

SŁAWOMIR SZOT

(UNIWERSYTET JAGIELLOŃSKI)

## SYNOPTYCZNE UWARUNKOWANIA ZJAWISK NIEBEZPIECZNYCH DLA LOTNICTWA

### WSTĘP

Powszechnie wiadomo, że lotnictwo jest w dużej mierze uzależnione od pogody. Część zjawisk atmosferycznych, a także skrajne wartości niektórych elementów meteorologicznych znaczenie komplikują, a często wręcz uniemożliwiają wykonywanie operacji lotniczych. Ponadto stanowią zagrożenie zarówno dla statku powietrznego, jak i dla znajdującego się na jego pokładzie człowieka. Jako pierwsi przekonywali się o tym prekursorzy lotnictwa, którym silny wiatr niejednokrotnie utrudniał pionierskie loty<sup>1</sup>. W miarę rozwoju awiacji, gdy statki powietrzne zaczynały latać coraz dalej i coraz wyżej, wiatr stał się tylko jednym z wielu elementów meteorologicznych i zjawisk pogody determinujących realizację zadań lotniczych. Większość autorów wyróżnia najczęściej ograniczoną widzialność, niską podstawę chmur, silny wiatr, burzę, oblodzenie, uskok wiatru oraz turbulencję<sup>2</sup>. Według danych Międzynarodowej Organizacji Lotnictwa Cywilnego (ICAO) jedną z przyczyn około 40% wypadków lotniczych jest pogoda<sup>3</sup>. Istnieje więc uzasadniona potrzeba skutecznego prognozowania zjawisk

---

<sup>1</sup> D. Simons, T. Withington, *Historia lotnictwa*, Bath 2008, s. 384.

<sup>2</sup> M. Wickson, *Meteorology for Pilots*, Shrewsbury 1997, s. 348; H. Jafernik, Z. Wilczek, J. Ziarko, *Meteorologiczna osłona działań lotnictwa*, Warszawa 2000, s. 324; M. Ostrowski, *Meteorologia dla lotnictwa sportowego*, Warszawa 2004, s. 387; P. F. Lester, *Aviation Weather*, Englewood 2007, s. 466; P. Szewczak, *Meteorologia dla pilota samolotowego*, Poznań 2010, s. 532.

<sup>3</sup> M. Ostrowski, op. cit., s. 387.

oraz wartości elementów meteorologicznych niebezpiecznych dla lotnictwa. Jest ono jednakowoż możliwe dopiero po poznaniu przyczyn ich występowania.

Dotychczasowe badania wskazują, że występowanie zjawisk oraz określonych wartości elementów meteorologicznych jest w dużym stopniu uwarunkowane cyrkulacją atmosfery<sup>4</sup>. Takimi zależnościami w skali lokalnej i regionalnej zajmuje się klimatologia synoptyczna, w której wyróżnia się dwa zasadnicze etapy badań. Pierwszym z nich jest wydzielenie typów cyrkulacji atmosfery, a drugim określenie dla nich wartości elementów meteorologicznych<sup>5</sup>. Pierwszy z wymienionych etapów badań synoptyczno-klimatologicznych został zrealizowany przez autorów wielu klasyfikacji typów cyrkulacji. W przypadku Polski należy wyróżnić klasyfikacje J. Lityńskiego, B. Osuchowskiej-Klein, T. Niedźwiedzia, Z. Ustrnula, a także Grosswetterlagen<sup>6</sup>. Ta ostatnia przeznaczona jest do oceny warunków cyrkulacyjnych w Europie Środkowej. Drugi etap badań, czyli powiązanie zjawisk i elementów meteorologicznych z typami cyrkulacji, był i nadal jest realizowany przez wielu badaczy. Ich prace dotyczą najczęściej związków między cyrkulacją atmosferyczną a temperaturą powietrza<sup>7</sup> oraz opadami atmosferycznymi<sup>8</sup>. Powstały również opracowania dotyczące niemal wszystkich elementów klimatologicznych<sup>9</sup>. Niestety, nie można wśród nich

<sup>4</sup> R. G. Barry, A. M. Carleton, *Synoptic and Dynamic Climatology*, London–New York 2001, s. 620; Z. Ustrnul, D. Czekierda, *Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych w Polsce*, Warszawa 2009, s. 182.

<sup>5</sup> R. G. Barry, A. H. Perry, *Synoptic Climatology, Methodes and Applications*, London 1973, s. 555.

<sup>6</sup> Z. Ustrnul, D. Czekierda, op. cit., s. 182.

<sup>7</sup> K. Kożuchowski, E. Żmudzka, *Cyrkulacja atmosferyczna i jej wpływ na zmienność temperatury powietrza w Polsce*, „Przegląd Geograficzny” 2002, nr 74, s. 591–604; E. Łupikasza, Z. Bielec-Bąkowska, *Synoptyczne uwarunkowania dni ekstremalnych pod względem termicznym w Małopolsce w drugiej połowie XX wieku*, „Folia Geographica ser. Geographica-Physica” 2004–2005, nr 35–36, s. 113–131; M. Panfil, *Duże zmiany międzydobowe temperatur ekstremalnych w drugiej połowie XX wieku*, „Acta Agrophysica” 2007, nr 10 (3), s. 649–658.

<sup>8</sup> E. Cebulak, *Wpływ sytuacji synoptycznej na maksymalne opady dobowe w dorzeczu górnej Wisły*, „Folia Geographica ser. Geographica-Physica” 1992, nr 23, s. 81–95; R. Twardosz, *Wieloletnia zmienność sum dobowych opadów w Krakowie w powiązaniu z sytuacjami synoptycznymi*, „Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne” 2000, nr 105, s. 19–72.

<sup>9</sup> T. Niedźwiedź, *Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły*, Kraków 1981, s. 165; W. Chelmiecki, M. Klimek, *Związek między sytuacjami synoptycznymi a pH opadów atmosferycznych w Łazach na Pogórzu Wielickim*, „Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne” 1995, nr 100, s. 47–53; Z. Bielec, *Przebieg dobowy i charakterystyka synoptyczna burz w Krakowie w latach 1896–1995*, „Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne” 2000, nr 105, s. 73–83; D. Matuszko, *Frequency of Occurrence of Particular Cloud Genera at Noon and During Certain Synoptic Situations in Cracow*, „Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne” 2000, nr 105, s. 85–110; E. Bednorz, *Pokrywa śnieżna a kierunki napływu mas powietrza w Polsce północno-zachodniej*, Poznań 2001, s. 132; A. Wypych, *Air Humidity and Fogs in Cracow in the Period 1961–2000 in Relation to Synoptic Situations*, „Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne” 2003, nr 112, s. 105–114; K. Piotrowicz, R. Bąkowski, M. Kozłowski, *Energia wiatru w wy-*

znaleźć rozpraw dotyczących stricte meteorologii lotniczej. Wynika to częściowo z braku danych (głównie na temat oblodzenia, uskoków wiatru oraz turbulencji), a także z niewielkiego zainteresowania tą problematyką wśród klimatologów. Dostępne są jednocześnie profesjonalne dane dotyczące pozostałych, istotnych z punktu widzenia awiacji, zjawisk i elementów pogody, takich jak widzialność, wysokość podstawy chmur, prędkość wiatru oraz burza. W związku z powyższym celem niniejszej pracy jest określenie wpływu sytuacji synoptycznych, a konkretnie typów cyrkulacji, na występowanie ograniczonej widzialności, niskiej podstawy chmur, silnego wiatru oraz burz.

## MATERIAŁY I METODA OPRACOWANIA

W pracy wykorzystano dane meteorologiczne z lat 1996–2005, pochodzące ze stacji synoptycznej Kraków-Balice zlokalizowanej na terenie lotniska i należącej do sieci Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW). Dane uzyskano w formie (i) najmniejszych dobowych wartości widzialności poziomej, (ii) najmniejszych dobowych wartości wysokości podstawy chmur, (iii) największych dobowych wartości średniej 10-minutowej prędkości wiatru oraz (iv) listy dni, w których przynajmniej jeden raz zanotowano burzę. Najmniejsze i największe wartości dobowe wyznaczano na podstawie 24 terminów pomiarowych.

Do przeprowadzenia badań nad cyrkulacyjnymi uwarunkowaniami wymienionych zjawisk i elementów pogody wykorzystano kalendarz T. Niedźwiedzia<sup>10</sup>, w którym podstawą wydzielenia typów cyrkulacji jest kierunek adwekcji oraz rodzaj dominującego układu barycznego. Kalendarz ten liczy 21 typów cyrkulacji, przy czym w rozpatrywanym dziesięcioleciu powtarzalność niektórych jest zbyt mała, aby obliczać dla nich charakterystyki statystyczne. W związku z tym, zgodnie zresztą z sugestią twórcy kalendarza<sup>11</sup>, zredukowano ich liczbę do 11 poprzez łączenie typów pokrewnych. Wyjaśnienie znaczenia symboli typów cyrkulacji zamieszczono w opisie ryc. 1.

Za podstawę do przeprowadzenia niezbędnych obliczeń przyjęto, podobnie jak w wielu opracowaniach klimatologicznych, liczbę dni charakterystycznych, tj. dni z poszczególnymi zjawiskami atmosferycznymi oraz z określonymi wartościami wybranych elementów meteorologicznych. Dni charakterystyczne wyznaczono na podstawie poniższych kryteriów:

---

*branych sytuacjach synoptycznych w południowo-wschodniej Polsce*, „Folia Geographica ser. Geographica-Physica” 2004–2005, nr 35–36, s. 133–151; W. Wiązewski, R. Bąkowski, *Sytuacje synoptyczne sprzyjające występowaniu mgieł na lotnisku Kraków-Balice*, [w:] *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, red. K. Piotrowicz, R. Twardosz, Kraków 2007, s. 337–345.

<sup>10</sup> T. Niedźwiedź, *Kalendarz typów cyrkulacji atmosfery dla Polski południowej – zbiór komputerowy*, Uniwersytet Śląski, Katedra Klimatologii, Sosnowiec 2013.

<sup>11</sup> Idem, *Sytuacje...*, op. cit., s. 165.

- dzień z ograniczoną widzialnością: doba, w której przynajmniej w jednym z 24 terminów pomiarowych widzialność pozioma była mniejsza niż 1000 m;
- dzień z niską podstawą chmur: doba, w której przynajmniej w jednym z 24 terminów pomiarowych wysokość podstawy chmur była mniejsza lub równa 200 m n.p.g.;
- dzień z silnym wiatrem: doba, w której przynajmniej w jednym z 24 terminów pomiarowych średnia 10-minutowa prędkość wiatru była równa lub przekroczyła  $10 \text{ ms}^{-1}$ ;
- dzień z burzą: doba, w której przynajmniej jeden raz zaobserwowano burzę.

Kryterium dnia z burzą jest powszechnie wykorzystywane w klimatologii<sup>12</sup> i nie wymaga szczegółowego komentarza. W przypadku ograniczonej widzialności, niskiej podstawy chmur oraz silnego wiatru kierowano się koniecznością postawienia progu stanowiącego utrudnienie dla ruchu lotniczego podczas startu i lądowania. Niestety nie udało się przyjąć progów mających uniwersalne zastosowanie, gdyż szczegółowe warunki meteorologiczne wymagane do wykonania danej operacji lotniczej są zróżnicowane. Zależą one od rodzaju statku powietrznego, jego wyposażenia, stopnia wyszkolenia pilotów, a także przepisów wykonywania lotów (IFR lub VFR). Przyjęto więc kryteria wynikające częściowo z doświadczeń lotniczych autora. Wzięto również pod uwagę podstawową definicję mgły<sup>13</sup>, a także popularną w klimatologii klasyfikację prędkości wiatru W. Parczewskiego<sup>14</sup>. Ponieważ mgła stanowi najczęstszą przyczynę ograniczenia widzialności poziomej poniżej 1000 m, w kolejnych rozdziałach zamiast pojęcia „ograniczona widzialność” stosowano pojęcie „mgła”.

W zasadniczej części pracy każdej dobie z poszczególnymi dniami charakterystycznymi przypisano występujący typ cyrkulacji. Następnie obliczono prawdopodobieństwo wystąpienia dni charakterystycznych przy poszczególnych typach cyrkulacji. Analizę przeprowadzono dla roku oraz dla poszczególnych sezonów, które wyznaczono na podstawie kryterium kalendarzowego. Wyjątek stanowią burze, w przypadku których analizę przeprowadzono wyłącznie dla okresu ich najczęstszego występowania (od kwietnia do września włącznie).

---

<sup>12</sup> Z. Bielec-Bąkowska, *Zróżnicowanie przestrzenne i zmienność wieloletnia występowania burz w Polsce*, Katowice 2002, s. 160.

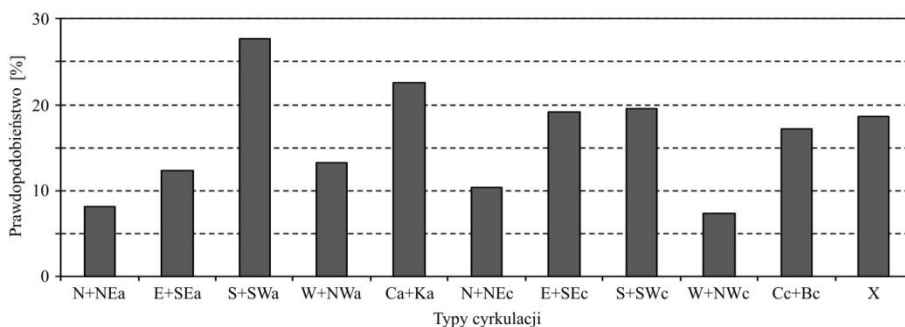
<sup>13</sup> *Słownik meteorologiczny*, red. T. Niedźwiedz, Warszawa 2003, s. 496.

<sup>14</sup> W. Parczewski, *Klasyfikacja przedziałów prędkości wiatru w zastosowaniu do opracowań klimatycznych i bioklimatycznych*, „Przegląd Geofizyczny” 1960, nr 2, s. 117–122.

## DNI Z MGŁĄ

Widzialność jest jednym z najważniejszych elementów meteorologicznych determinujących stopień trudności wykonywania operacji lotniczych<sup>15</sup>. Ograniczenie widzialności poniżej 1000 m, spowodowane zawiesiną kropelek wody lub kryształków lodu w przyziemnej warstwie powietrza, określane jest mianem mgły. W latach 1996–2005 na lotnisku Kraków-Balice wystąpiło 576 dni z mgłą, czyli około 58 dni rocznie. Mgła występowała najczęściej w chłodnej połowie roku – jesienią notowano średnio 22 dni z tym zjawiskiem, a zimą około 19 dni. Zdecydowanie rzadziej występowała ona wiosną (10 dni) i latem (8 dni). Największym prawdopodobieństwem wystąpienia dnia z mgłą (ryc. 1) charakteryzowały się typy cyrkulacji S+SWa (27,7%) oraz Ca+Ka (22,6%). Nieco mniejsze prawdopodobieństwo towarzyszyło typom S+SWc oraz E+SEc (po około 19%), a także typowi Cc+Bc (17,2%). Dni z mgłą występowały z najmniejszym prawdopodobieństwem podczas adwekcji powietrza z północy oraz z zachodu.

Ryc. 1. Prawdopodobieństwo [%] wystąpienia dnia z mgłą przy poszczególnych typach cyrkulacji w Krakowie-Balicach w latach 1996–2005 (N, NE... – kierunek adwekcji, a – sytuacje antycyklonalne, c – sytuacje cyklonalne, Ca – centrum wyżu, Ka – klin wyżowy, Cc – centrum niżu, Bc – bruzda niżowa, X – typ nieokreślony i siodła baryczne; objaśnienia dotyczą wszystkich rycin)



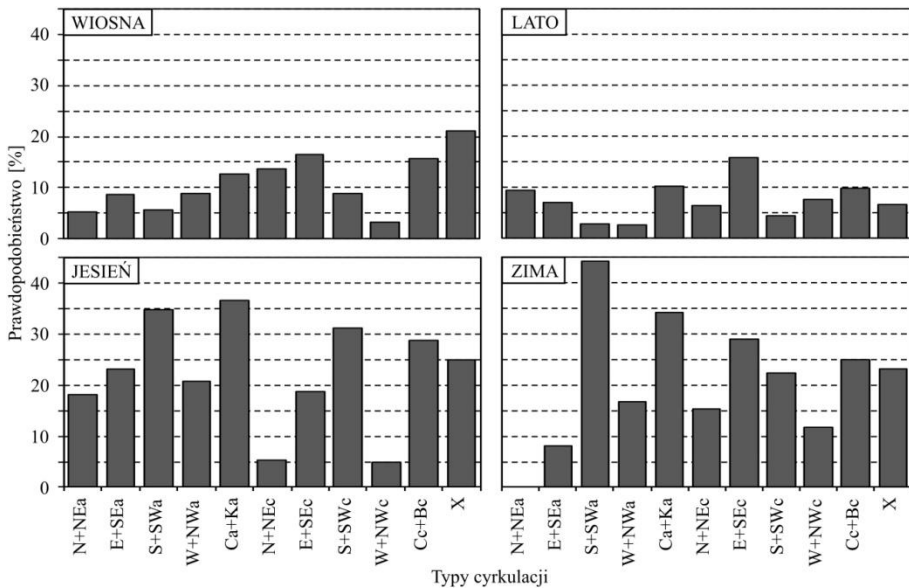
Źródło: Opracowanie własne.

Podział na sezony (ryc. 2) wskazuje, iż wyraźnie wyższe prawdopodobieństwo występowało jesienią i zimą. Wynika to głównie z większej częstości formowania się mgły w tej połowie roku. Wiosną i latem prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z mgłą przy poszczególnych typach cyrkulacji było mało zróżnicowane i w żadnym przypadku, z wyjątkiem typu nieokreślonego (X), nie

<sup>15</sup> J. Domicz, L. Szutowski, *Podręcznik pilota samolotowego*, Poznań 2004, s. 485.

przekroczyło 20%. Jesienią omawiane prawdopodobieństwo było większe podczas sytuacji antycyklonalnych. Osiągało najwyższe wartości podczas występowania centrum wyżu i klina wyżowego (36,6%), a także podczas adwekcji powietrza z południa i południowego zachodu, związanej tak z układem antycyklonalnym (34,7%), jak i cyklonalnym (31,1%). Dużym prawdopodobieństwem charakteryzował się również typ cyrkulacji Cc+Bc (28,7%). W sezonie zimowym prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z mgłą było największe podczas typu cyrkulacji S+SWa (44,2%). Duże wartości osiągało również w przypadku typów Ca+Ka (34,1%) oraz E+SEc (29,0%). W pozostałych przypadkach, z wyjątkiem typu Cc+Bc, prawdopodobieństwo nie osiągało 25%.

Ryc. 2. Prawdopodobieństwo [%] wystąpienia dnia z mgłą przy poszczególnych typach cyrkulacji w Krakowie-Balicach w latach 1996–2005 (pory roku)



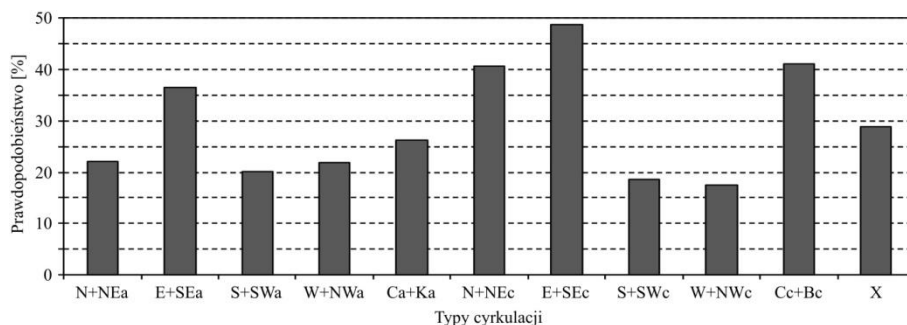
Źródło: Opracowanie własne.

## DNI Z NISKĄ PODSTAWĄ CHMUR

Wysokość podstawy chmur należy pojmować jako odległość między powierzchnią terenu a dolną granicą zasięgu chmur<sup>16</sup>. Niska podstawa chmur utrudnia przelot pod nimi<sup>17</sup>, a także podejście do lądowania i lądowanie. Ponadto, z lotem w chmurach mogą wiązać się niebezpieczeństwa takie jak turbulencja oraz oblodzenie<sup>18</sup>.

W rozpatrywanym dziesięcioleciu na podkrakowskim lotnisku odnotowano 1003 dni z niską podstawą chmur, co dało średnio 100 dni w roku. Chmury o niskich podstawach, podobnie jak mgła, występowały najczęściej jesienią i zimą (odpowiednio 30 i 35 dni) oraz rzadziej wiosną (16 dni) i latem (19 dni). Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z niską podstawą chmur osiągało nieco wyższe wartości podczas sytuacji cyklonalnych (ryc. 3). Maksimum przypadało na typy cyrkulacji E+S<sub>Ec</sub> (48,7%), Cc+B<sub>c</sub> (41,0%) oraz N+N<sub>Ec</sub> (40,7%). Wśród typów antycyklonalnych największym prawdopodobieństwem wystąpienia dnia z niską podstawą chmur charakteryzowały się typy cyrkulacji E+S<sub>Ea</sub> (36,6%) oraz Ca+K<sub>a</sub> (26,3%). Podczas typów pozostałych omawiane prawdopodobieństwo wynosiło około 20%.

Ryc. 3. Prawdopodobieństwo [%] wystąpienia dnia z niską podstawą chmur przy poszczególnych typach cyrkulacji w Krakowie-Balicach w latach 1996–2005



Źródło: Opracowanie własne.

Podział na pory roku (ryc. 4) wskazuje na duże podobieństwo wiosennego oraz letniego rozkładu prawdopodobieństwa. We wspomnianych porach roku prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z niską podstawą chmur było najwyż-

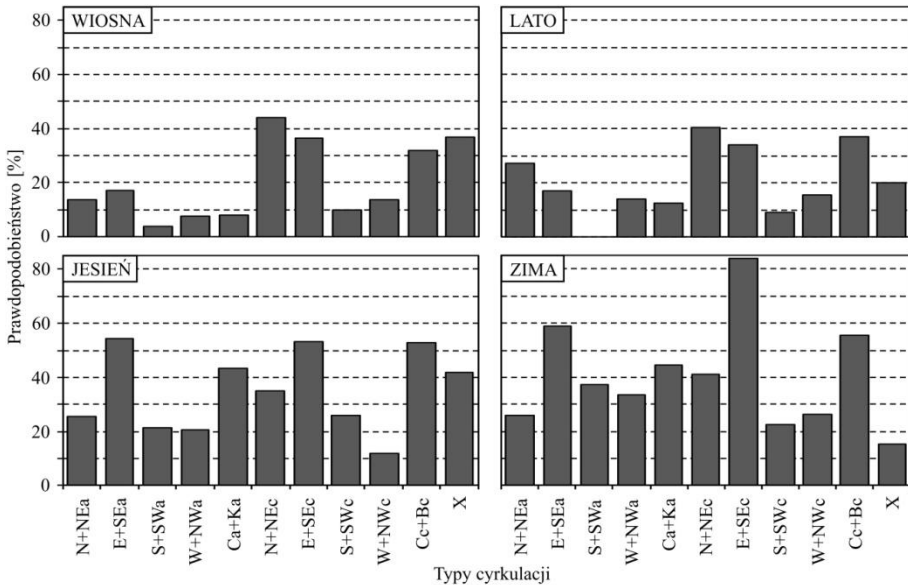
<sup>16</sup> F. Janiszewski, *Instrukcja dla stacji meteorologicznych*, Warszawa 1988, s. 264.

<sup>17</sup> M. Ostrowski, op. cit., s. 387.

<sup>18</sup> J. Ziarko, *Podstawy analizy i oceny pogody w lotnictwie*, Dęblin 1997, s. 260.

sze podczas sytuacji cyklonalnych, w szczególności podczas typów cyrkulacji N+NEc (około 40%), E+S<sub>Ec</sub> oraz Cc+Bc (po około 35%). Zdecydowanie wyższe wartości prawdopodobieństwa odnotowano jesienią. Największe prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z niską podstawą chmur towarzyszyło wówczas adwekcji powietrza ze wschodu oraz południowego wschodu, związanej zarówno z układem antycyklonalnym, jak i cyklonalnym (po około 54%), a także podczas typu cyrkulacji Cc+Bc (52,9%). Wysokie prawdopodobieństwo stwierdzono także podczas typu cyrkulacji Ca+Ka (43,5%). W pozostałych przypadkach, z wyjątkiem sytuacji W+NWc (11,8%), analizowane prawdopodobieństwo mieściło się w przedziale od 21 do 26%. Największe prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z niską podstawą chmur odnotowano w sezonie zimowym. O tej porze roku, podobnie jak jesienią, osiągało ono najwyższe wartości podczas typów cyrkulacji E+S<sub>Ec</sub> oraz E+S<sub>Ea</sub>, przy czym większe w przypadku typu cyklonalnego (83,9%). Rozkład prawdopodobieństwa przy pozostałych typach cyrkulacji był podobny do jesiennego, z wyjątkiem typów S+S<sub>Wa</sub>, W+NWa oraz W+NWc, w przypadku których odnotowano wartości większe o około 15%.

Ryc. 4. Prawdopodobieństwo [%] wystąpienia dnia z niską podstawą chmur przy poszczególnych typach cyrkulacji w Krakowie-Balicach w latach 1996–2005 (pory roku)



Źródło: Opracowanie własne.

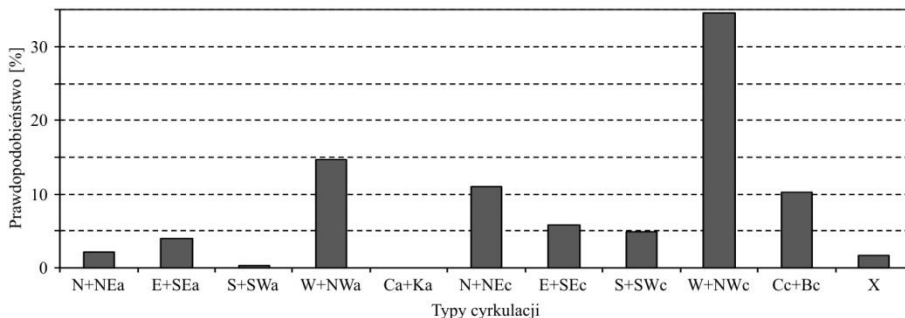


## DNI Z SILNYM WIATREM

Silny wiatr, bez względu na jego kierunek względem statku powietrznego, wywiera duży wpływ na wszystkie fazy lotu, przy czym najdotkliwiej odczuwany jest przez pilotów silny wiatr boczny. Powoduje on znaczne odchylenie osi podłużnej samolotu od toru lotu, co stanowi duże utrudnienie, zwłaszcza podczas lądowania. Należy podkreślić, że w pracy wzięto pod uwagę wiatr wiejący ze wszystkich kierunków, a zatem nawet ten wiejący równoległe do drogi startowej podkrakowskiego lotniska.

W latach 1996–2005 na lotnisku Kraków-Balice stwierdzono 359 dni, w których prędkość wiatru osiągnęła lub przekroczyła  $10 \text{ ms}^{-1}$ , czyli około 36 dni rocznie. Silny wiatr występował najczęściej w sezonie zimowym (14 dni) oraz wiosennym (10 dni). Rzadziej spotykany był jesienią (7 dni) oraz latem (tylko 5 dni w sezonie). Najwyższe prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z silnym wiatrem zachodziło podczas adwekcji powietrza z zachodu i północnego zachodu (ryc. 5), przy czym było ono ponad dwa razy większe, gdy adwekcji towarzyszył układ cyklonalny (34,6%). Z prawdopodobieństwem około 10% silny wiatr występował podczas typów cyrkulacji N+NEc oraz Cc+Bc. W pozostałych przypadkach prawdopodobieństwo nie przekraczało 6% (wynosiło około 0% podczas typów Ca+Ka oraz S+SWa).

Ryc. 5. Prawdopodobieństwo [%] wystąpienia dnia z silnym wiatrem przy poszczególnych typach cyrkulacji w Krakowie-Balicach w latach 1996–2005

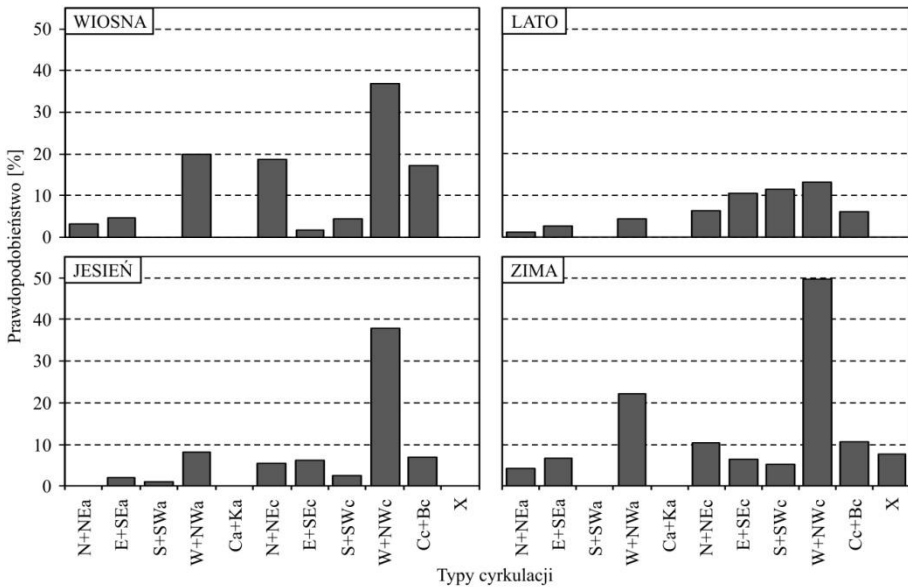


Źródło: Opracowanie własne.

W każdym sezonie, z wyjątkiem lata, pod względem omawianego prawdopodobieństwa przeważał wyraźnie typ cyrkulacji W+NWc (ryc. 6). Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z silnym wiatrem podczas tego typu cyrkulacji było największe zimą (49,7%). Wiosną i jesienią wynosiło około 37%. Podczas typu cyrkulacji W+NWa omawiane prawdopodobieństwo było wysokie zimą

(22,2%) i wiosną (19,8%), a niewielkie latem i jesienią (przyjmowało wówczas zdecydowanie mniejsze wartości). W porze wiosennej zwraca uwagę stosunkowo duże prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z silnym wiatrem podczas typów cyrkulacji N+NEc (18,6%) oraz Cc+Bc (17,2%). Pozostałym typom cyrkulacji, nieuwzględnionym w analizie, towarzyszyło niewielkie prawdopodobieństwo (nie większe niż 11%).

Ryc. 6. Prawdopodobieństwo [%] wystąpienia dnia silnym wiatrem przy poszczególnych typach cyrkulacji w Krakowie-Balicach w latach 1996–2005 (pory roku)



Źródło: Opracowanie własne.

## DNI Z BURZĄ

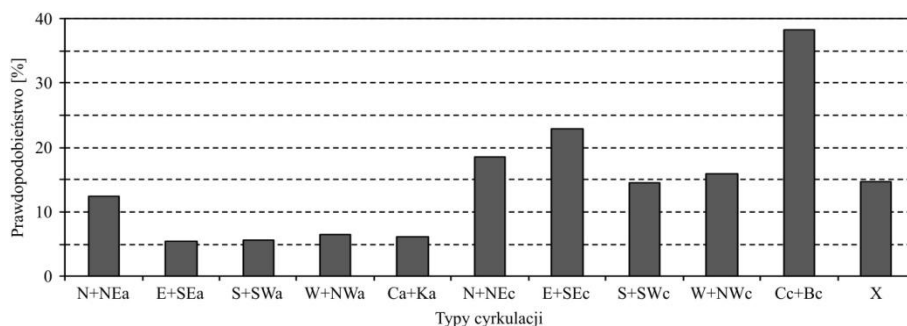
Z wykonywaniem lotów w strefie burzy wiąże się duże ryzyko wynikające z bardzo silnej konwekcji, wyładowań atmosferycznych, stref opadów gradu, a także intensywnego oblodzenia<sup>19</sup>. Ponadto, strefie chmur burzowych towarzyszyć mogą szczególnie niebezpieczne dla lotnictwa uskoki wiatru w postaci gwałtownych prądów zstępujących (ang. *downburst* oraz *microburst*)<sup>20</sup>.

<sup>19</sup> Ibidem.

<sup>20</sup> *Manual on low-level windshear*, 2005, ICAO Doc. 9817, s. 211.

W analizowanym dziesięcioleciu na lotnisku w Balicach odnotowano 298 dni z burzą, przy czym większość z nich (95%) przypadało na okres od kwietnia do września (z maksimum w lipcu). Występowały one z największym prawdopodobieństwem podczas sytuacji cyklonalnych (ryc. 7), zwłaszcza typu Cc+Bc (38,2%). Duże wartości prawdopodobieństwa towarzyszyły również typom cyrkulacji E+SEc (22,9%) oraz N+NEc (18,6%). W przypadku pozostałych cyklonalnych typów cyrkulacji prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą wynosiło około 15%. Podczas sytuacji antycyklonalnych omawiane prawdopodobieństwo było niewielkie. Jedynie podczas typu cyrkulacji N+NEa wynosiło więcej niż 10%. W pozostałych przypadkach nie przekraczało 7%.

Ryc. 7. Prawdopodobieństwo [%] wystąpienia dnia z burzą przy poszczególnych typach cyrkulacji w Krakowie-Balicach w latach 1996–2005 (kwiecień–wrzesień)



Źródło: Opracowanie własne.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzona analiza wykazała znaczący wpływ cyrkulacji atmosfery na występowanie zjawisk oraz określonych wartości elementów meteorologicznych niebezpiecznych dla lotnictwa. Wpływ ten okazał się szczególnie wyraźny w przypadku silnego wiatru oraz burzy. Nieco mniejszą zależność stwierdzono w wypadku mgły i chmur o niskich podstawach, zwłaszcza w ciepłej połowie roku. Przedstawione wyniki odnosić można nie tylko do najbliższego otoczenia lotniska Kraków-Balice, lecz także do znacznej części Polski południowej, co potwierdzają rezultaty innych badań synoptyczno-klimatologicznych prowadzonych dla tego obszaru<sup>21</sup>. Na podstawie przeprowadzonej analizy zapropono-

<sup>21</sup> T. Niedźwiedź, *Sytuacje...*, op. cit., s. 165; Z. Bielec-Bąkowska, *Zróżnicowanie...*, op. cit., s. 160; K. Piotrowicz, R. Bąkowski, M. Kozłowski, op. cit., s. 133–151; Z. Ustrnul, D. Czekierda, op. cit., s. 182.

wano następujące wnioski, które stanowią wstępne rozpoznanie dla celów prognozowania zjawisk i wartości elementów meteorologicznych niebezpiecznych dla lotnictwa:

- Mgła występuje przede wszystkim w chłodnej połowie roku. Wówczas jej formowaniu sprzyja najbardziej adwekcja z południa i południowego zachodu związana z układem wyżowym, a także brak wyraźnej adwekcji (występowanie centrum wyżu lub klina wyżowego).
- Wystąpienia chmur o niskich podstawach należy spodziewać się w szczególności podczas adwekcji ze wschodu i południowego wschodu bez względu na rodzaj układu barycznego, a także gdy nad obszarem badań występuje centrum niżu lub bruzda niżowa.
- Silnemu wiatrowi sprzyja nade wszystko napływ powietrza z zachodu i północnego zachodu związany z układem niżowym.
- Wystąpieniu burzy sprzyja w głównej mierze zaleganie centrum niżu lub bruzdy niżowej, a także adwekcja ze wschodu i południowego wschodu związana z układem cyklonalnym.
- Na występowanie chmur o niskich podstawach wpływa przede wszystkim kierunek adwekcji, z kolei rodzaj układu barycznego odgrywa rolę drugorzędną. Rodzaj układu barycznego jest natomiast istotny w przypadku mgły, silnego wiatru i burzy.

## SYNOPTIC CONDITIONS OF WEATHER PHENOMENA HAZARDOUS FOR AVIATION

The aim of the paper is to assess the influence of atmospheric circulation on the occurrence of fogs, low-base clouds, strong winds and thunderstorms. The research is based on the data from the period 1996–2005 coming from the Cracow-Balice meteorological station as well as on the synoptic situations' classification elaborated by T. Niedźwiedz.

In the essential part of the research, days when particular phenomena occurred were analyzed and specific weather elements' values were determined. Their probability during particular circulation types was calculated.

The research results would suggest that fogs occur most likely during the advection from S and SW related with the high; moreover, during the high pressure center and the wedge of high pressure. Low-base clouds occur typically during the advection from E and SE, regardless of the pressure pattern; furthermore, during the low pressure center and the trough of low pressure. Strong wind occurrence is most likely accompanied by the advection from W and NW, related with the low. Thunderstorms are mostly favoured by the low pressure center and the trough of low pressure.

## BIBLIOGRAFIA

1. Barry R. G., Carleton A. M., *Synoptic and Dynamic Climatology*, London–New York 2001.
2. Barry R. G., Perry A. H., *Synoptic Climatology, Methodes and Applications*, London 1973.
3. Bednorz E., *Pokrywa śnieżna a kierunki napływu mas powietrza w Polsce północno-zachodniej*, Poznań 2001.
4. Bielec Z., *Przebieg dobowy i charakterystyka synoptyczna burz w Krakowie w latach 1896–1995*, „Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne” 2000, nr 105.
5. Bielec-Bąkowska Z., *Zróżnicowanie przestrzenne i zmienność wieloletnia występowania burz w Polsce*, Katowice 2002.
6. Cebulak E., *Wpływ sytuacji synoptycznej na maksymalne opady dobowe w dorzeczu górnej Wisły*, „Folia Geographica ser. Geographica-Physica” 1992, nr 23.
7. Chełmicki W., Klimek M., *Związek między sytuacjami synoptycznymi a pH opadów atmosferycznych w Łazach na Pogórzu Wielickim*, „Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne” 1995, nr 100.
8. Domicz J., Szutowski L., *Podręcznik pilota samolotowego*, Poznań 2004.
9. Jafernik H., Wilczek Z., Ziarko J., *Meteorologiczna osłona działań lotnictwa*, Warszawa 2000.
10. Janiszewski F., *Instrukcja dla stacji meteorologicznych*, Warszawa 1988.
11. Kożuchowski K., Żmudzka E., *Cyrkulacja atmosferyczna i jej wpływ na zmienność temperatury powietrza w Polsce*, „Przegląd Geograficzny” 2002, nr 74.
12. Lester P. F., *Aviation Weather*, Englewood 2007.
13. Łupikasza E., Bielec-Bąkowska Z., *Synoptyczne uwarunkowania dni ekstremalnych pod względem termicznym w Małopolsce w drugiej połowie XX wieku*, „Folia Geographica ser. Geographica-Physica” 2004–2005, nr 35–36.
14. *Manual on low-level windshear*, 2005, ICAO Doc. 9817.
15. Matuszko D., *Frequency of Occurrence of Particular Cloud Genera at Noon and During Certain Synoptic Situations in Cracow*, „Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne” 2000, nr 105.
16. Niedźwiedz T., *Kalendarz typów cyrkulacji atmosfery dla Polski południowej – zbiór komputerowy*, Uniwersytet Śląski, Katedra Klimatologii, Sosnowiec 2013.
17. Niedźwiedz T., *Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły*, Kraków 1981.
18. Ostrowski M., *Meteorologia dla lotnictwa sportowego*, Warszawa 2004.
19. Panfil M., *Duże zmiany międzydobowe temperatur ekstremalnych w drugiej połowie XX wieku*, „Acta Agrophysica” 2007, nr 10 (3).
20. Parczewski W., *Klasyfikacja przedziałów prędkości wiatru w zastosowaniu do opracowań klimatycznych i bioklimatycznych*, „Przegląd Geofizyczny” 1960, nr 2.
21. Piotrowicz K., Bąkowski R., Kozłowski M., *Energia wiatru w wybranych sytuacjach synoptycznych w południowo-wschodniej Polsce*, „Folia Geographica ser. Geographica-Physica” 2004–2005, nr 35–36.
22. Simons D., Withington T., *Historia Lotnictwa*, Bath 2008.
23. *Słownik meteorologiczny*, red. T. Niedźwiedz, Warszawa 2003.
24. Szewczak P., *Meteorologia dla pilota samolotowego*, Poznań 2010.
25. Twardosz R., *Wieloletnia zmienność sum dobowych opadów w Krakowie w powiązaniu z sytuacjami synoptycznymi*, „Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne” 2000, nr 105.
26. Ustrnul Z., Czekerda D., *Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych w Polsce*, Warszawa 2009.

27. Wiązewski W., Bąkowski R., *Sytuacje synoptyczne sprzyjające występowaniu mgieł na lotnisku Kraków-Balice*, [w:] *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, red. K. Piotrowicz, R. Twardosz, Kraków 2007.
28. Wickson M., *Meteorology for Pilots*, Shrewsbury 1997.
29. Wypych A., *Air Humidity and Fogs in Cracow in the Period 1961–2000 in Relation to Synoptic Situations*, „Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne” 2003, nr 112.
30. Ziarko J., *Podstawy analizy i oceny pogody w lotnictwie*, Dęblin 1997.