního objektu než rychle postupující tornádo – jinak řečeno, i slaběji rotující, ale pomalé tornádo může způsobit škody srovnatelné se silnějším, leč rychleji postupujícím tornádem. Z toho však vyplývá, že škody způsobené tornádem nejsou zdaleka úměrné pouze intenzitě jeho cirkulace... (tabulka a poznámky připraveny na základě [7, 15, 16]).

Literatura

- [1] Barták, Z – Kakos, V.: Průřez mračen na Plzeňsku dne 30. dubna 1975. Meteorol. Zpr., **34**, 1981, s. 90–93.
- [2] Brooks, H. – Doswell, C. A.: Some aspects of the international climatology of tornadoes by damage classification. Atmosph. Research, **56** (1-4), 2001, s. 191–201.
- [3] Dessens, J. – Snow, J. T.: Tornadoes in France. Weath. Forec., **4**, 1989, 110–132.
- [4] Doswell, C.A. – Burgess, D. W.: Tornadoes and tornadic storms: A review of conceptual models. The Tornado: Its Structure, Dynamics, Prediction, and Hazards (C. Church et al., Eds). Geophys. Monogr., **79**, Amer. Geophys. Union, 1993, s. 161–172.
- [5] Dotzek, N.: Tornadoes in Germany. Atmosph. Research, **56** (1-4), 2001, s. 233–251.
- [6] Holzer, A.: Tornado climatology of Austria. Atmosph. Research, **56** (1-4), 2001, s. 203–211.

- [7] Morgan, J. M. – Morgan, M. D.: Meteorology. The Atmosphere and the Science of Weather. 4th edition. New York, MacMillan College Publishing Company Inc. 1994. 517 s.
- [8] Munzar, J.: Tromby (tornáda) na území České republiky v letech 1119–1993. Zborník dejín fyziky XI, Vojenská akadémia SNP, Liptovský Mikuláš, 1993, s. 69–72.
- [9] Munzar, J.: Gregor Mendel – meteorolog. Čs. čas. fyz. A 31, 1981, s. 63–67.
- [10] Pavlík, J. – Kakos, V. – Strachota, J.: Ničivé krupobití a húlavy na území ČSR dne 18. 8. 1986. In: Práce a studie 14, Praha, ČHMÚ 1988.
- [11] Starostová, M –, Vavruška, F.: Silné bouřky v jižních Čechách. In: Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu 1991, sv. 40, s. 9–38.
- [12] Šálek, M.: Silné bouřky na Moravě spojené s výskytem tromby v obci Lanžhot dne 26.5. 1994. Meteorol. Zpr., **47**, 1994, č. 6, s. 172–177.
- [13] Šálek, M.: Výskyt tornáda u obce Studnice 19. dubna 2000. Meteorol. Zpr., **54**, 2001, č. 1, s. 8–15.

Internetové odkazy

- [14] Tornáda na území České republiky a Slovenska. Internetové stránky ČHMÚ, <http://www.chmi.cz/torna/>.
- [15] Tornado Project Online: The Fujita Scale. <http://www.tornadoproject.com/fjscale/fjscale.htm>
- [16] The TORRO Tornado Intensity Scale. <http://www.torro.org.uk/tnintens.htm>

Lektorka RNDr. D. Řezáčová, CSc., rukopis odevzdán v prosinci 2002.