

Szymon WALCZAKIEWICZ¹, Krzysztof OSTROWSKI²,
Artur SUROWIECKI³

1) Uniwersytet Szczeciński, Wydział Nauk o Ziemi, Instytut Nauk o Morzu, Zakład Klimatologii i Meteorologii
Morskiej, Szczecin

2) Politechnika Białostocka, Wydział Informatyki, Katedra Informatyki Teoretycznej, Białystok

3) Stowarzyszenie Skywarn Polska, Warszawa

Warunki synoptyczne występowania trąb powietrznych w Polsce w latach 2001-2010

Słowa kluczowe: trąba powietrzna, tornado, warunki synoptyczne, Polska.

Streszczenie

Celem niniejszej pracy była charakterystyka warunków meteorologicznych, w których rozwijały się trąby powietrzne na terenie Polski w latach 2001-2010. Analizowano zarówno sytuację synoptyczną panującą w czasie pojawienia się trąb (mapy dolne i górne), jak i radiosondażę aerologiczną położone możliwie blisko miejsca wystąpienia tych gwałtownych zjawisk. Ponadto, na podstawie danych ze stacji meteorologicznych, przeprowadzono badania dotyczące niedosytu wilgotności w przyziemnej warstwie powietrza w rejonie wystąpienia trąb powietrznych. Wyniki pracy wskazują, że trąbom powietrznym sprzyja środowisko podwyższonych pionowych uskoków wiatru i obniżonego poziomu kondensacji, co potwierdza dotychczasowe badania prowadzone głównie w USA.

1. Wstęp

Prekursorami badań nad trąbami powietrznymi byli naukowcy ze Stanów Zjednoczonych. Wiązało się to z licznymi wystąpieniami tych gwałtownych zjawisk na terenie tego kraju, czego przykładem może być Tornado Trzech Stanów (ang. *Tri-State Tornado*) (<http://www.crh.noaa.gov/pah/?n=1925tor>), które w 1925 roku spowodowało śmierć niemal 700 osób. Obserwacje radarowe z lat 50-tych XX w. pozwoliły na dokładniejsze badanie burz powodujących te zjawiska (Doswell, 1993). W latach 60-tych po raz pierwszy użyto terminu „superkomórka” (Browning, 1964) w celu wyodrębnienia struktur burzowych, które na obrazach radarowych różniły się wyglądem i zachowaniem od zwykłych komórek burzowych (cecha charakterystyczna superkomórek na mapach odbiciowości radarowej to m.in. kierunek poruszania odmienny od innych chmur Cb oraz sygnatura *hook echo*). Superkomórki to specyficzna odmiana komórek burzowych posiadających rotację w obrębie prądu wstępującego, czyli mezocyklon. Stwierdzono (Doswell, 1993), że odpowiadają one za większość przypadków wystąpienia trąb powietrznych. Dalsze badania (m.in. symulacje komputerowe) wykazały dużą rolę pionowych uskoków wiatru w formowaniu się superkomórek (Weisman i in., 1982 i 1984). Okazało się, że rozwojowi superkomórek i trąb powietrznych najbardziej sprzyja szybki wzrost prędkości wiatru wraz z wysokością oraz zmiana jego kierunku w dolnej troposferze. W innych pracach naukowych wykazano także istotną rolę niskiego poziomu kondensacji chmur kłębiastych (i niewielkich niedosytów wilgotności w dolnej troposferze) dla tworzenia się trąb powietrznych (Rasmussen i in., 1998, Markowski i in. 2002). Badano również mechanizmy

zachodzące w obrębie samej chmury Cb, które przyczyniają się do pojawienia się trąby powietrznej. Przykładowo, dużą rolę w genezie trąb powietrznych przypisuje się prądowi zstępującemu (ang. *rear flank downdraft*), który pojawia się w tylnej części superkomórki burzowej (m.in. Ludlam, 1963; Fujita, 1975; Burgess, 1977; Markowski P.M., 2001). Nadal jednak nie wszystkie zagadnienia związane z powstawaniem trąb powietrznych zostały wyjaśnione, a badania z nimi związane prowadzone są przez wiele ośrodków naukowych. Badania dotyczące tych gwałtownych zjawisk prowadzone są również w Polsce, na przykład opracowanie dotyczące trąb powietrznych z 15.08.2008 r. (Lorenc i in. 2008).

W literaturze Stanów Zjednoczonych i literaturze europejskiej zjawisko trąby powietrznej jest dość dobrze opisane. Jednak w Polsce prac poświęconych występowaniu trąb powietrznych oraz warunków ich powstawania jest niewiele. Dlatego praca miała na celu przybliżenie oraz częściowe uzupełnienie informacji z zakresu występowania trąb powietrznych w Polsce.

2. Dane i metody badawcze

Pod terminem trąba powietrza autorzy artykułu rozumieją wirujący gwałtownie słup powietrza głównie w postaci leja kondensacyjnego, który jednym końcem „wyrasta” zazwyczaj z podstawy chmury Cumulonimbus, a drugi koniec jest w kontakcie z powierzchnią ziemi. W artykule terminy „tornado” i „trąba powietrzna” zostały użyte naprzemiennie - oba odnoszą się do tego samego zjawiska. W opracowaniu analizowano 38 przypadków wystąpienia trąb powietrznych na terenie Polski w latach 2001-2010. Wykorzystano w tym celu raporty z Europejskiej Bazy Danych o Gwałtownych Zjawiskach Atmosferycznych (www.essl.org/ESWD), które mają status: potwierdzony lub w pełni zweryfikowany. Skupiono się wyłącznie na trąbach lądowych. Dolne mapy rozkładu ośrodków barycznych oraz frontów atmosferycznych nad Europą i wschodnią częścią Północnego Atlantyku, a także mapy górne poziomów 500 hPa, 700 hPa i 850 hPa pobrano z serwisu <http://www.wetterzentrale.de/> i <http://www.estofex.org>. Do wykreślenia radiosondaży posłużyły dane ze strony Uniwersytetu w Wyoming <http://weather.uwyo.edu/>. Wyliczenia parametrów konwekcyjnych zostały wykonane przez program napisany przez jednego z autorów. Dane ze stacji synoptycznych pobrano z serwisu www.ogimet.com. Dobór stacji synoptycznych i aerologicznych polegał na wybraniu stacji zlokalizowanej jak najbliżej miejsca, w którym wystąpiła trąba powietrzna. W przypadku stacji synoptycznych, dla każdego przypadku uśredniano dane o temperaturze powietrza i temperaturze punktu rosy z 3 najbliższych położonych stacji meteorologicznych, a pomiary były wykonywane do 3 godzin przed wystąpieniem zjawiska lub do 1 godziny po nim. W przypadku radiosondaży, kryterium była odległość co najwyżej 200 km od miejsca wystąpienia trąby oraz wykonanie pomiaru co najwyżej 6 godzin przed zjawiskiem lub do 3 godzin po nim. Przyjęte przez autorów kryteria doboru radiosondaży są podobne do tych stosowanych w publikacjach amerykańskich (Potvin C.K. i in. 2010). Parametry konwekcyjne wyliczano na podstawie powietrza unoszonego z warstwy przyziemnej (ang. *surface based* w skrócie SB).

3. Trąby powietrzne w Polsce w latach 2001-2010

Trąby powietrze w analizowanym okresie wystąpiły głównie w pasie od Opolszczyzny, Górnego Śląska, Małopolski przez Ziemię Łódzką, Mazowsze, Kujawy po Warmię, Mazury i Podlasie (rys. 3.1). Wiry powietrzne wystąpiły również na terenie Wielkopolski, Podkarpacia i Lubelszczyzny.



Rys.1. Miejsca wystąpienia tornada w Polsce w latach 2001-2010.

Źródło: kontury mapy - <http://www.gadm.org/>

Fig.1. Locations of tornado occurrences in Poland in 2001-2010

Najwięcej tornad (osiem przypadków) wystąpiło w województwie łódzkim. W województwie małopolskim i podlaskim naliczono po pięć przypadków, a w śląskim cztery. Najmniej tornad w badanym okresie (jeden przypadek) wystąpiło w województwie lubelskim i podkarpackim.

Siła tornad była zróżnicowana i w skali Fujity wahała się od F0 do F3 (tab.1). W jednym przypadku nie ma danych odnośnie siły trąby powietrznej. Aż 30 tornad zaliczono do wirów słabych i umiarkowanych (o sile F1 i F2). Trąby o sile F3 wystąpiły sześć razy w 10 letnim okresie badawczym, a 4 z tych przypadków zanotowano 15 sierpnia 2008 r., kiedy to nad Polską przechodziły burze z licznymi tornadami.

Tabela 1. Liczba przypadków wystąpienia trąby powietrznej w zależności od jej siły (wg skali Fujity) w Polsce w latach 2001-2010

Table 1. Number of tornado cases depending on its strength (according to the Fujita scale) in Poland in 2001-2010

Siła trąby powietrznej (skala Fujity)	F0	F1	F2	F3	Brak danych
Liczba przypadków	1	12	18	6	1

Ważnym elementem w analizie wystąpienia tornad są warunki meteorologiczne w dolnej i środkowej troposferze przedstawiane głównie przez mapy 850 hPa, 700 hPa i 500 hPa. Najwięcej trąb powietrznych (22 przypadki) formowało się w warunkach napływu powietrza z południowego-zachodu. Siedem przypadków zanotowano podczas adwekcji powietrza z północnego-zachodu (tab. 2). Warto zaznaczyć, że wszystkie zimowe przypadki analizowane w pracy występowały podczas adwekcji powietrza z zachodu i północnego-zachodu.

Tabela 2. Liczba przypadków wystąpienia trąby powietrznej w zależności od kierunku napływu powietrza w Polsce w latach 2001-2010**Table 2.** Number of tornado cases depending on the direction of air flow in Poland in 2001-2010

Kierunek adwekcji napływu powietrza w warstwie 500 – 700 hPa	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Suma
Liczba przypadków	0	3	0	4	1	22	1	7	38
Częstość [%]	0,0	7,9	0,0	10,5	2,6	57,9	2,6	18,4	100,0

Porównując kierunek napływu powietrza z siłą występujących tornad zauważono, że najsilniejszym trąbom sprzyja adwekcja powietrza z południowego-zachodu. Sytuacja taka miała miejsce podczas wszystkich tornad o sile F3 i 11 przypadków o sile F2

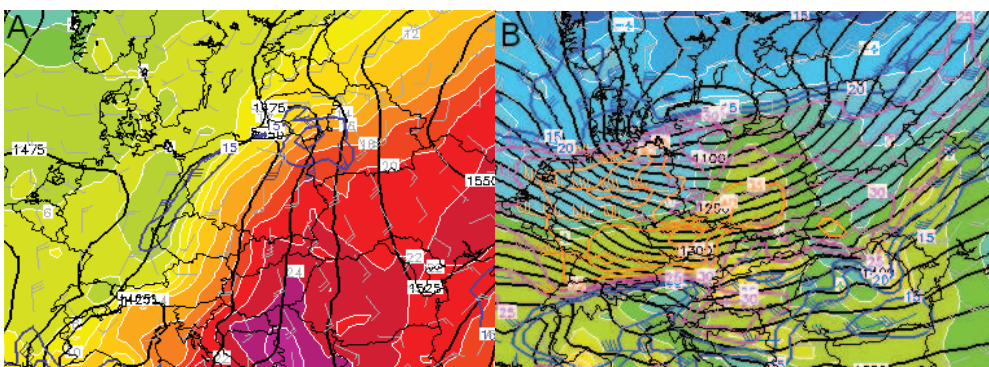
Analiza map dolnych i górnych wykazała pewne podobieństwa sytuacji synoptycznych, podczas których notowano wystąpienie tornad (tab.3). Z pośród analizowanych przypadków najczęściej z nich powstało w strefach frontalnych: front chłodny (29,0%) oraz front zafalowany (23,7%). Spora część trąb powietrznych miała miejsce blisko centrum niżu (15,8%) oraz na liniach zbieżności (13,2%). Można wnioskować, że obecność strefy frontalnej i/lub bliskość niżu dolnego to sytuacje kiedy trąby powietrzne powstają najczęściej. Analiza map górnych wykazała, że aż 55,3% przypadków wystąpiło w warunkach wzmożonego przepływu powietrza w środkowej troposferze, natomiast 23,7% przypadków stanowiły sytuacje, w których odnotowano wystąpienie krótkich fal górnych.

Tabela 3. Liczba przypadków wystąpienia trąby powietrznej w zależności od sytuacji meteorologicznej (mapy dolne) w Polsce w latach 2001-2010**Table 3.** Number of tornado cases depending on the meteorological situation in Poland in 2001-2010

Sytuacja synoptyczna	Front chłodny	Front zafalowany	Centrum niżu	Linia zbieżności	Obszar obniżonego ciśnienia	Front chłodny /centrum niżu
Liczba przypadków	11	9	6	5	4	3
Częstość [%]	29,0	23,7	15,8	13,2	10,5	7,9

Trąby powietrzne formowały się we wszystkich porach roku za wyjątkiem jesieni. Najwięcej ich wystąpiło podczas kalendarzowego lata i wiosny. W lecie odnotowano 24 przypadki wystąpienia tego zjawiska, a podczas wiosny 12. Również zimą na terenie naszego kraju możemy liczyć się z sytuacjami, podczas których pojawi się tornado. Tak było w styczniu 2007 r. i w lutym 2008 r. „Letnie” trąby powietrzne występowały głównie w rejonach południowych i centralnych Polski, natomiast te „wiosenne” głównie w północnych regionach Polski. 31 przypadków trąb powietrznych wystąpiło pomiędzy 12 UTC a 18 UTC, co stanowiło 82% wszystkich przypadków.

Rycina 2. przedstawia wybrane sytuacje synoptyczne podczas których wystąpiły trąby powietrzne w Polsce. Ilustracja 2 A przedstawia sytuację synoptyczną z 15.08.2008 r., podczas której w warunkach zafalowanego frontu atmosferycznego i przepływu powietrza z południa i południowego-zachodu powstało siedem groźnych trąb powietrznych. Natomiast jeden z dwóch zimowych przypadków (rys.2 B) trąb powietrznych w Polsce w latach 2001-2010 miał miejsce w warunkach bardzo silnego przepływu powietrza z zachodu (Orkan Kyril).



Rys.2. Sytuacja synoptyczna w Europie Środkowej w dniu 15.08.2008 r. (A) oraz 18.01.2010 r. (B)
Źródło: www.estofex.org

Fig.2. Synoptic situation in Central Europe on 15.08.2008 (A) and on 18.01.2010 r. (B)

4. Warunki aerologiczne w dniach wystąpienia trąb powietrznych

Spośród 38 przypadków wystąpienia trąb powietrznych, w 30 znaleziono spełniający kryteria odległości i czasu sondaż aerologiczny.

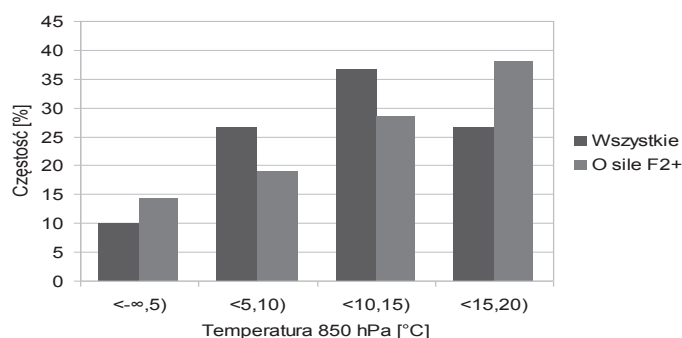
Rozpatrywane przypadki trąb powietrznych powstawały w dość zróżnicowanych termicznie masach powietrza, co widoczne jest w analizie temperatury powietrza na poziomie 850 hPa (tab. 4) (rys.3).

Tabela 4. Charakterystyki temperatury powietrza i niedosytu temperatury punktu rosy na wybranych poziomach barycznych w dniu wystąpienia tornad w Polsce w latach 2001-2010 (30 wybranych przypadków)

Table 4. The characteristics of air temperature and dew point depression on selected pressure levels on the days of tornado occurrences in Poland in 2001-2010 (30 selected cases)

Parametr	T 850 hPa [°C]	ΔT_d 850 hPa [°C]	T 700 hPa [°C]	ΔT_d 700 hPa [°C]	T 500 hPa [°C]	ΔT_d 500 hPa [°C]
Minimum	-2,6	0,7	-12,4	0,3	-30,8	1,1
Percentyl 10	4,5	1,2	-6,1	0,5	-22,9	1,9
Percentyl 25	7,0	1,8	-2,6	2,1	-19,5	2,1
Średnia	10,9	4,0	0,7	5,2	-15,4	8,3
Mediana	12,7	3,8	2,4	4,1	-13,6	4,2
Percentyl 75	15,0	4,7	4,9	7,0	-11,4	11,0
Percentyl 90	15,5	7,0	6,8	9,9	-9,4	22,4
Maksimum	19,8	14,0	8,4	25,0	-7,2	29,0

Legenda: T – temperatura powietrza; ΔT_d – niedosyt temperatury punktu rosy



Rys.3. Częstość występowania trąb powietrznych w Polsce w latach 2001-2010 w zależności od wartości temperatury na poziomie 850 hPa.

Fig.3. The incidence of tornadoes in Poland in 2001-2010 depending on of 850 hPa temperature

Zwracają uwagę niewielkie niedosyty wilgotności występujące na poziomach 850 hPa i 700 hPa. Dla poziomu 850 hPa w 90% przypadków są to wartości niższe od 7,0°C, a dla wysokości 700 hPa w 90% przypadków są to wartości niższe od 9,9°C. Na poziomie 500 hPa - na ogół różnice między temperaturą i temperaturą punktu rosy są małe lub umiarkowane (od 2,1°C do 11,0°C), jednak zdarzały się też przypadki znacznych niedosytów temperatury punktu rosy (7-krotnie powyżej 15,0°C), co pokazuje, że suche powietrze w tej warstwie troposfery nie ogranicza możliwości rozwoju trąb powietrznych.

Tabela 5. Charakterystyki prędkości wiatru na wybranych poziomach barycznych oraz uskoku wiatru z wybranych warstw troposfery w dniach wystąpienia tornad w Polsce w latach 2001-2010 (30 wybranych przypadków).

Table 5. The characteristics of the wind speed on selected pressure levels and shear parameter from selected layers of the troposphere on the days of tornado occurrences in Poland in 2001-2010 (30 selected cases).

Parametr	Wiatr 850 hPa [m/s]	Wiatr 700 hPa [m/s]	Wiatr 500 hPa [m/s]	Wiatr 300 hPa [m/s]	Wiatr 0-6 km [m/s]	Uskok 0-6 km [m/s]	Uskok 0-1 km [m/s]	SRH 0-3 km [m ² /s ²]	SRH 0-1 km [m ² /s ²]
Minimum	3,1	4,1	3,1	6,2	4,1	4,4	1,9	42	17
Percentyl 10	5,0	7,1	10,3	10,8	7,2	10,4	4,2	58	38
Percentyl 25	7,6	13,7	17,5	18,0	12,6	16,4	5,8	109	59
Średnia	11,8	17,6	22,1	25,5	16,3	20,6	8,9	192	110
Mediana	11,8	18,5	22,1	25,2	16,3	22,7	7,3	169	106
Percentyl 75	14,7	21,0	27,4	34,0	20,1	25,6	10,3	256	152
Percentyl 90	17,2	25,4	31,0	38,1	22,7	27,0	16,5	342	169
Maksimum	30,9	43,7	48,9	52,0	37,6	40,7	22,1	475	238

Legenda: SRH 0-1 km (ang. Storm Relative Helicity) – parametr będący miarą wzrostu prędkości wiatru i zmiany jego kierunku wraz z wysokością w dolnym kilometrze troposfery; SRH 0-3 km - parametr będący miarą wzrostu prędkości wiatru i zmiany jego kierunku wraz z wysokością w dolnych 3 km troposfery.

Analizując zmiany prędkości wiatru wraz z wysokością zwraca uwagę na ogół podwyższona prędkość wiatru w środkowej i górnej troposferze (tab. 5). Przykładowo, na poziomie 500 hPa średnia prędkość wiatru wynosi 22,1 m/s, a 75% przypadków wiąże się z wiatrem o prędkości ponad 17,5 m/s. Średni wiatr z dolnych 6 km troposfery kształtuje się na ogół w granicach 13-20 m/s. Również pionowe uskoki wiatru przyjmują na ogół duże wartości, co jest zgodne z licznymi pracami m.in. Weisman, Klemp (1982) czy Thompson i in. (2003) oraz Craven J.P., Brookes H.E. (2004). Zaznacza się przewaga przypadków występujących w warunkach dużych pionowych uskoków wiatru (uskok wiatru 0-6 km co najmniej 20 m/s i SRH 0-3 km co najmniej 200 m²/s²), co jest szczególnie widoczne dla tornad o sile F2+ (rys. 4). Przykładem może być dzień 15.08.2008, w którym wystąpiły najbardziej niszczycielskie trąby ostatnich 10 lat. W dniu tym warunki kinematyczne były na poziomie 75-go percentyla lub wyższym (rys. 4) – występował wówczas zarówno skręt wiatru w dolnej troposferze jak i silny wzrost jego prędkości (SRH (0-3 km) 256 m²/s², wiatr 34 m/s na 300 hPa, 31 m/s na 500 hPa).

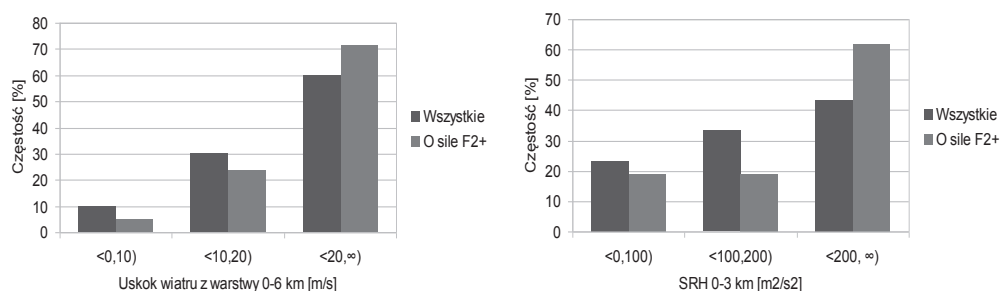
Rozwój trąb powietrznych następował zwykle w warunkach umiarkowanej lub małej chwiejności termodynamicznej (jednak zakres wartości SB CAPE jest dosyć szeroki) i niewielkiej energii hamowania konwekcji (SB CIN w ponad połowie przypadków wynosił 0 J/kg, a jego najniższa wartość wyniosła -80 J/kg) (tab.6). Należy jednak zauważyć, że kilka przypadków silnych trąb powietrznych wiązało się z umiarkowaną warstwą hamującą (SB CIN od -70 J/kg do -80 J/kg). 90 % przypadków trąb powietrznych była związane z niskim lub umiarkowanie niskim poziomem kondensacji (SB LCL ≤ 1380 m). Zwraca również uwagę niski lub umiarkowany poziom swobodnej konwekcji (SB LFC). Należy jednak zaznaczyć, że chwiejność termodynamiczna czy poziom kondensacji występujące w czasie wykonania sondażu mogą różnić się od tych występujących bezpośrednio przed przejściem trąby – szczególnie zmiennym elementem meteorologicznym wpływającym na oba te parametry jest temperatura punktu rosy.

Tabela 6. Charakterystyki wybranych parametrów konwekcyjnych w dniach wystąpienia tornad w Polsce w latach 2001-2010 (30 wybranych przypadków)

Table 6. Characteristics of selected convection parameters on the days of tornado occurrences in Poland in 2001-2010 (30 selected cases)

Parametr	SB CAPE [J/kg]	SB LI [°C]	SB CIN [J/kg]	SB LCL [m]	SB LFC [m]	SB CAPE 0-3 km [J/kg]
Minimum	0	-5,2	-80	90	380	0
Percentyl 10	0	-4,8	-80	108	623	0
Percentyl 25	118	-3,8	-38	305	758	0
Średnia	676	-1,4	-21	785	1611	88
Mediana	640	-3,0	0	690	1340	40
Percentyl 75	1225	-0,5	0	1305	2440	168
Percentyl 90	1384	4,2	0	1380	3021	250
Maksimum	1880	6,2	0	1850	3030	270

Legenda: SB (ang. surface based) – skrót oznaczający, że do obliczenia danego parametru brana jest cząstka z nad powierzchni ziemi (2 m); CAPE – energia konwekcji; LI – liftet index; CIN– energia hamująca konwekcję; LCL – poziom kondensacji; LFC – poziom swobodnej konwekcji; CAPE 0-3 km – energia konwekcji dostępna w dolnych 3 km troposfery.



Rys. 4. Częstość występowania trąb powietrznych w Polsce w latach 2001-2010 w zależności od wielkości uskoku wiatru z warstwy 0-6 km oraz parametru SRH 0-3 km

Fig. 4. The incidence of tornadoes in Poland in 2001-2010 depending on 0-6km shear and SRH 0-3km

5. Warunki meteorologiczne w dolnej troposferze

Na stacjach meteorologicznych położonych w pobliżu wystąpienia trąb powietrznych zebrano dane o temperaturze powietrza i temperaturze punktu rosy (tab. 7). Na podstawie tych danych został obliczony niedosyt wilgotności, który jest różnicą między temperaturą powietrza, a temperaturą punktu rosy. Znając niedosyt wilgotności, możemy w przybliżeniu wyliczyć wysokość poziomu kondensacji (SB LCL), przy założeniu, że powietrze zasilające prąd wstępujący chmury burzowej pochodziło z warstwy przyziemnej. 1°C niedosytu wilgotności odpowiada około 125 metrów wysokości poziomu kondensacji.

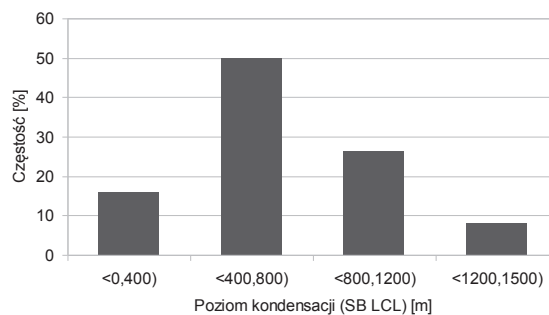
Tabela 7. Charakterystyki wybranych elementów meteorologicznych z warstwy przyziemnej (na 2 m) i poziomu kondensacji w dniach wystąpienia tornad w Polsce w latach 2001-2010 (38 wybranych przypadków)

Table 7. Characteristics of lifted condensation level (SB LCL) and selected meteorological elements from a ground-level (at 2 m) on the days of tornado occurrences in Poland in 2001-2010 (38 selected cases)

Parametr	Temperatura [°C]	Punkt rosy [°C]	Niedosyt wilgotności [°C]	SB LCL [m]
Minimum	7,7	5,1	1,9	233
Percentyl 10	14,4	10,9	2,6	325
Percentyl 25	17,5	12,2	4,0	500
Średnia	21,2	15,6	5,6	700
Mediana	21,6	16,8	4,8	600
Percentyl 75	25,0	19,1	7,1	887
Percentyl 90	27,1	20,5	9,0	1125
Maksimum	30,8	21,3	11,8	1471

Trąby powietrzne występujące w Polsce pojawiają się zwykle w warunkach niedużego niedosytu wilgotności, co potwierdza wyniki badań z USA (Rasmussen i in., 1998; Markowski i in., 2002). Dwie trzecie przypadków trąb powietrznych wystąpiło w warunkach niskiego poziomu kondensacji (SB LCL <800 m), a najwięcej przypadków (50%) trąb powietrznych odnotowano przy poziomie kondensacji 400-800 m (rys. 5.1). Rzadko natomiast (10%

przypadków) notowano trąby powietrzne przy niedosyć większym od 9°C (SB LCL > 1125 m). Te nieliczne przypadki obserwowano zazwyczaj w lipcu, gdy temperatura przekraczała 30°C przy temperaturze punktu rosy osiagającym 19-20°C. Godnym uwagi przypadkiem trąby powietrznej przy podwyższonym niedosyć wilgotności (11°C) było zdarzenie z 20 lipca 2007 z gminy Kłomnice koło Częstochowy. Podobne warunki wystąpiły 2 dni później w woj. lubelskim, gdzie pojawiły się 2 trąby powietrzne. Połowa przypadków trąb miała miejsce przy temperaturze punktu rosy przekraczającym 16,8°C. Tak wysoka temperatura punktu rosy jest spotykana zazwyczaj późną wiosną i latem. Warto jednak zauważyć, że w dniu 15.08.2008, kiedy wystąpiła seria trąb powietrznych w Polsce, wartości niedosytu wilgotności były dość niskie mimo całkiem wysokiej temperatury powietrza. Tego dnia w okolicach występowania trąb powietrznych temperatura punktu rosy osiagała nadzwyczaj wysoką wartość 20-22°C, a chwiejność termodynamiczna była znacznie większa, niż wskazywał sondaż z Prostejowa. Ciekawymi przypadkami trąb powietrznych w Polsce są te, które występowały w miesiącach zimowych. Zawsze były one poprzedzone występowaniem zarówno dość wysokich wartości, jak na tę porę roku, temperatury powietrza, jak i temperatury punktu rosy. Nocne przypadki trąb powietrznych występują o wiele rzadziej. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest radiacyjne wychładzanie się warstwy granicznej. Powoduje to powstanie stabilnej warstwy powietrza i znacznie redukuje szanse uformowania się trąb. Dlatego nocne trąby powietrze występują na ogół tylko w szczególnych przypadkach, np. gdy pojawia się głęboki i aktywny niż z systemem frontów w warunkach zachodniej i północno-zachodniej cyrkulacji powietrza (np. zdarzenia z dni 05.09.2006, 18.01.2007 i 22/23.02.2008). W przypadku nocnych trąb powietrznych średnie niedosyć wilgotności z rejonu miejsc zdarzenia utrzymują się na poziomie od 2,7°C do 5,2°C.



Rys. 5. Częstość występowania trąb powietrznych w Polsce w latach 2001-2010 w zależności od poziomu kondensacji (SB LCL)

Fig. 5. The incidence of tornadoes in Poland in 2001-2010 depending on lifted condensation level (SB LCL)

6. Podsumowanie

Wyniki pracy wskazują, że trąbom powietrznym w Polsce sprzyja środowisko podwyższonych pionowych uskoków wiatru i obniżonego poziomu kondensacji. Ponadto, tornada rozwijają się na ogół w warunkach umiarkowanej i niskiej energii konwekcji oraz dużej wilgotności powietrza w dolnej troposferze. Dodatkowo trąbom powietrznym sprzyja adwekcja mas powietrza z kierunków południowych, a ich większość formuje się w pobliżu chłodnych lub zafalowanych frontów atmosferycznych. Duża część wyników badań jest zgodna z rezultatami otrzymanymi w Stanach Zjednoczonych.

Literatura

- [1] Browning, K.A., 1964: Airflow and precipitation trajectories within severe local storms which travel to the right of the winds. *J. Atmos. Sci.*, 22, 664-668.
- [2] Burgess, D. W., Brown R. A., Lemon L. R., Safford C. R., 1977: Evolution of a tornadic thunderstorm. Preprints, 10th Conf. On Severe Local Storms, Omaha, NE, Amer. Meteor. Soc., 84–89.
- [3] Charles A. Doswell, Steven J. Weiss, Robert H. Johns, 1993: Tornado Forecasting: A Review, The Tornado: Its Structure, Dynamics, Prediction, and Hazards (C. Church et al., Eds.), Geophysical Monograph 79, Amer. Geophys. Union, 557-571.
- [4] Craven J. P., Brooks H. E., 2004: Baseline climatology of sounding-derived parameters associated with deep moist convection. *Nat. Wea. Dig.*, 28, 13-24.
- [5] Fujita T. T., 1975: New evidence from the April 3–4, 1974 tornadoes. Preprints, Ninth Conf. on Severe Local Storms, Norman, OK, Amer. Meteor. Soc., 248–255.
- [6] Lorenc H., Bocheński J., Kielar R., Ordak A., Dziedzic A., Zawisłak T., Dąbrowska-Sakowicz B., Siemieniu T., Tuszyńska I., Konarski J., Mazur A., Jerczyński M., Struzik P., Pajek M., 2008: Trąby powietrzne i burze w Polsce w dniach 15 i 16 sierpnia 2008 r., www.imgw.pl.
- [7] Ludlam F. H., 1963: Severe Local Storms: A review. *Severe Local Storms, Meteor. Monogr.*, No. 27, 1–30.
- [8] Markowski P.M., 2001: Hook echoes and rear-flank downdrafts: A review, *Monthly Weather Review*, vol. 130, no. 4, pp. 852–876.
- [9] Markowski P. M., Straka J. M., Rasmussen E. N., 2002: Direct surface thermodynamic observations within rear-flank downdrafts of nontornadic and tornadic supercells. *Mon. Wea. Rev.*, 130, 1692–1721.
- [10] Potvin C.K., Elmore K.L., Weiss S.J., 2010: Assessing the Impacts of Proximity Sounding Criteria on the Climatology of Significant Tornado Environments, *Wea. Forecasting*, 25, 921–930.
- [11] Rasmussen E. N., Blanchard D. O., 1998: A baseline climatology of sounding-derived supercell and tornado forecast parameters. *Wea. Forecasting*, 13, 1148-1164.
- [12] Thompson R. L., Edwards R., Hart J. A., Elmore K. L., Markowski P., 2003: Close proximity soundings within supercell environments obtained from the Rapid Update Cycle. *Wea. Forecasting*, 18, 1243-1261.
- [13] Weisman M.L., Klemp J.B., 1982: The dependence of numerically simulated convective storms on vertical wind shear and buoyancy. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 504-520.
- [14] Weisman M.L., Klemp J.B., 1984: The structure and classification of numerically simulated convective storms in directionally varying wind shears. *Mon. Wea. Rev.*, 112, 2479-2498.
- [15] <http://www.crh.noaa.gov/pah/?n=1925tor>
- [16] <http://www.wetterzentrale.de>
- [17] <http://www.ogimet.com>
- [18] <http://www.estofex.org>
- [19] www.essl.org/ESWD
- [20] <http://weather.uwyo.edu>

Synoptic conditions of tornado occurrences in Poland in 2001-2010

Keywords: tornado, synoptic conditions, Poland

The purpose of this work was to characterize meteorological conditions associated with tornado occurrence in Poland in 2001-2010. Both synoptic situation (surface and upper air maps) and proximity soundings were analysed. In addition, surface dew point depressions in tornado area were studied, based on observations from meteorological stations. Results indicate that environment with increased vertical wind shear and low LCL is conducive to tornado formation, which confirms previous research carried out mainly in the USA.