PRZEGLĄD GEOFIZYCZNY

Rocznik LXVI 2021 Zeszyt 1-2

Sylwia ŚMIGIERA

INSTYTUT METEOROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ – PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

CYRKULACYJNE UWARUNKOWANIA WYSTĘPOWANIA MGIEŁ NA WYBRANYCH LOTNISKACH W POLSCE

THE INFLUENCE OF SYNOPTIC SITUATIONS ON THE OCCURRENCE OF FOG AT SELECTED AIRPORTS IN POLAND

Wstęp

Samoloty są uważane za najbezpieczniejszy środek transportu (Ilków 2011), co jednak nie wyklucza wypadków. Mogą się onezdarzyć na wszystkich etapach lotu, ale największe prawdopodobieństwo występuje podczas startu i lądowania. Najczęstszymi przyczynami wypadków lotniczych są błędy pilota, awarie techniczne samolotu oraz warunki pogodowe podczas lotu (Krzyszkowski i in. 2014). Wśród zjawisk meteorologicznych niebezpiecznych dla lotnictwa można wyróżnić: ograniczoną widzialność, niską podstawę chmur, silny wiatr, burzę, oblodzenie, uskok wiatru oraz turbulencję (Szot 2013; Jafernik i in. 2016).

Przedmiotem badań niniejszej pracy jest występowanie mgły, czyli zawiesiny bardzo małych kropel wody lub kryształków lodu w przyziemnej warstwie powietrza, zmniejszającej widzialność poniżej 1 km (Huschke 1959; Niedźwiedź 2003). Mgła powstaje w wyniku kondensacji pary wodnej zawartej w powietrzu. Do tego procesu konieczna jest obecność jąder kondensacji, a para wodna musi osiągnąć stan nasycenia (Kossowska-Cezak, Bajkiewicz-Grabowska 2008). Dzieje się tak, kiedy powietrze ochładza się, aż jego temperatura spadnie poniżej punktu rosy (Iribarne, Cho 1988).

Występowanie wielu zjawisk, w tym także mgieł, jest uwarunkowane między innymi cyrkulacją atmosfery. Dla bezpieczeństwa ruchu lotniczego niezwykle istotna jest wiedza dotycząca występowania tych zjawisk oraz możliwość ich prognozowania. Mgła jest znacznie mniej dynamiczna i gwałtowna od innych zjawisk ekstremalnych, np. burzy czy gradu, lecz również jest groźna i powoduje ogromne komplikacje społeczno-ekonomiczne. Pogorszenie widzialności może być bardzo niebezpieczne, dlatego tak ważne jest poznanie zjawiska mgły i możliwość jego prognozowania. Celem pracy jest określenie znaczenia cyrkulacji atmosfery na występowanie mgieł w Polsce.

 DOI: 10.32045/PG-2021-021

Przegląd literatury

Związek występowania mgieł i cyrkulacji atmosfery badali m. in. Lisowski (1935) oraz Łupikasza i Niedźwiedź (2016a). Zagadnienie to w północnej Azji opisała Ye (2009), a w Grecji Houssos i inni (2011). Ustrnul i Czekierda (2009) w *Atlasie ekstremalnych zjawisk meteorologicznych* opisali mgły trwające ponad dobę w różnych typologiach cyrkulacji.

Zależność mgieł od cyrkulacji atmosfery na polskich lotniskach badali m. in. Wiążewski i Bąkowski (2007), Stolot (2013) oraz Szot (2013). Badania mgły znacznie częściej dotyczyły portów lotniczych położonych poza granicami Polski. Zaliczyć można do nich prace Colliera (1970), Slemmera (2004), Friedleina (2004), De Villiersa i Van Heerdena (2007) oraz Van Schalkwyka i Dysona (2013). W literaturze można również znaleźć prace poświęcone prognozowaniu mgieł na lotniskach. Zagadnieniem tym zajmowali się m. in. Stern i Parkyn (1999) oraz Teixeira i Miranda (2001).

Dotychczas powstało tylko kilka prac opisujących wpływ cyrkulacji atmosfery na występowanie mgieł w Polsce, opartych na danych z kilku stacji. Łupikasza i Niedźwiedź (2016b) oraz Skrzyńska (2019) analizowali wpływ warunków cyrkulacyjnych na występowanie mgieł w południowej Polsce. Skomorowski i Piotrowski (2018) badali natomiast występowanie mgieł na lotniskach na obszarze Polski, na podstawie danych z 10 lat. Niniejsza praca jest próbą opisania tych zależności w skali całego kraju, na podstawie 35-letniej serii danych.

Materiały źródłowe i metody badań

W opracowaniu wykorzystano dane dobowe dotyczące liczby godzin z mgłą w okresie 1981-2015 pochodzące z bazy danych IMGW-PIB (dane ze stacji synoptycznych zlokalizowanych w pobliżu lotnisk). Za dzień z mgłą przyjęto taki, w którym wystąpiła mgła przez co najmniej 6 minut, tj. 0,1 h. Wykorzystano także dane uzupełniające, pozwalające na ogólny opis warunków lokalnych (Numeryczny Model Terenu DEM, mapy sieci rzecznej i zbiorników wodnych w Polsce oraz mapę pokrycia terenu CORINE Land Cover 2012). Analizę przeprowadzono w odniesieniu do portów lotniczych w Szczecinie, Gdańsku, Poznaniu, Warszawie, Wrocławiu, Krakowie oraz Rzeszowie. Dane dotyczące Gdańska pochodzą z trzech stacji synoptycznych: Gdańsk-Rębiechowo, Gdańsk-Świbno i Gdańsk-Port Północny.

Cyrkulacja atmosfery została opisana przez typologię J. Lityńskiego, ze względu na jej zasięg przestrzenny obejmujący całą Polskę (Lityński 1969). Jest to klasyfikacja wyróżniająca 27 typów cyrkulacji. W pracy, dla uproszczenia, wyróżniono 9 „makrotypów" odpowiadających poszczególnym kierunkom adwekcji mas powietrza (8 kierunków oraz typ „0" oznaczający brak adwekcji). Oznacza to, że „makrotypy" zostały wyznaczone jedynie na podstawie kierunku napływu powietrza. W tym podziale rodzaj ośrodka barycznego został pominięty.

Poszczególne typy cyrkulacji i rodzaje ośrodków barycznych powodują odmienne warunki do powstawania mgieł w poszczególnych porach roku. W związku z tym analizę zależności występowania mgieł od typów cyrkulacji przeprowadzono w następujących porach roku, wyróżnionych zgodnie z kryterium kalendarzowym: wiosna (III-V), lato (VI-VIII), jesień (IX-XI) i zima (XII-II).

Występowanie dni z mgłą w typach cyrkulacji przedstawiono za pomocą częstości i prawdopodobieństwa warunkowego, na podstawie wzorów 1 i 2.

$$f_{mt} = \frac{d_{mt}}{d_m} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie: f_{mt} – częstotliwość występowania dni z mgłą w typie; d_{mt} – liczba dni z mgłą w danym typie cyrkulacji; d_m – ogólna liczna dni z mgłą.

$$p_{mt} = \frac{d_{mt}}{d_t} \cdot 100\% \quad (2)$$

gdzie: p_{mt} – prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia dnia z mgłą w typie; d_{mt} – liczba dni z mgłą w typie cyrkulacji; d_t – liczba dni z typem cyrkulacji.

Prawdopodobieństwo warunkowe uwzględnia także częstość występowania danego typu cyrkulacji. Częstość dni z mgłą w typach cyrkulacji zależy od częstości samego typu. W celu wyeliminowania wpływu częstości występowania danego typu cyrkulacji wyznaczono prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia dnia z mgłą. Wskaźnik ten zawiera informacje o charakterze prognostycznym, gdyż znając prognozowany typ cyrkulacji w danym dniu, można określić, jakie jest prawdopodobieństwo wystąpienia mgły.

Liczba dni z mgłą

W latach 1981-2015 najwięcej dni z mgłą odnotowano na stacjach położonych na południu Polski – w Krakowie i Rzeszowie, a najmniej w Warszawie (tab. 1). Odchylenie standardowe osiąga największą wartość w Krakowie, a najmniejszą w Warszawie. Nie wyznaczono odchylenia standardowego w Gdańsku, ze względu na zmianę lokalizacji tej stacji synoptycznej. Najwięcej dni z mgłą występuje w listopadzie i październiku, a najmniej w lipcu (tab. 2). Prawie na wszystkich stacjach najwięcej takich dni występuje

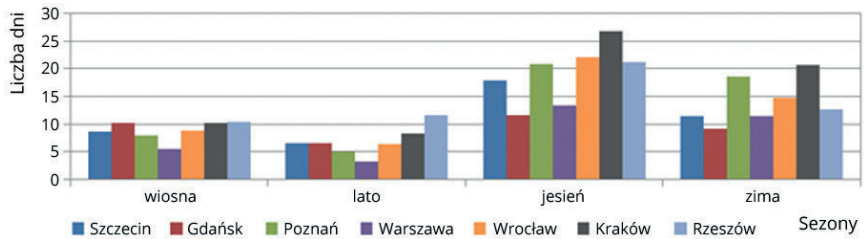
Tabela 1. Średnia roczna liczba dni z mgłą w okresie 1981-2015

Table 1. Annual average number of days with fog in the period 1981-2015

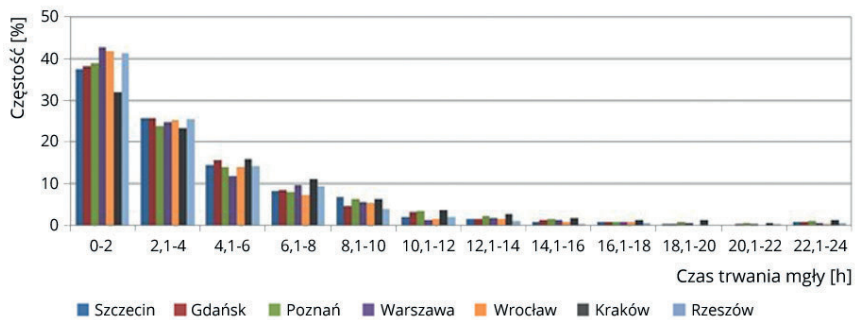
Stacja	Szczecin	Gdańsk	Poznań	Warszawa	Wrocław	Kraków	Rzeszów
Średnia roczna liczba dni z mgłą	44,3	37,1	51,7	33,0	51,5	65,7	55,5
Odchylenie standardowe	9,6	-	11,4	7,8	10,1	15,0	10,8

Tabela 2. Średnia miesięczna liczba dni z mgłą (wyróżniono wartości największe i najmniejsze)
Table 2. Average monthly number of days with fog (the smallest and largest values are highlighted)

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Szczecin	4,0	3,2	3,6	2,7	2,4	**1,7**	**1,7**	3,1	5,0	**6,5**	6,4	4,2
Gdańsk	3,3	2,5	3,2	4,2	2,7	2,2	**1,9**	2,3	3,0	4,1	**4,4**	3,2
Poznań	6,7	4,8	3,5	2,4	1,8	**1,6**	**1,6**	**1,6**	4,2	7,4	**9,1**	6,9
Warszawa	3,8	3,1	2,4	1,5	1,4	**1,0**	**1,0**	1,2	2,7	5,1	**5,5**	4,3
Wrocław	5,3	3,6	3,7	2,7	2,3	2,0	**1,4**	2,8	5,5	8,0	**8,5**	5,7
Kraków	6,8	4,7	4,3	3,1	2,8	2,7	**2,0**	3,4	6,7	10,0	**10,1**	9,1
Rzeszów	3,8	4,2	3,5	3,2	3,5	3,4	**3,0**	5,2	6,6	**8,0**	6,5	4,5



Rys. 1. Średnia liczba dni z mgłą w poszczególnych porach roku
Fig. 1. Average number of days with fog in seasons



Rys. 2. Czas trwania mgły
Fig. 2. Fog duration

jesienią, następnie zimą, wiosną i najmniej latem (rys. 1). Wyjątkiem są stacje w Rzeszowie (średnio więcej dni z mgłą latem niż wiosną) oraz w Gdańsku (średnio więcej takich dni wiosną niż zimą).

Czas trwania mgieł

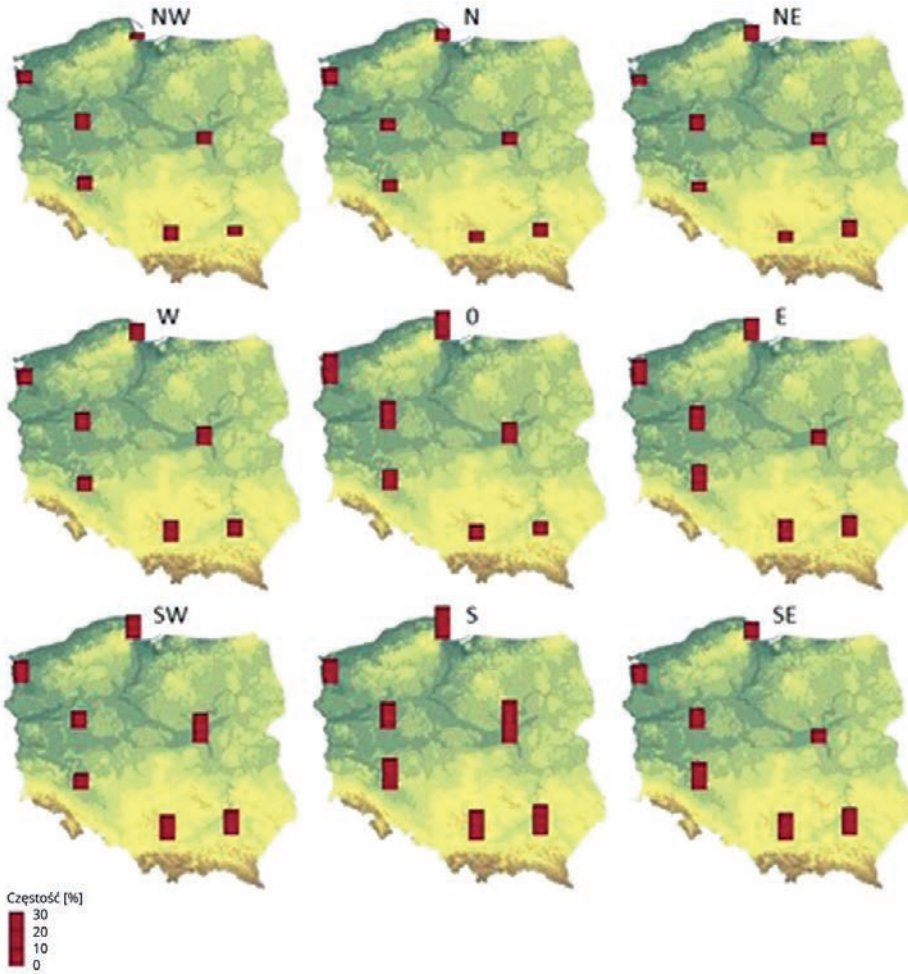
Z przeprowadzonych badań wynika, że na większości stacji 40% mgieł trwa krócej niż 2 godziny (rys. 2). W Krakowie mgły trwają dłużej niż na innych stacjach. Mgły krótsze niż 2 godziny stanowią tam 32% przypadków. Dla ruchu lotniczego najbardziej niekorzystne są mgły długotrwałe, które mogą spowodować znaczne utrudnienia w realizacji operacji lotniczych. Mgły trwające ponad 6 godzin (1/4 doby) stanowią ok. 20% wszystkich przypadków. Wyjątkiem jest stacja w Krakowie, na której takie mgły występują w 30% przypadków. Na wszystkich stacjachodnotowano więcej przypadków mgieł trwających 22-24 h niż 20-22 h.

Dni z mgłą w typach cyrkulacji

Wiosną częstość dni z mgłą przy napływie powietrza z północo-zachodu, północy i z północo-wschodu jest bardzo podobna na wszystkich stacjach i wynosi średnio ok. 7% (rys. 3). Największą częstością charakteryzuje się makrotyp NW, a mimo to częstość dni z mgłą w tym makrotypie należy do najmniejszych. Dużą częstość dni z mgłą odnotowano podczas makrotypów S i SW. Jest to spowodowane dużą częstością samych makrotypów. Mniejszą częstość dni z mgłą stwierdzono przy adwekcji z południo-wschodu, m. in. z powodu mniejszej częstości makrotypu SE. Częstość dni z mgłą przy adwekcji ze wschodu, zachodu oraz przy braku napływu powietrza jest zbliżona i wynosi ok. 10%.

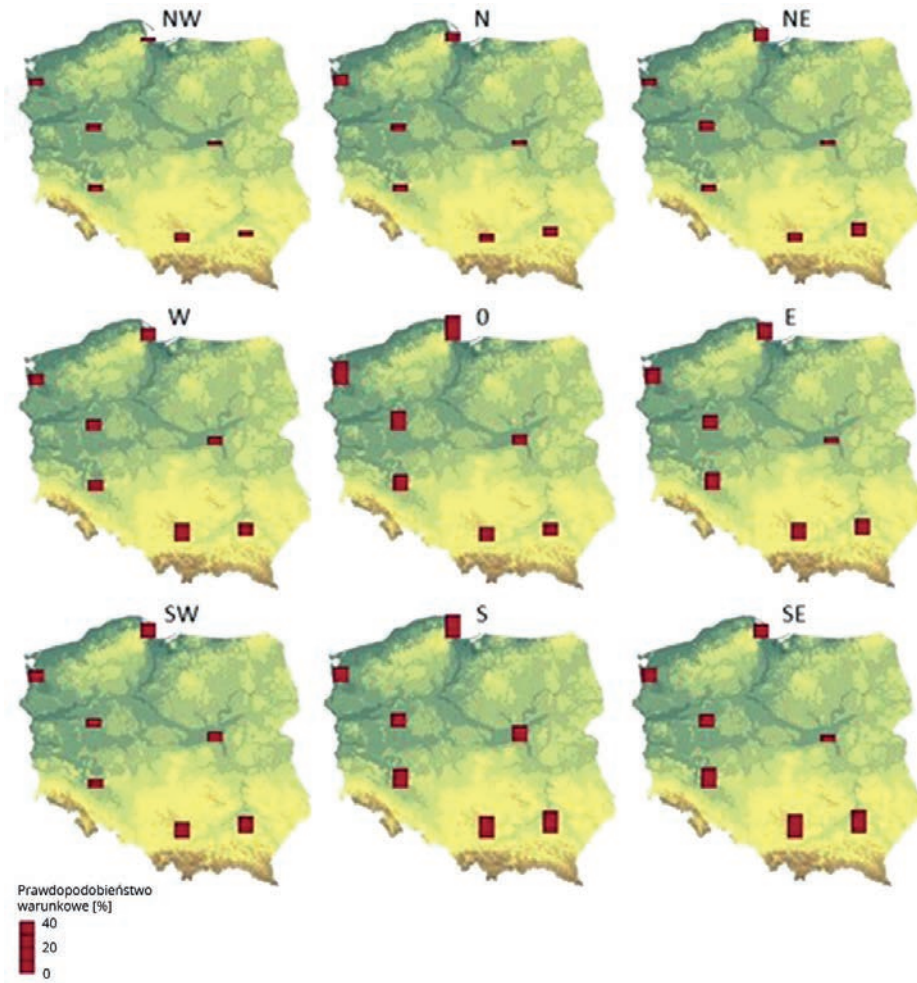
W porze wiosennej prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia dnia z mgłą przyjmuje niewielkie wartości, wynoszące maksymalnie 18,9% w Gdańsku przy braku adwekcji (rys. 4). Największe prawdopodobieństwo występuje przy makrotypach 0, SW, S i SE. Najmniejsze prawdopodobieństwo warunkowe stwierdzono podczas występowania makrotypów NW, N i NE. Przy tych kierunkach adwekcji rozkład przestrzenny prawdopodobieństwa warunkowego wystąpienia dnia z mgłą jest zbliżony, obserwowane jest niewielkie zróżnicowanie w Polsce. Najmniejszym prawdopodobieństwem warunkowym cechuje się stacja w Warszawie. Przy makrotypach SW, S i SE większe prawdopodobieństwo występuje na południu Polski (prawdopodobnieze względu na rzeźbę terenu) oraz w Gdańsku (ze względu na położenie blisko morza). Stosunkowo duże prawdopodobieństwo występuje przy adwekcji powietrza ze wschodu.

Na rysunku 5 przedstawiono rozkład przestrzenny częstości dni z mgłą w zależności od kierunku napływu mas powietrza w porze letniej. Najmniejsze wartości częstości stwierdzono przy makrotypie NW, a największe przy braku adwekcji. Niewielka częstość dni z mgłą wystąpiła przy napływie powietrza z południo-wschodu, co jest to spowodowane bardzo niską częstością makrotypu SE. Przy napływie powietrza z północo-zachodu, północy i północo-wschodu najmniejsza częstość dni z mgłą jest na południu Polski, a największa w centrum. Przy większości makrotypów (z wyjątkiem N, SW i E) różnice częstości są niewielkie i nie przekraczają 6%. Częstość dni z mgłą jest bardzo



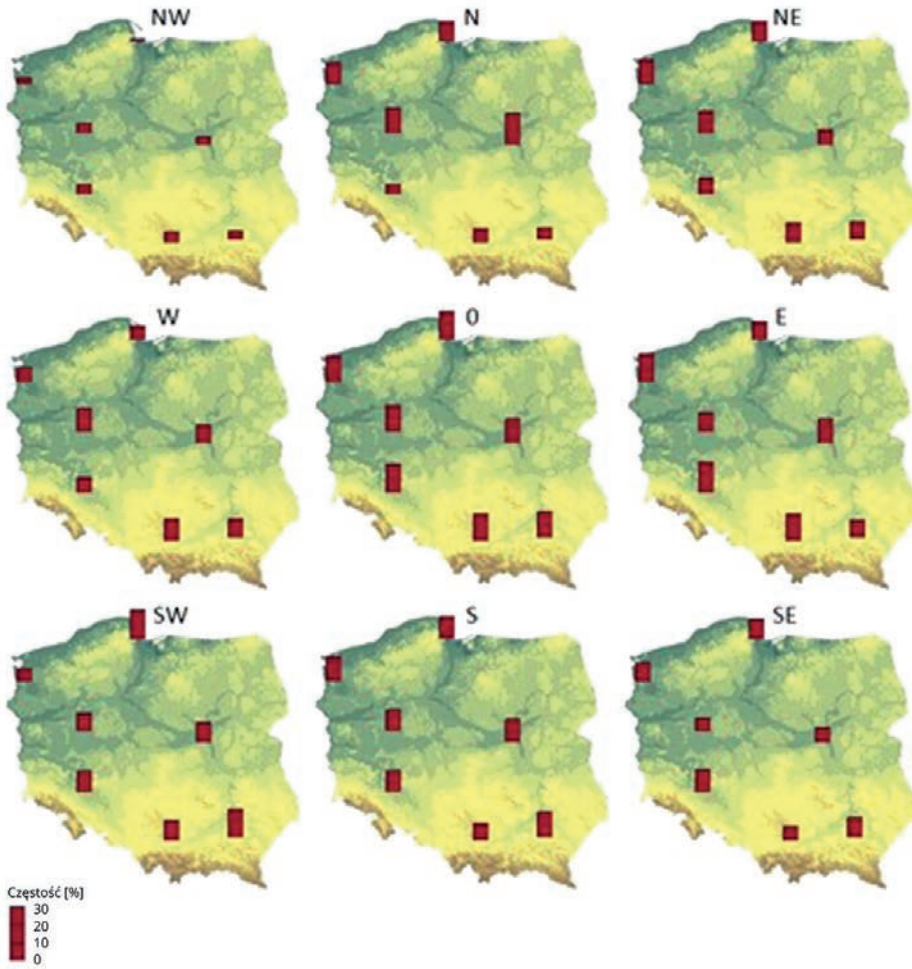
Rys. 3. Częstość [%] dni z mgłą w poszczególnych makrotypach cyrkulacji na wiosnę

Fig. 3. Frequency [%] of days with fog in macrotypes in spring



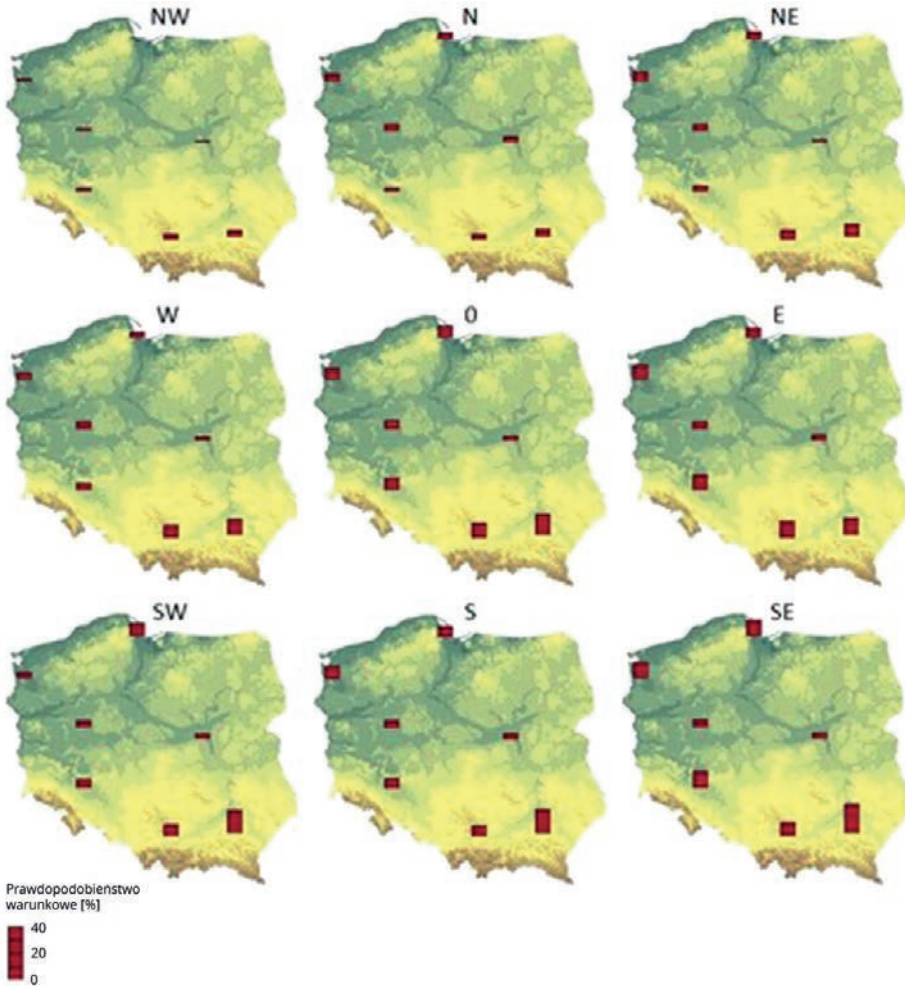
Rys. 4. Prawdopodobieństwo warunkowe [%] wystąpienia dnia z mgłą w poszczególnych makrotypach cyrkulacji na wiosnę

Fig. 4. Conditional probability [%] of days with fog in macrotypes in spring



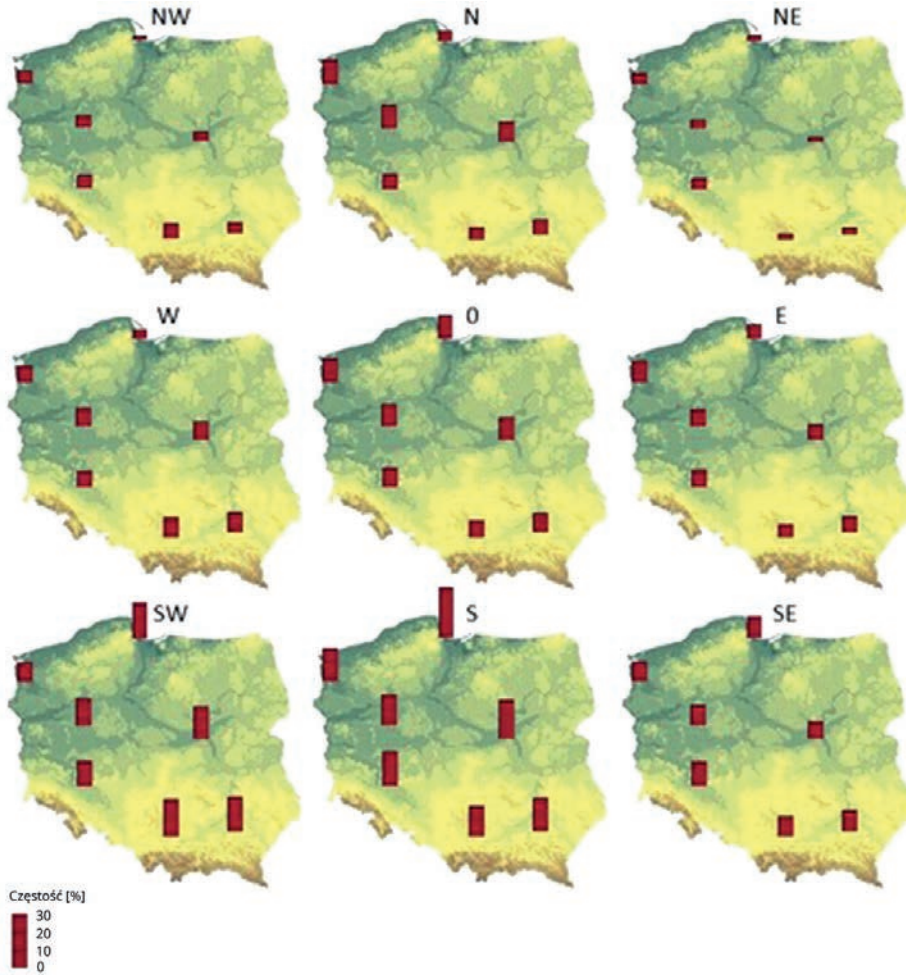
Rys. 5. Częstość [%] dni z mgłą w poszczególnych makrotypach cyrkulacji w lecie

Fig. 5. Frequency [%] of days with fog in macrotypes in summer



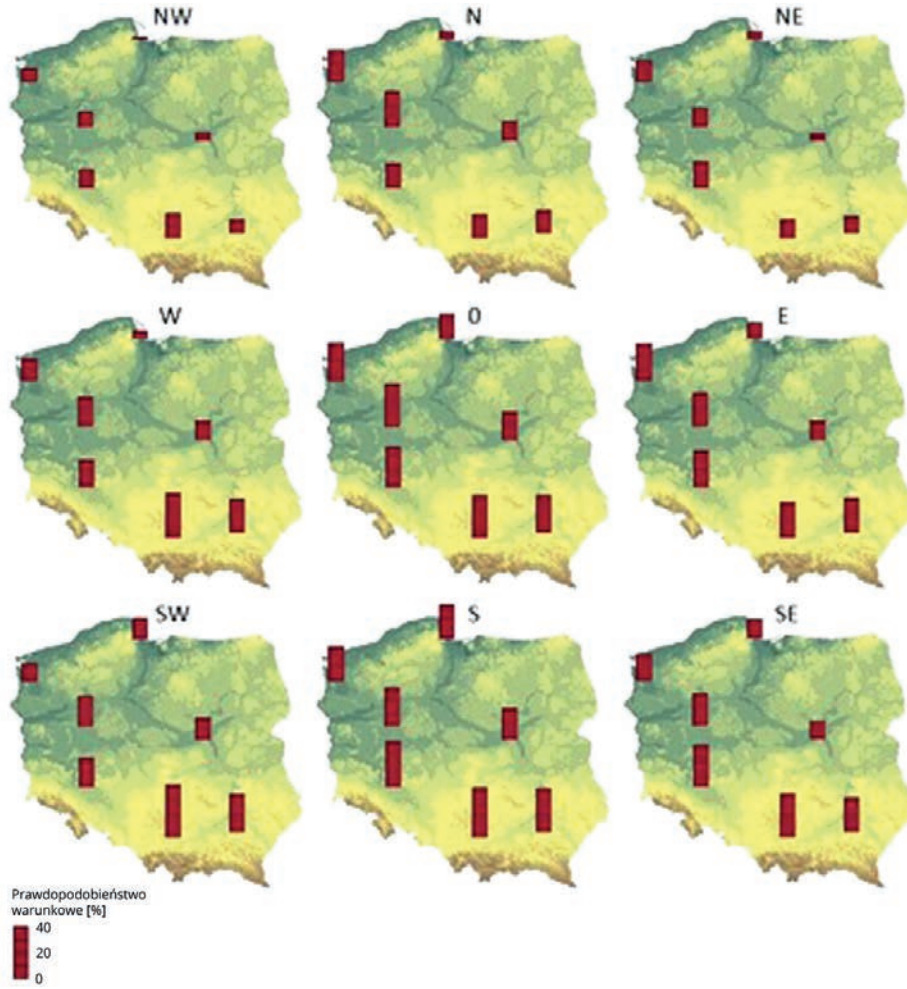
Rys. 6. Prawdopodobieństwo warunkowe [%] wystąpienia dnia z mgłą w poszczególnych makrotypach cyrkulacji w lecie

Fig. 6. Conditional probability [%] of days with fog in macrotypes in summer



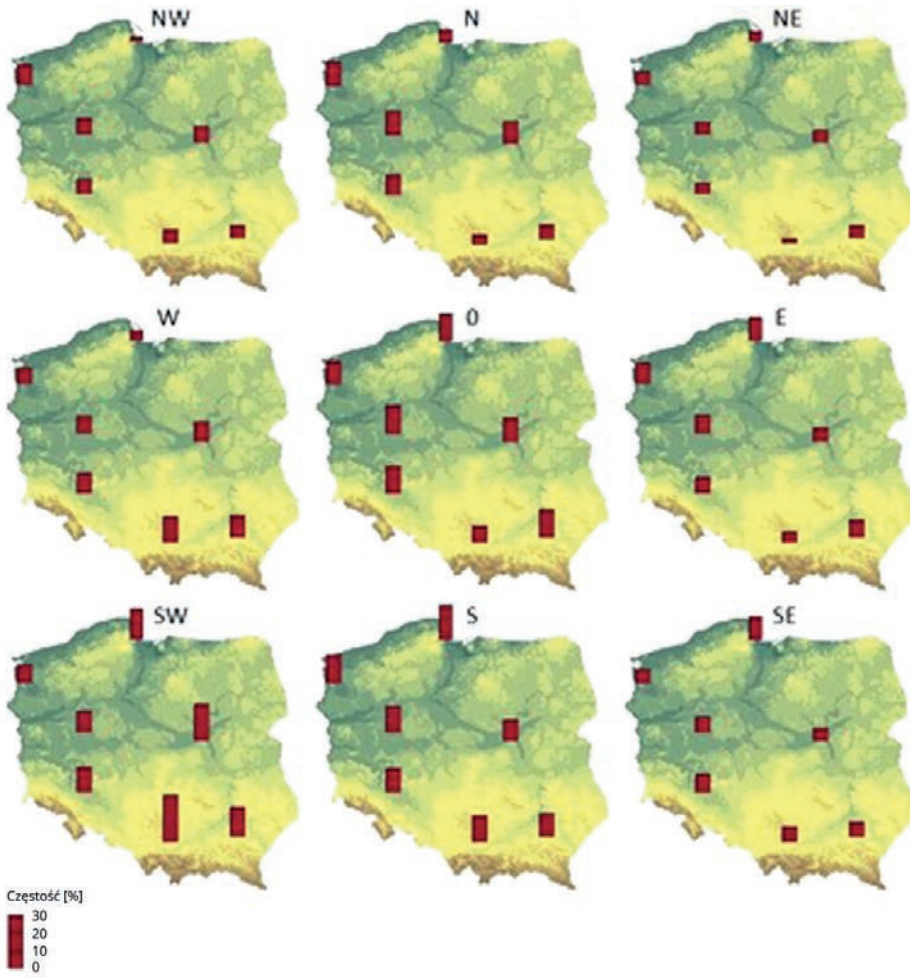
Rys. 7. Częstość [%] dni z mgłą w poszczególnych makrotypach cyrkulacji jesienią

Fig. 7. Frequency [%] of days with fog in macrotypes in autumn



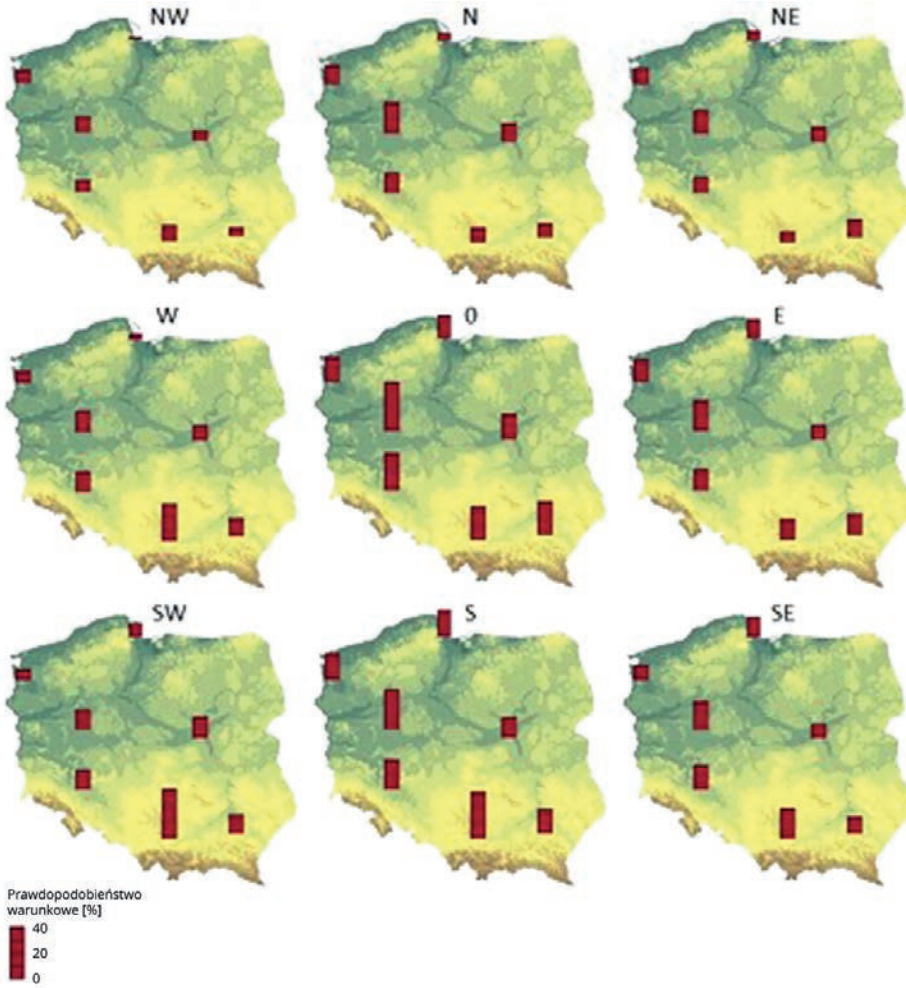
Rys. 8. Prawdopodobieństwo warunkowe [%] wystąpienia dnia z mgłą w poszczególnych makrotypach cyrkulacji jesienią

Fig. 8. Conditional probability [%] of days with fog in macrotypes in autumn



Rys. 9. Częstość [%] występowania dni z mgłą w poszczególnych makrotypach cyrkulacji w zimie

Fig. 9. Frequency [%] of days with fog in macrotypes in winter



Rys. 10. Prawdopodobieństwo warunkowe [%] wystąpienia dnia z mgłą w poszczególnych makrotypach cyrkulacji w zimie

Fig. 10. Conditional probability [%] of days with fog in macrotypes in winter

podobna na wszystkich stacjach przy wszystkich makrotypach, z wyjątkiem napływu powietrza z północo-zachodu.

W porze letniej prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia dnia z mgłą przyjmuje jedne z najmniejszych wartości w skali całego roku (rys. 6). Jednak na stacjach zlokalizowanych na południu Polski prawdopodobieństwo jest mniejsze wiosną niż latem. Niezależnie od makrotypu prawdopodobieństwo jest większe na południu Polski. Największe prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia dnia z mgłą występuje przy napływie powietrza z południo-zachodu, południa i południo-wschodu. Przy wszystkich makrotypach większe prawdopodobieństwo stwierdzono w Rzeszowie niż w Krakowie, co jest spowodowane rzeźbą terenu. Podczas napływu mas powietrza z kierunków północnych (makrotypy NW, N i NE) zachodzi najmniejsze prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z mgłą. Prawdopodobieństwo przy napływie powietrza z zachodu, wschodu oraz przy braku adwekcji przyjmuje zbliżone wartości na wszystkich stacjach. Najniższe prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia dnia z mgłą stwierdzono w Warszawie.

Jesienią różnice częstości wystąpienia dnia z mgłą między makrotypami są znaczne, ale obserwowana jest mała zmienność na poszczególnych stacjach w obrębie jednego makrotypu (rys. 7). Podobnie jak we wcześniejszych porach roku, mała częstość występuje podczas napływu powietrza z północo-zachodu, mimo dużej częstości makrotypu NW. Najmniejszą częstość stwierdzono przy adwekcji z północo-wschodu, co wiąże się z małą częstością makrotypu NE. Największa częstość dni z mgłą została zaobserwowana podczas napływów mas powietrza z południa i południo-zachodu. Przy napływie powietrza z zachodu oraz wschodu odnotowano podobną częstość. Największą zmiennością częstości dni z mgłą w zależności od makrotypu cyrkulacji charakteryzuje się stacja w Gdańsku.

Prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia dnia z mgłą w porze jesiennej przedstawiono na rysunku 8. Występuje wtedy największe prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z mgłą w ciągu całego roku, niekiedy sięgające niemal 40%. Prawdopodobieństwo dnia z mgłą jest wysokie we wszystkich makrotypach, jedynie nieco niższe przy adwekcjach z kierunków północnych (makrotypy NW, N i NE). Przy napływie powietrza z zachodu, północo-zachodu, północy, północo-wschodu oraz wschodu stwierdzono niewielkie prawdopodobieństwo na stacji w Gdańsku. Podobnie jak w pozostałych porach roku, najmniejsze prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia dnia z mgłą odnotowano w Warszawie. Największe prawdopodobieństwo występuje przy makrotypach S, SE i 0.

Zimą przy napływie powietrza z kierunków północnych (makrotypy NW, N i NE) na południu Polski odnotowano mniejszą częstość dni z mgłą niż na północy czy w centrum (rys. 9). Największa częstość występuje w Krakowie przy napływie powietrza z południo-zachodu (26,3%), a najmniejsza przy adwekcji z północo-wschodu. Największym zróżnicowaniem częstości na poszczególnych stacjach w Polsce charakteryzuje się makrotyp SW. W porze zimowej najmniejszą częstość odnotowano przy adwekcji z północo-wschodu, za sprawą niewielkiej częstości makrotypu NE. Znaczną zmiennością częstości dni z mgłą charakteryzuje się stacja w Gdańsku – mała częstość przy adwekcji z północo-zachodu, północy i północo-wschodu, a duża z południo-zachodu, południa i południo-wschodu.

Najmniejsze prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia dnia z mgłą zimą stwierdzono przy makrotypach NW i NE, a największe przy 0 oraz S (rys. 10). W Krakowie i Poznaniu zaobserwowano największe prawdopodobieństwo warunkowe. W Gdańsku najmniejsze prawdopodobieństwo występuje przy napływie powietrza z północo-zachodu, zachodu i północy. W Krakowie podczas napływu powietrza z zachodu i południo-zachodu odnotowano wyraźnie większe prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia dnia z mgłą. Dużym prawdopodobieństwem cechuje się także makrotyp 0. Przy adwekcji z zachodu, południo-zachodu, południa i południo-wschodu prawdopodobieństwo jest wyższe w Krakowie niż Rzeszowie, przy pozostałych makrotypach jest ono zbliżone.

Podsumowanie i wnioski

W pracy, zgodnie z jej celem, dokonano oceny wpływu cyrkulacji atmosferycznej na występowanie mgieł na obszarze Polski. Z przeprowadzonych analiz wynika, że bardzo ważną rolę w występowaniu dni z mgłą odgrywają kierunki adwekcji powietrza. Znając prognozowany typ cyrkulacji, można określić prawdopodobieństwo wystąpienia mgły. Zależność ta ma duże znaczenie praktyczne, które jest pomocne w prognozowaniu mgły na danym obszarze.

Podczas adwekcji z kierunków północnych do Polski dociera chłodne powietrze o chwiejnej równowadze (Kaczorowska 1986; Woś 1999). Warunki te nie sprzyjają powstawaniu mgieł. Napływające ze wschodu powietrze cechuje stała równowaga, przez co często występują mgły. Przy napływie powietrza z południa zostały odnotowane największe wartości tak częstości, jak i prawdopodobieństwa warunkowego występowania dni z mgłą. Napływające z tego kierunku powietrze zwrotnikowe jest ciepłe i wilgotne oraz zawiera dużo jąder kondensacji. Masy powietrza napływające z zachodu to najczęściej powietrze polarne morskie. Cechuje je chwiejna równowaga, dlatego częstość i prawdopodobieństwo występowania dni z mgłą są niewielkie. Przy braku adwekcji tworzą się inwersje temperatury, sprzyjające powstawaniu mgieł.

Przestrzenne zróżnicowanie występowania mgły w Polsce w danym typie cyrkulacji wskazuje na istnienie innych czynników, które również mają wpływ na jego kształtowanie. Różnice wynikają między innymi z wpływu warunków lokalnych. Największy wpływ na występowanie mgieł ma rzeźba terenu (głównie położenie lotnisk we wklęsłych formach terenu). W znacznym stopniu na powstawanie mgieł wpływa także obecność zbiorników wodnych. W Szczecinie i Gdańsku widoczny jest łagodzący wpływ morza na klimat, częstość i prawdopodobieństwo warunkowe dni z mgłą są niewielkie, a ich zróżnicowanie w porach roku jest nieznaczne. Lotniska w Warszawie i Poznaniu są położone blisko centrów tych miast, co zmniejsza liczbę dni z mgłą. Częstość i prawdopodobieństwo warunkowe we Wrocławiu są podobne do tych w Poznaniu. Kraków i Rzeszów są położone we wklęsłych formach terenu, dlatego na tych stacjach częstość i prawdopodobieństwo warunkowe są największe.

Analizując występowanie mgieł w typach cyrkulacji, wyznaczono częstość i prawdopodobieństwo warunkowe. Z punktu widzenia prognozowania tego zjawiska, istotniejsze jest prawdopodobieństwo. Pomaga ono skuteczniej przewidzieć wystąpienie mgły, jeżeli znany jest typ cyrkulacji. W tabeli 3 przedstawiono ocenę warunków występowania mgieł przy poszczególnych kierunkach adwekcji powietrza na podstawie prawdopodobieństwa warunkowego. „0" oznacza, że warunki do tworzenia się mgieł są niesprzyjające, „+" umiarkowanie sprzyjające, „++" sprzyjające, „+++" bardzo sprzyjające. Jako kryterium przyjęto średnie prawdopodobieństwo ze wszystkich stacji. Jeżeli było ono mniejsze niż 7,5%, to oznaczało warunki niesprzyjające, wartości 7,5-15% oznaczały warunki umiarkowanie sprzyjające, prawdopodobieństwa z zakresu 15-22,5% oznaczały warunki sprzyjające powstawaniu mgieł, a powyżej 22,5% określały warunki bardzo sprzyjające.

Tabela 3. Ocena warunków występowania mgieł przy poszczególnych kierunkach adwekcji powietrza na podstawie prawdopodobieństwa warunkowego (objaśnienia w tekście)

Table 3. Assessment of fog conditions for respective directions of air advection based on conditional probability (explanation in the text)

Makrotyp	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	0
Wiosna	0	0	+	+	+	+	+	0	+
Lato	0	0	+	+	+	+	+	0	+
Jesień	++	+	+++	+++	+++	+++	++	+	+++
Zima	+	+	++	++	+++	++	+	+	+++

We wcześniejszych publikacjach na temat mgieł w Polsce otrzymano podobne zależności - najwięcej mgieł podczas adwekcji z kierunków południowych, a najmniej podczas napływu powietrza z północy (Łupikasza, Niedźwiedź 2016b; Skomorowski, Piotrowski 2018; Skrzyńska 2019).

Zależność występowania mgły od cyrkulacji atmosfery i warunków lokalnych jest bardzo ścisła. Znajomość tej relacji jest niezmiernie istotna, zwłaszcza z praktycznego punktu widzenia. Prognozowanie typów sytuacji synoptycznych, a co za tym idzie przewidywanie wystąpienia mgieł, w dużym stopniu wpływa na poprawę bezpieczeństwa w ruchu lotniczym oraz umożliwia jego optymalizację.

Literatura

Collier C., 1970, Fog at Manchester, Weather, 25 (1), 25-29, DOI: 10.1002/j.1477-8696.1970.tb03225.x

De Villiers M., Van Heerden J., 2007, Fog at Abu Dhabi International Airport, Weather, 62 (8), 209-214, DOI: 10.1002/wea.45

Friedlein M., 2004, Dense fog climatology. Chicago O'Hare International Airport. July 1996 – April 2002, Bulletin of American Meteorological Society, 85 (4), 515–517

Houssos E., Lolis C., Gkikas A., Hatzianastassiou N., Bartzokas A., 2011, On the atmospheric circulation characteristics associatedwith fog in Ioannina, north-western Greece, International Journal of Climatology, 32 (12), 1847-1862, DOI: 10.1002/joc.2399

Huschke R. (red.), 1959, Glossary of meteorology, American Meteorological Society, USA, 638 s.

Ilków A., 2011, Czynnik ludzki w systemie bezpieczeństwa ruchu lotniczego, Prace Instytutu Lotnictwa, 211, 99-119

Iribarne J., Cho H., 1988, Fizyka atmosfery, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 258 s.

Jafernik H., Fellner A., Fellner R., 2016, Meteorologia w transporcie, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 321 s.

Kaczorowska Z., 1986, Pogoda i klimat, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa, 315 s.

Kossowska-Cezak U., Bajkiewicz-Grabowska E. (red.), 2008, Podstawy hydrometeorologii, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 266 s.

Krzyszkowski A., Zieliński E., Pawelczyk Z., Telak J., Boniek B., 2014, Podstawowe przyczyny katastrof w lotnictwie pasażerskim - wybrane aspekty, Logistyka, 4, 645-651

Lisowski K., 1935, O częstotliwości i warunkach synoptycznych powstawania mgieł w Polsce, Prace PIHM, 5

Lityński J., 1969, Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski, Prace PIHM, 97, 3-14

Łupikasza E., Niedźwiedź T., 2016a, Cyrkulacyjne uwarunkowania występowania mgieł i ograniczonej widzialności w Hornsundzie (Spitsbergen), Problemy Klimatologii Polarnej, 26, 5-16

Łupikasza E., Niedźwiedź T., 2016b, Synoptic climatology of fog in selected locations of southern Poland (1966–2015), Bulletin of Geography, Physical Geography Series, 11, 5-15, DOI: 10.2478/11196

Skomorowski A., Piotrowski P., 2018, The occurrence of fog at meteorological stations located on the airport in Poland in the years 2005–2015, Przegląd Geofizyczny, 4, 315-327

Skrzyńska M., 2019, Występowanie mgły na wybranych lotniskach w Południowej Polsce i jego uwarunkowania cyrkulacyjne, Prace Geograficzne, 158, 27-44, DOI: 10.4467/20833113PG.19.014.10918

Slemmer J., 2004, Study of dense fog at the Salt Lake City International Airport and its impact to aviation, Western Region Technical Attachment No. 04-01, dostępne online: https://www.weather.gov/media/wrh/online_publications/TAs/ta0401.pdf (08.01.2021)

Niedźwiedź T. (red.), 2003, Słownik meteorologiczny, IMGW, Polskie Towarzystwo Geofizyczne, Warszawa, 495 s.

Stern H., Parkyn H., 1999, Predicting the likelihood of Fog at Melbourne Airport, Annual Meeting of American Meteorological Society, Dallas, Texas

Stolot A., 2013, Liczba dni z mgłą na lotnisku Katowice-Pyrzowice w latach 2005-2010 w oparciu o typy cyrkulacji atmosfery, [w:] Z badań nad wpływem antropopresji na środowisko, R. Machowski, M. Rzętała (red.), Prace Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, 14, Studenckie Koło Naukowe Geografów UŚ, Sosnowiec, 51-59

Szot S., 2013, Synoptyczne uwarunkowania zjawisk niebezpiecznych dla lotnictwa, Zeszyty Naukowe Towarzystwa Doktorantów UJ, Nauki Ścisłe, 7, 25-38

Teixeira J., Miranda P., 2001, Fog prediction at Lisbon airport using a one dimensional boundary layer model, Meteorological Applications, 8 (4), 497-505, DOI: 10.1017/S135048270100411X

Ustrnul Z., Czekierda D., 2009, Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych w Polsce, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa, 182 s.

Van Schalkwyk L., Dyson L., 2013, Climatological characteristics of fog at Cape Town International Airport, Weather and Forecasting, 28 (3), 631-646, DOI: 10.1175/WAF-D-12-00028.1

Wiążewski W., Bąkowski R., 2007, Sytuacje synoptyczne sprzyjające wystąpieniu mgieł na lotnisku Kraków-Balice, [w:] Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych, K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), IGiGP UJ, Kraków, 337-345

Woś A., 1999, Klimat Polski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 301 s.

Ye H., 2009, The influence of air temperature and atmospheric circulation on winter fog frequency over Northern Eurasia, International Journal of Climatology, 29 (5), 729-734, DOI: 10.1002/joc.1741

Streszczenie

Celem pracy jest określenie wpływu cyrkulacji atmosfery na występowanie mgieł na wybranych lotniskach w Polsce. Wykorzystano dane z okresu 1981-2015, obejmujące liczbę godzin z mgłą w poszczególnych dniach na stacjach w Szczecinie, Gdańsku, Poznaniu, Warszawie, Wrocławiu, Krakowie i Rzeszowie. Typy cyrkulacji atmosferycznej zostały opisane zgodnie z typologią J. Lityńskiego. Dodatkowo wykorzystano dane uzupełniające, obejmujące Numeryczny Model Terenu (DEM), mapy sieci rzecznej i zbiorników wodnych w Polsce oraz mapę pokrycia terenu CORINE Land Cover 2012. Z przeprowadzonych analiz wynika, że istotną rolę w występowaniu dni z mgłą odgrywają kierunki adwekcji powietrza. W większości przypadków najwięcej dni z mgłą występowało podczas adwekcji powietrza z kierunków południowych, a najmniej z północnych, niezależnie od pory roku. Zróżnicowanie przestrzenne występowania mgły w określonym typie cyrkulacji jest spowodowane między innymi wpływem warunków lokalnych. Największy wpływ wykazują rzeźba terenu i obecność zbiorników wodnych.

Słowa kluczowe: mgła, lotniska, Polska, cyrkulacja atmosfery.

Summary

The aim of this paper is to examine the influence of atmospheric circulation on the occurrence of days with fog at the airports in Poland. The data included the number of hours with fog on particular days in the period of 1981-2015 on the stations in Szczecin, Gdańsk, Poznań, Warszawa, Wrocław, Kraków and Rzeszów. The study uses the circulation typology by J. Lityński. Additionallny, Digital Elevation Model, map of rivers and water reservoirs in Poland and land cover map CORINE 2012 were used in this research. The occurrence of days with fog in particular circulation types was assessed with the frequency and conditional probability.

It was found that the directions of air advection play an important role in the occurrence of days with fog. In most cases the most days with fog occurred during air advection from southern directions and the least from northern ones. The spatial diversity of fog occurrence in a given type of circulation is caused by the influence of local conditions. The strongest influence is exerted by the relief and the presence of water reservoirs.

Key words: fog, airports, Poland, atmospheric circulation.