

Małgorzata KIRSCHENSTEIN

 Lotnicza Akademia Wojskowa
 e-mail: m.kirschenstein@law.mil.pl
 ORCID: 0000-0002-4817-083X

Krzysztof CUR

 Lotnicza Akademia Wojskowa
 e-mail: k.cur@law.mil.pl
 ORCID: 0000-0003-4552-445X

DOI: 10.55676/asi.v3i1.39

ANALIZA ZJAWISKA MGŁY W ASPEKCIE WYKONYWANIA OPERACJI LOTNICZYCH NA WYBRANYCH LOTNISKACH W POLSCE

ANALYSIS OF THE PHENOMENON OF FOG IN THE ASPECT OF PERFORMANCE OF AIR OPERATIONS AT SELECTED AIRPORTS IN POLAND

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę zjawiska mgły w aspekcie wykonywania operacji lotniczych na wybranych lotniskach w Polsce w latach 1971–2020. Uzasadnieniem wyboru tematu jest praktyczne wykorzystanie uzyskanych wyników w lotnictwie. Operacje startów i lądowań są uzależnione przede wszystkim od warunków pogodowych. Do jednych z najważniejszych należy mgła ograniczająca widzialność do poniżej 1000 m. Podczas występowania ograniczenia widzialności statki powietrzne oraz lotniska powinny być wyposażone w systemy umożliwiające wykonywanie procedur odlotu i podejścia do lądowania bez widzialności. W innym przypadku operacje lotnicze należy wstrzymać, ze względu na duże prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji niebezpiecznych. W związku z powyższym opracowanie statystyczne częstości i czasu trwania mgły oraz wyznaczenie okresów ich nasilenia stanowi istotną wiedzę w aspekcie zarządzania ruchem lotniczym. Założono, że realizacja celu artykułu będzie oparta o analizy zmienności czasowej oraz jej regionalnym zróżnicowaniu, wyrażonym w rozkładzie przestrzennym liczby i czasu trwania mgieł na wybranych lotniskach w Polsce. Dynamiczne ujęcie wybranego elementu jest bardzo istotnym problemem, którego rozwiązanie pozwoli na określenie indywidualnych cech wieloletniej zmienności mgieł.

Słowa kluczowe: mgła, operacja lotnicza, lotniska, Polska

Abstract

The article presents an analysis of the phenomenon of fog in terms of the performance of flight operations at selected airports in Poland in 1971–2020. The rationale for choosing the topic is the practical use of the results obtained in aviation. Takeoff and landing operations depend primarily on weather conditions. Among the most important is fog that limits visibility to less than 1000 meters. During the presence of visibility limitation, aircraft and airports should be equipped with systems that allow departure and landing approach procedures to be performed without visibility. Otherwise flight operations should be halted, due to the high probability of dangerous situations. In view of the above, the statistical study of the frequency and duration of fog, as well as the determination of periods of their severity, constitutes important knowledge in the aspect of air traffic management. It was assumed that the realization of the purpose of the article will be based on the analysis of temporal variability and its regional variation, expressed in the spatial distribution of the number and duration of fog at selected airports in Poland. The dynamic inclusion of the selected element is a very important problem, the solution of which will make it possible to determine the individual characteristics of multi-year fog variability.

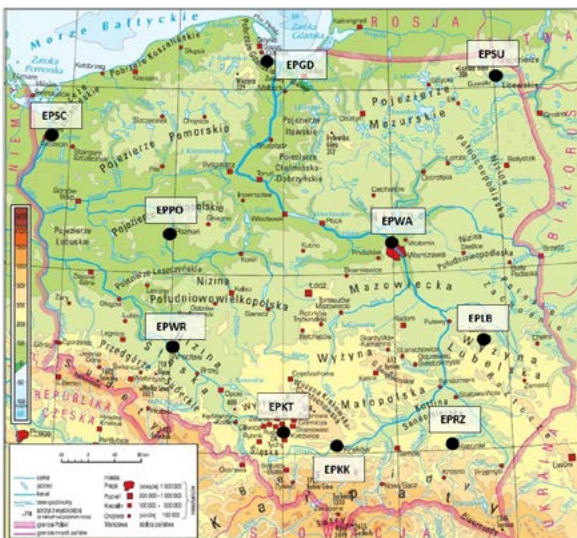
Keywords: fog, air operation, airports, Poland

1. WSTĘP

Celem artykułu była analiza statystyczna zjawiska mgły w aspekcie wykonywania operacji lotniczych na 10 wybranych lotniskach w Polsce:

- Szczecin-Goleniów im. NSZZ „Solidarność” (kod ICAO – EPSC) – położone na wysokości 47 m n.p.m.;
- Gdańsk-Rębiechowo im. Lecha Wałęsy (kod ICAO – EPGD) – położone na wysokości 138 m n.p.m.;
- Poznań-Ławica (kod ICAO – EPPO) – położone na wysokości 94 m n.p.m.;
- Wrocław-Strachowice im. Mikołaja Kopernika (kod ICAO – EPWR) – położone na wysokości 123 m n.p.m.;
- Katowice-Pyrzowice (kod ICAO – EPKT) – położone na wysokości 303 m n.p.m.;
- Kraków-Balice im. Jana Pawła II (EPKK) – położone na wysokości 241 m n.p.m.;
- Rzeszów-Jasionka (kod ICAO – EPRZ) – położone na wysokości 211 m n.p.m.;
- Lublin (kod ICAO – EPLB) – położone na wysokości 203 m n.p.m.;
- Chopina w Warszawie (kod ICAO – EPWA) – położone na wysokości 110 m n.p.m.;
- lotnisko sportowe Aeroklubu Suwalskiego (kod ICAO – EPSU) – położone na wysokości 179 m n.p.m.

Wybrane lotniska położone są w różnych częściach Polski¹ i na różnych wysokościach nad poziomem morza. Położenie geograficzne oraz uwarunkowania lokalne mają duży wpływ na tworzenie się mgieł i będą powodowały różnice w ich rozkładzie (rys. 1).



Rys. 1. Rozkład wybranych lotnisk na obszarze Polski

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <http://regiony-projekt.gozych.edu.pl/> [dostęp: 20.11.2023].

¹ <http://regiony-projekt.gozych.edu.pl/> [dostęp: 20.11.2023].

W analizie uwzględniono dane z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej z lat 1971–2020 (50 lat) dotyczące liczby dni z mgłami oraz czasu występowania mgieł w godzinach. Analizę danych przeprowadzono dla przebiegu rocznego oraz przebiegu wieloletniego. Do oceny tendencji zmian zastosowano metodę regresji liniowej. Mapy rozkładu przestrzennego liczby mgieł, czasu trwania w godzinach oraz czasu trwania jednej mgły opracowano w programie graficznym SURFER15. Metoda ta pozwoliła ocenić zróżnicowanie w rozkładzie mgieł na wybranych lotniskach w Polsce oraz wskazać przyczyny ich występowania.

2. PRZEGLĄD LITERATURY

W lotnictwie widzialność odgrywa szczególnie istotną rolę podczas operacji startu i lądowania, które odbywają się na małej wysokości i wymagają od załogi wykonania największej liczby czynności w krótkim czasie. Trudne warunki atmosferyczne podczas startu i lądowania spowodowane zmniejszoną widzialnością mogą mieć niekorzystny wpływ na zaistnienie zdarzenia lotniczego, którego skutki mogą doprowadzić do katastrofy.

W literaturze podejmowana jest tematyka związana z wpływem ograniczonej widzialności na bezpieczne wykonywanie operacji lotniczych. O ważności tego zagadnienia świadczy analiza statystyczna wypadków lotniczych na świecie w latach 1967–2010. W badanym okresie uwzględniono elementy meteorologiczne, które mają wpływ na określone fazy lotu. Stwierdzono, że w fazie startu największy wpływ na bezpieczeństwo ma widzialność (65% wypadków), podobnie w fazie wznoszenia (52% wypadków) oraz podczas fazy lądowania (45%). Najmniejszy wpływ widzialność ma podczas fazy lotu (16%)².

W literaturze znajdują się opracowania dotyczące zjawiska mgły dla wybranych lotnisk w Polsce i obejmują różne okresy badawcze. Analizą zjawiska mgły zajmowała się między innymi Skrzyńska³, która badała występowanie mgły oraz jej uwarunkowania cyrkulacyjne na wybranych lotniskach w południowej Polsce (wzięta pod uwagę 3 lotniska) w latach 1981–2010. Badaniem zależności występowania mgieł od cyrkulacji na wybranych lotniskach w Polsce zajmowała się również Śmigiera⁴ – w opracowaniu uwzględniła dane z okresu 1981–2015 z ośmiu lotnisk. Problematyka mgieł na polskich lotniskach była również przedmiotem badań innych autorów: Wiązewskiego

² J. Mazon, J.I. Rojas, M. Lozano, D. Pino, X. Prats, M.M. Miglietta, *Influence of meteorological phenomena on worldwide aircraft accidents in the period 1967-2010*, 2017, <https://doi.org/10.1002/met.1686>.

³ M. Skrzyńska, *Występowanie mgły na wybranych lotniskach w południowej Polsce i jego uwarunkowania cyrkulacyjne*, „Prace Geograficzne” 2019, nr 158, s. 27–44, DOI: 10.4467/20833113PG.19.014.10918.

⁴ S. Śmigiera, *Cyrkulacyjne uwarunkowania występowania mgieł na wybranych lotniskach w Polsce*, „Przegląd Geofizyczny” 2021, R. LXVI, z. 1–2.

i Bąkowskiego⁵ w latach 1973–2002, Stolota⁶ w latach 2005–2010, Skomorowskiego i Piotrowskiego⁷ w latach 2005–2015. Związek występowania mgieł i ich cyrkulacyjne uwarunkowania badali również Łupikasza i Niedźwiedź⁸ w latach 1966–2015, Błaś i Sobik⁹ w latach 1994–2000 oraz Głowacka i in.¹⁰ w latach 1973–2002. Natomiast Ustrnul i Czekierda¹¹ analizowali mgły trwające ponad dobę w różnych typologiach cyrkulacji. Analizą rozkładu przestrzennego mgieł na obszarze Polski zajmował się natomiast Piwkowski¹². Na uwagę zasługuje opracowanie klimatologiczne mgły na obszarze Polski w latach 1981–2010¹³ oraz analiza ryzyka wystąpienia mgły na wybranych stacjach w Polsce, opracowana dla okresu 1971–2005¹⁴.

W związku z tym, że opracowania te dotyczą różnych okresów badawczych oraz odnoszą się do kilku wybranych lotnisk – przygotowano opracowanie liczby dni z mgłą, czasu trwania oraz czasu trwania jednej mgły w godzinach dla długiego ciągu pomiarowego 1971–2020 (50 lat) dla dziesięciu lotnisk w Polsce, w tym opracowano zjawisko mgły w aspekcie tendencji zmian.

3. CHARAKTERYSTYKA ZJAWISKA MGŁY

Mgła jest produktem kondensacji pary wodnej. Występuje w warstwie przyziemnej atmosfery. Jej skoncentrowanie powoduje spadek widzialności do wartości mniejszej niż 1000 m. Bardzo silne mgły mogą ograniczyć widzialność nawet do kilku metrów. W zależności od temperatury mgły mogą składać się z kropel wody (w temperaturach dodatnich), przechłodzonych kropel wody (w temperaturach nieznacznie poniżej 0°C), kropel wody oraz kryształków lodu (poniżej –10°C)¹⁵.

W dokumentacji lotniczo-meteorologicznej wskaźnik mgły (skrót FG – ang. *fog*) stosuje się, gdy skutek kondensacji (mgła FG lub mgła marznąca FZFG – ang. *freezing*

⁵ W. Wiązewski, R. Bąkowski, *Sytuacje synoptyczne sprzyjające wystąpieniu mgieł na lotnisku Kraków-Balice*, [w:] *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, red. K. Piotrowicz, R. Twardosz, IGiP UJ, Kraków 2007, s. 337–345.

⁶ A. Stolot, *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*, red. R. Machowski, M. Rzętała, „Prace Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego” 2013, nr 14, s. 51–59.

⁷ A. Skomorowski, P. Piotrowski, *The occurrence of fog at meteorological stations located on the airport in Poland in the years 2005-2015*, „Przegląd Geofizyczny” 2018, nr 4, s. 315–327.

⁸ E. Łupikasza, T. Niedźwiedź, *Synoptic climatology of fog in selected locations of southern Poland (1966-2015)*, „Bulletin of Geography, Physical Geography Series” 2016, nr 11, s. 5–15, DOI: 10.2478/11196.

⁹ M. Błaś, M. Sobik, *The distribution of fog frequency in the Carpathians*, „Geographia Polonica” 2004, nr 77, s. 19–34.

¹⁰ A. Głowacka, R. Bąkowski, W. Wiązewski, M. Paradowski, *Weather patterns: conditions preceding fog formation at Warsaw and Cracow airports*, [w:] *Proceedings, Short range forecasting methods of fog, visibility and low clouds*, red. S.C. Michaelides, Larnaca 2005, s. 3–78.

¹¹ Z. Ustrnul, D. Czekierda, *Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych w Polsce*, IMGW, Warszawa 2009, s. 182.

¹² H. Piwkowski, *Rozkład mgieł w Polsce i ich długotrwałość*, „Przegląd Geofizyczny” 1976, nr 21, s. 41–49.

¹³ *Meteorologiczna osłona kraju. Vademecum. Niebezpieczne zjawiska meteorologiczne geneza, skutki, częstość występowania, część druga – jesień, zima*, praca zbiorowa, IMGW–PIB, Warszawa 2013.

¹⁴ *Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju. Identyfikacja i ocena ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych i hydrologicznych w Polsce w II połowie XX wieku – Ryzyko wystąpienia mgły*, red. H. Lorenz, IMGW–PIB, Warszawa 2012.

¹⁵ T. Compa, J. Rajchel, *Meteorologia dla pilota*, WSOSP, Dęblin 2012.

fog) widzialność jest mniejsza niż 1000 m. W tym przypadku wskaźnik FG koduje się bez wskaźników: MI (ang. *shallow*), BC (ang. *patches*), PR (ang. *partial*) lub VC (ang. *in the vicinity*):

- wskaźnik MIFG stosuje się, gdy widzialność na poziomie do 2 m nad gruntem wynosi 1000 m lub więcej, a we mgle jest mniejsza niż 1000 m;
- wskaźnik VCFG stosuje się do każdego rodzaju mgły zaobserwowanej w pobliżu lotniska;
- wskaźnik BCFG stosuje się przy mgle w płatach. Stosuje się go tylko wtedy, gdy widzialność w części lotniska wynosi 1000 m lub więcej. Jeśli jednak mgła występuje w pobliżu miejsca obserwacji, to minimalna widzialność przekazywana pod musi być mniejsza od 1000 m;
- wskaźnik PRFG używany jest przy mgle częściowo pokrywającej lotnisko. Widzialność w płatach mgły lub w jej warstwie musi być mniejsza niż 1000 m, a wysokość tej warstwy musi być nie mniejsza niż 2 m nad gruntem¹⁶.

Symbole zawarte w dokumentacji lotniczo-meteorologicznej są zgodne z wytycznymi Załącznika 3 do Konwencji ICAO¹⁷. Ponadto zabezpieczenie meteorologiczne lotów przez wojskowe statki powietrzne odbywa się zgodnie z wymaganiami zawartymi w następujących dokumentach:

- Instrukcja zabezpieczenia meteorologicznego działań powietrznych Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej (IZMDP-2022) wprowadzona do użytku Decyzją Nr 1/SG Ministra Obrony Narodowej z dnia 20 stycznia 2023 r. DU-3.3.31.8¹⁸;
- Wytyczne SSH SZ RP w sprawie niebezpiecznych zjawisk pogody (NZP) i warunków meteorologicznych zagrażających bezpieczeństwu działań powietrznych. Marzec 2023¹⁹;
- Wytyczne SSH SZ RP w sprawie: autoryzowanych źródeł informacji hydrologiczno-meteorologicznej; wzorów formularzy ostrzeżeń na potrzeby działań powietrznych; wzorów opracowanych informacji meteorologicznych i dokumentacji. Marzec 2023²⁰;
- Wytyczne SSH SZ RP w sprawie: wprowadzenia ostrzeżeń lotniczych obszarowych w formie graficznej do planowania i realizacji zabezpieczenia meteorologicznego zadań lotniczych. Grudzień 2022²¹.

¹⁶ Wytyczne SSH SZ RP w sprawie programu wykonywania pomiarów i obserwacji elementów meteorologicznych oraz metodyki opracowywania depeesz SYNOP, METAR, SPECI I TAF. Edycja (F), SSH SZ RP, Warszawa, styczeń 2023.

¹⁷ Załącznik 3 do Konwencji ICAO „Służba meteorologiczna dla międzynarodowej żeglugi powietrznej”, wyd. 20, lipiec 2018.

¹⁸ Instrukcja zabezpieczenia meteorologicznego działań powietrznych Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej (IZMDP-2022) wprowadzona do użytku Decyzją Nr 1/SG Ministra Obrony Narodowej z dnia 20 stycznia 2023 r. DU-3.3.31.8.

¹⁹ Wytyczne SSH SZ RP w sprawie niebezpiecznych zjawisk pogody (NZP) i warunków meteorologicznych zagrażających bezpieczeństwu działań powietrznych, marzec 2023.

²⁰ Wytyczne SSH SZ RP w sprawie autoryzowanych źródeł informacji hydrologiczno-meteorologicznej; wzorów formularzy ostrzeżeń na potrzeby działań powietrznych; wzorów opracowanych informacji meteorologicznych i dokumentacji, SSH SZ RP, Warszawa, marzec 2023.

²¹ Wytyczne SSH SZ RP w sprawie: wprowadzenia ostrzeżeń lotniczych obszarowych w formie graficznej do planowania i realizacji zabezpieczenia meteorologicznego zadań lotniczych, SSH SZ RP, Warszawa, grudzień 2022.

W dokumentacji lotniczo-meteorologicznej informacji o występowaniu mgły zawierają:

- depesze SYNOP, METAR, SPECI, TAF;
- ostrzeżenia lotniskowe;
- prognozę sektorową;
- mapy istotnych zjawisk pogody SIGWX: poziomy SWL, SWM, SWH;
- ostrzeżenia lotnicze obszarowe w formie graficznej na warunki meteorologiczne równe lub mniejsze minimalnym warunkom meteorologicznym;
- ostrzeżenia: depesze AIRMET, GAMET;
- informacje o stanie WMET z depesz SYNOP.

Tworzeniu mgieł sprzyjają określone warunki pogodowe, między innymi:

- słaby wiatr przyziemny;
- małe różnice między temperaturą powietrza a temperaturą punktu rosy ($\leq 4^{\circ}\text{C}$);
- spadki temperatury powietrza podczas bezchmurnych nocy;
- spadki temperatury powietrza podczas napływu ciepłej masy powietrza nad wychłodzone podłoże;
- duża ilość jąder kondensacji w powietrzu;
- kształt i pokrycie terenu;
- wilgotne podłoże²².

Ze względu na procesy prowadzące do tworzenia mgieł wyróżnia się^{23,24}:

- mgły radiacyjne – powstają przy utracie ciepła nad powierzchnią gruntu podczas bezchmurnych nocy. Występuje wówczas silne wychłodzenie radiacyjne podłoża, skutkujące obniżeniem temperatury powietrza znajdującego się w jego bezpośrednim sąsiedztwie i w konsekwencji para wodna zaczyna kondensować. Mgły radiacyjne są mgłami o zasięgu lokalnym, zazwyczaj występują na podmokłych terenach lub w sąsiedztwie zbiorników wodnych, a ich grubość zazwyczaj wynosi kilkadziesiąt metrów;
- mgły adwekcyjne – powstają wskutek przemieszczenia wilgotnego, ciepłego powietrza nad chłodniejszy obszar. Początkowo mgła adwekcyjna utrzymuje się jedynie w warstwie przyziemnej, jednak dzięki turbulencji mgła zajmuje wyższe warstwy masy powietrza. Mgły adwekcyjne mogą osiągać grubość ok. 600 m i więcej. Mgły mieszane powstają, gdy występują oba czynniki adwekcyjne oraz radiacyjne, czyli zarówno napływanie cieplejszego powietrza, jak i ochładzanie się terenu przez oddawanie ciepła do atmosfery;
- mgły frontowe – tworzą się podczas przesuwania się frontu ciepłego bądź frontu okluzji ciepłej nad powierzchnią, nad którą zalegają masy chłodniejszego powietrza. Mgły te mogą tworzyć się przed linią frontu, w czasie jego przejścia oraz za linią frontu;
- mgły orograficzne – ich powstanie jest skutkiem nocnego wychłodzenia kotlin oraz dolin na skutek wypromieniowania ciepła, prowadzące do schłodzenia

²² A. Jaśkowiak, *Lotnicza pogoda – Meteorologia dla pilotów*, 2013.

²³ P. Szewczak, *Meteorologia dla pilota samolotowego*, „AVIA-TEST”, Poznań 2010.

²⁴ *Meteorologia dla pilotów. Poradnik*, Dowództwo Sił Powietrznych, Warszawa 2012.

powietrza przemieszczającego się na dno kotliny/doliny, a tym samym wzrostu wilgotności względnej.

Mgła ze względu na to, że tworzy się przy powierzchni ziemi, stwarza największe zagrożenie podczas startów i lądowań wszystkich statków powietrznych. Powyżej wysokości, do jakiej sięga mgła, widzialność zazwyczaj poprawia się. Szczególnie niebezpieczna jest mgła adwekcyjna, która może powstać niezależnie od pory dnia i nocy, a następnie pozostawać nad dużym obszarem nawet do 2–5 dni. Mgły radiacyjne również stanowią zagrożenie dla operacji lotniczych, niemniej jednak ich charakter jest lokalny, a czas występowania ogranicza się do nocy i pory rannej – zazwyczaj zanikają na początku dnia. Mgły radiacyjne są natomiast gęstsze przy powierzchni ziemi, dlatego też w bardzo dużym stopniu utrudniają lądowanie, lecz nie zakłócają istotnie lotu po trasie, podczas gdy w mgłach adwekcyjnych wraz z wysokością gęstość mgły zwiększa się, przez co widzialność spada^{25,26}.

4. ANALIZA CZĘSTOŚCI WYSTĘPOWANIA I CZASU TRWANIA MGIEŁ

W analizie uwzględniono dane częstości występowania mgieł czasu ich trwania w godzinach oraz określono czas trwania jednej mgły – w okresie 50 lat (1971–2020).

Liczba dni z mgłą

Z analizy danych wynika, że średnia roczna liczba FG (1971–2020) charakteryzowała się dużym zróżnicowaniem między lotniskami, co jest skutkiem położenia geograficznego i uwarunkowań lokalnych klimatu. Wartości wahały się od 34,7 (EPWA) do 67,3 (EPKK), (tabela 1). W porcie lotniczym EPKK w 1972 r. odnotowano aż 116 mgieł.

Tabela 1. Średnia wieloletnia liczba dni z mgłą (1971–2020)

Przyjęta skala barw oznacza nasilenie zjawiska od wartości najniższych – kolor niebieski, do wartości najwyższych – kolor czerwony.

lotnisko	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok	max-min
EPGD	4,1	3,4	3,9	4,0	2,6	2,2	2,3	3,1	3,5	4,3	4,3	3,7	41,3	2,1
EPSC	4,4	4,0	3,9	3,0	2,4	1,9	1,8	3,5	5,6	7,3	6,0	4,4	48,2	5,5
EPPO	7,2	5,7	4,1	2,4	1,9	1,6	1,5	1,9	4,4	7,9	8,5	7,2	54,3	7,1
EPWR	5,8	4,4	3,7	2,8	2,6	2,3	1,7	3,3	6,1	8,3	7,7	5,9	54,5	6,6
EPKT	6,2	5,3	3,6	3,0	2,5	2,2	1,8	2,6	5,4	7,8	7,6	6,5	54,6	6,0
EPWA	4,1	3,7	2,5	1,6	1,2	1,2	1,0	1,6	3,2	5,1	5,1	4,4	34,7	4,2
EPLB	6,5	6,5	4,6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6	5,3	8,1	8,7	7,7	60,6	6,1
EPRZ	4,4	4,5	3,5	3,2	3,8	3,2	3,1	5,5	6,9	7,9	6,2	4,4	56,8	4,8
EPKK	7,5	5,3	4,3	3,0	3,1	2,9	2,2	3,6	7,2	9,8	9,3	8,9	67,3	7,6
EPSU	7,8	5,1	5,4	2,8	2,0	1,8	2,2	3,5	5,5	7,4	8,1	8,0	59,5	6,3

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW).

W przebiegu rocznym zdecydowanie częściej mgły pojawiały się w chłodnym okresie roku. Szczególnie od października do stycznia. Zdecydowanie rzadziej mgły pojawiały się od maja do września (tabela 1). Zakres wahań między miesiącami był również

²⁵ H. Jafernik, Z. Wilczek, J. Ziarko, *Meteorologiczna ostrona działań lotnictwa*, DM Bellona, Warszawa 2000.

²⁶ P. Szewczak, *Meteorologia dla pilota samolotowego*, AVIA-TEST, Poznań 2007.

największy na EPKK (7,6 dni z mgłą). Duże wahania wystąpiły również na lotniskach: EPPO (7,1 dni z mgłą), EPWR (6,6 dni z mgłą), EPSU (6,3 dni z mgłą), EPLB (6,1 dni z mgłą) i EPKT (6,0 dni z mgłą). Najmniejsze różnice w przebiegu rocznym występowały na lotnisku EPGD – 2,1 dni z mgłą (tabela 1).

Czas trwania mgieł w godzinach

Ważnym wskaźnikiem, poza częstością występowania, jest określenie czasu trwania mgieł w godzinach. Jest to wskaźnik pozwalający ocenić rzeczywisty czas występowania mgieł w poszczególnych miesiącach roku i średnio w roku. Otrzymano następujące wyniki: średnio w roku (1971–2020) mgły trwały od około 130,2 godz. na EPWA do 362,7 godz. na EPSU. Na lotnisku EPKK, pomimo iż mgły występowały najczęściej, średni roczny czas ich trwania był krótszy niż na EPSU i wynosił 349,1 godz. (tabela 2). W porcie lotniczym EPKK w 1972 r. odnotowano najwyższą liczbę – 116 mgieł, które łącznie trwały aż 771,9 godz.

Tabela 2. Średni wieloletni czas trwania mgieł w godzinach (1971–2020)

Przyjęta skala barw oznacza nasilenie zjawiska od wartości najniższych – kolor niebieski, do wartości najwyższych – kolor czerwony.

lotnisko	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok	max-min
EPGD	15,6	17,1	19,4	16,6	8,9	6,3	5,3	8,3	11,3	19,5	23,3	17,5	169,0	18,0
EPSC	24,8	18,7	15,5	9,7	5,6	4,1	3,5	8,2	21,0	35,5	35,4	21,0	203,0	32,0
EPPO	38,4	27,5	17,7	6,2	4,3	3,0	2,8	4,7	13,5	35,4	47,2	41,3	241,9	44,3
EPWR	25,6	20,8	13,3	7,8	6,1	4,7	3,3	7,5	17,7	38,8	37,7	28,1	211,3	35,4
EPKT	33,6	22,7	13,0	9,2	6,0	5,2	3,7	6,5	15,6	34,8	36,7	34,9	221,8	33,0
EPWA	18,4	15,3	9,6	4,6	2,5	2,1	1,3	3,6	9,2	20,2	23,4	20,2	130,2	22,1
EPLB	44,2	40,0	25,0	10,5	8,8	7,4	6,9	7,0	19,4	39,9	58,0	50,2	317,3	51,1
EPRZ	23,5	20,1	13,1	9,2	10,0	6,9	6,8	13,0	23,4	36,7	31,2	23,0	217,0	29,9
EPKK	56,3	29,5	18,3	10,0	8,2	7,5	5,2	9,4	25,7	52,5	63,1	63,4	349,1	58,2
EPSU	53,6	40,3	32,3	10,1	5,4	4,6	5,0	9,6	20,2	45,3	74,0	62,6	362,7	69,4

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.

Czas trwania mgieł w poszczególnych miesiącach charakteryzował się dużym zróżnicowaniem między lotniskami. W przebiegu rocznym zdecydowanie dłużej mgły utrzymywały się w chłodnym okresie roku. Szczególnie od października do stycznia. Zdecydowanie krócej mgły utrzymywały się od maja do września. Zakres wahań między miesiącami był największy na EPSU (69,4 godz.). Duże wahania wystąpiły również na lotniskach: EPKK (58,2 godz.) i EPLB (51,1 godz.). Najmniejsze różnice w przebiegu rocznym występowały na lotnisku EPGD – 18 godz. (tabela 2).

Czas trwania jednej mgły w godzinach

Ocena statystyczna czasu trwania jednej mgły jest ważną informacją w lotnictwie, pozwalającą określić najmniej korzystne okresy w roku, kiedy widzialność ograniczona jest do poniżej 1000 m. Z analizy wynika, że średnio w roku jedna mgła trwała najdłużej na EPSU – 6,1 godz., długi był również czas trwania jednej mgły na EPKK i EPLB – 5,2 godz. Natomiast na lotniskach EPWA i EPRZ jedna mgła trwała średnio tylko 3,8 godz. (tabela 3).

Tabela 3. Średni wieloletni czas trwania jednej mgły w godzinach (1971–2020)

Przyjęta skala barw oznacza nasilenie zjawiska od wartości najniższych – kolor niebieski, do wartości najwyższych – kolor czerwony.

lotnisko	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok	max-min
EPGD	3,8	5,1	5,0	4,1	3,4	2,8	2,3	2,7	3,3	4,6	5,4	4,8	4,1	3,1
EPSC	5,7	4,6	3,9	3,3	2,3	2,1	2,0	2,4	3,7	4,9	5,9	4,8	4,2	3,9
EPPO	5,3	4,8	4,4	2,6	2,2	1,9	1,9	2,4	3,0	4,5	5,5	5,7	4,5	3,9
EPWR	4,4	4,7	3,6	2,7	2,3	2,0	1,9	2,3	2,9	4,7	4,9	4,8	3,9	3,0
EPKT	5,4	4,3	3,6	3,0	2,4	2,3	2,0	2,5	2,9	4,4	4,8	5,4	4,1	3,4
EPWA	4,4	4,1	3,9	2,9	2,0	1,7	1,4	2,3	2,8	3,9	4,6	4,6	3,8	3,2
EPLB	6,8	6,1	5,4	3,9	3,2	2,8	2,6	2,7	3,7	5,0	6,7	6,5	5,2	4,3
EPRZ	5,3	4,5	3,7	2,9	2,6	2,1	2,2	2,4	3,4	4,6	5,0	5,2	3,8	3,2
EPKK	7,5	5,6	4,3	3,3	2,6	2,6	2,4	2,6	3,6	5,3	6,8	7,1	5,2	5,1
EPSU	6,8	7,9	6,0	3,6	2,7	2,5	2,2	2,8	3,6	6,1	9,2	7,8	6,1	6,9

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.

Czas trwania jednej mgły w poszczególnych miesiącach charakteryzował się również dużym zróżnicowaniem między lotniskami. W przebiegu rocznym zdecydowanie dłużej mgły zalegały w chłodnym okresie roku. Szczególnie od października do stycznia. Zdecydowanie krócej mgły utrzymywały się w ciepłym okresie roku. Zakres wahań między miesiącami był największy na EPSU (6,9 godz.). Duże wahania wystąpiły również na EPKK (5,1 godz.). Najmniejsze różnice w przebiegu rocznym występowały na lotnisku EPWR – 3,1 godz. (tabela 3).

Z powyższej analizy wynika, że zarówno liczba dni z mgłą, czas trwania w godzinach, jak również czas trwania jednej mgły stanowią największe zagrożenie dla operacji lotniczych w chłodnym okresie roku, szczególnie od października do stycznia. W chłodnym okresie roku mgły występują częściej i trwają dłużej, ponieważ panują korzystniejsze warunki do ich kształtowania. W tym okresie najczęściej występują mgły adwekcyjne i frontowe związane z frontem ciepłym oraz frontem okluzji ciepłej. W chłodnym okresie roku dominuje spływ powietrza z sektora zachodniego, co powoduje częsty napływ ciepłego i wilgotnego powietrza z Oceanu Atlantyckiego nad chłodniejszy obszar kontynentalny, który sprzyja tworzeniu frontów ciepłych. Ponadto w północnej części Polski spływ ciepłego i wilgotnego powietrza z Morza Bałtyckiego sprzyja tworzeniu mgieł adwekcyjnych. Na lotniskach położonych w południowej części Polski orografia terenu jest bardziej zróżnicowana i dodatkowo sprzyja tworzeniu mgieł orograficznych. W chłodnym okresie roku przy temperaturach spadających poniżej zera mgły stają się marznące i powodują oblodzenia statków powietrznych. W ciepłym okresie roku panujące warunki atmosferyczne sprzyjają tworzeniu mgieł radiacyjnych, głównie po zachodzie słońca. Ten rodzaj mgieł dość często zanika po wschodzie słońca.

5. TENDENCJE ZMIAN LICZBY MGIEŁ ORAZ CZASU ICH TRWANIA W PRZEBIEGU WIELOLETNIM

W ostatnich latach szeroko omawiany jest problem tempa zmian i wahań elementów meteorologicznych, w szczególności temperatury powietrza i sum opadów

atmosferycznych. Według raportu IPCC (2023)²⁷ w Polsce zmiany klimatu będą także duże. Nadal będzie postępował wzrost temperatury powietrza. Lata będą coraz gorętsze, częściej będą pojawiać się 35-stopniowe upały. Przy tak wysokiej temperaturze będą występowały burze, którym częściej towarzyszyć będą gradobicia i trąby powietrzne. Pogoda będzie bardzo zmienna. Zimy będą coraz cieplejsze, rzadziej będzie padać śnieg. Więcej będzie opadów deszczu i będą intensywniejsze niż obecnie. W ciepłym półroczu częściej będą występowały susze. Druga połowa jesieni, zima i początek wiosny to okres, kiedy w przyszłości częściej występować będą opady. Ważne są więc badania, które pokazują te zmiany w różnych regionach i są opracowane dla długich ciągów pomiarowych. Przy tak kompleksowej analizie możemy wykazać współzależność elementów meteorologicznych, zróżnicowanie regionalne oraz określić, jaki zespół czynników i procesów klimatotwórczych ma największy wpływ na ich zmienność. W rezultacie, w sposób bardziej dokładny pozna się cechy klimatu wybranego do badań obszaru. Nie otrzymamy pełnego obrazu cech klimatu, poprzez analizę pojedynczych jego elementów, czy też pojedynczych stacji, na których o warunkach klimatycznych w dużym stopniu decydują czynniki lokalne.

W związku z powyższym, podjęto próbę określenia zmienności liczby dni i czasu trwania mgieł na wybranych lotniskach w Polsce w latach 1971–2020. Wobec aktualnie rozwiązywanych problemów związanych ze współczesnym ociepleniem klimatu wykorzystanie 50-letniej serii pomiarów pozwoli na wskazanie tendencji zmian częstości i czasu trwania mgieł jako skutek globalnych zmian klimatu. Analiza zróżnicowania w przebiegu wieloletnim oraz w rozkładzie przestrzennym może stanowić uzupełnienie lub nawet zweryfikowanie wiedzy w skali regionalnej i pokazać różnice w odniesieniu do całego obszaru Polski.

Długi ciąg danych pozwala więc ocenić tendencję zmian mgieł na przestrzeni 50 lat. Do oceny zmian liczby mgieł i czasu ich trwania w funkcji czasu zastosowano metodę regresji liniowej, która określa wzrost lub spadek na jednostkę czasu. Metoda regresji liniowej umożliwi wyznaczenie linii trendu, będącej wykresem funkcji liniowej, gdzie objaśniającą X jest zmienna czasowa t , czyli dane stanowią szereg czasowy. Funkcja liniowa trendu jest wyrażona wzorem:

$$y = a \cdot t + b$$

gdzie:

y – wartość danego zjawiska uzależniona od t ;

t – zmienna czasowa;

a – współczynnik kierunkowy trendu: $a = \frac{\sum(t_i - \bar{t}) \cdot (Y_i - \bar{y})}{\sum((t_i - \bar{t})^2)}$;

b – wyraz wolny trendu: $b = \bar{y} - a \cdot \bar{t}$;

t_i, y_i – wartości zmiennych t i y ;

\bar{t}, \bar{y} – średnie zmiennych t i y .

²⁷ <https://www.ipcc.ch/> [dostęp: 18.07.2023].

Gdy $a > 0$, to trend jest rosnący. Im a jest większe, tym wartość y szybciej rośnie w czasie. Gdy $a < 0$, to trend maleje. Im mniejsze a , tym wartość y szybciej maleje²⁸.

Liczba dni z mgłą

Na podstawie równań trendu liniowego obliczono tendencję zmian liczby dni z mgłą i czasu ich trwania w godzinach w okresie 50 lat. Z przeprowadzonej analizy wynika, że w badanym 50-leciu średnia roczna liczba dni z mgłą na dziewięciu lotniskach wykazała tendencję spadkową od $-2,4$ dni z mgłą/50 lat na EPKK do $-31,2$ dni z mgłą/50 lat na EPKK. Duże tendencje spadkowe wystąpiły również na EPPO ($-29,1$ dni z mgłą/50 lat) i EPRZ ($-29,0$ dni z mgłą/50 lat). Tendencja wzrostowa wystąpiła wyłącznie na EPSU ($18,5$ dni z mgłą/50 lat) – tabela 4.

W przebiegu rocznym największe tendencje spadkowe liczby dni z mgłą wystąpiły w lutym, natomiast listopad charakteryzuje się tendencją wzrostową liczby dni z mgłą na wszystkich lotniskach (tabela 4).

Tabela 4. Przyrost/spadek liczby dni z mgłą w okresie 50 lat, obliczony na podstawie równania trendu liniowego (1971–2020)

Przyjęta skala barw oznacza nasilenie zjawiska od wartości najniższych – kolor niebieski, do wartości najwyższych – kolor czerwony.

lotnisko	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
EPGD	-1,7	-3,8	-3,8	-1,1	-0,6	-3,4	-2,4	-4,1	-1,5	-1,4	2,4	-3,2	-24,4
EPSC	-4,5	-5,7	-1,9	-2,5	-0,9	-1,8	-0,1	-1,1	-3,5	-4,5	2,1	-1,1	-25,5
EPPO	-4,4	-7,4	-4,0	-2,2	0,4	-1,2	0,0	0,2	-3,8	-3,6	0,9	-4,0	-29,1
EPWR	-2,9	-5,4	-0,3	-1,0	-1,0	-0,1	0,2	-2,1	-2,8	-1,5	2,3	-2,7	-17,4
EPKT	-3,5	-4,3	-0,3	-1,1	-0,1	-1,3	-0,4	-2,9	-5,3	1,1	5,0	2,0	-11,0
EPWA	-2,0	-4,3	-2,5	-2,0	-0,4	-1,7	-1,2	-2,5	-4,5	-1,0	0,5	-2,8	-24,5
EPLB	2,5	-2,2	-1,1	0,0	-1,1	-0,4	-0,6	-0,8	-2,7	1,2	3,4	-0,6	-2,4
EPRZ	-2,1	-3,1	-2,6	-1,0	-4,0	-3,1	-2,7	-4,0	-5,9	-2,1	2,2	-0,7	-29,0
EPKK	-5,6	-4,8	-1,9	-2,0	-1,4	-2,2	-1,3	-4,3	-8,3	-2,5	4,3	-1,9	-31,2
EPSU	2,6	0,2	-0,8	0,6	0,4	0,2	1,5	3,1	2,2	4,2	47,7	-0,5	18,5

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.

Czas trwania mgieł w godzinach

Czas trwania mgieł w godzinach w badanym 50-leciu na wszystkich lotniskach wykazał się tendencją spadkową od $-82,8$ godz./50 lat na EPSU do $-289,7$ godz./50 lat na EPKK. Duże tendencje spadkowe wystąpiły również na EPPO ($-256,3$ godz./50 lat) i EPSC ($-214,5$ godz./50 lat). Z analizy wynika, że pomimo iż na EPSU wystąpiła tendencja wzrostowa częstości mgieł, to ich łączny czas trwania wykazał tendencję spadkową. W przebiegu rocznym największe tendencje spadkowe czasu trwania mgieł wystąpiły w miesiącach zimowych. W listopadzie liczba mgieł charakteryzuje się tendencją wzrostową na większości lotnisk, poza EPPO i EPWA (tabela 5).

²⁸ M. Sobczyk, *Statystyka*, Warszawa 2005.

Tabela 5. Przyrost/spadek czasu trwania mgły w godzinach, w okresie 50 lat, obliczony na podstawie równania trendu liniowego (1971–2020)

Przyjęta skala barw oznacza nasilenie zjawiska od wartości najniższych – kolor niebieski, do wartości najwyższych – kolor czerwony.

lotnisko	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
EPGD	-11,3	-28,6	-36,0	-3,9	-4,2	-9,9	-7,8	-10,4	-8,6	-15,2	0,4	-18,2	-153,7
EPSC	-38,6	-41,8	-15,2	-12,6	-2,4	-6,7	-1,5	-6,8	-27,2	-41,2	1,8	-22,2	-214,5
EPPO	-49,3	-53,1	-29,9	-9,2	0,2	-3,3	-2,7	-3,1	-17,2	-34,1	-6,0	-48,8	-256,3
EPWR	-23,9	-36,7	-4,6	-5,3	-3,2	-0,3	1,7	-9,4	-16,2	-29,0	6,9	-21,0	-140,9
EPKT	-43,1	-30,4	-8,0	-11,9	-4,5	-6,6	-5,4	-13,2	-29,7	-16,2	5,5	0,8	-162,6
EPWA	-15,7	-26,3	-8,6	-7,7	-1,7	-3,0	-1,3	-6,6	-13,7	-12,1	-4,4	-16,4	-117,4
EPLB	6,1	-31,4	-20,1	-6,4	-6,6	-3,8	-1,6	-3,6	-19,5	-9,3	10,0	-18,2	-104,4
EPRZ	-15,7	-28,4	-14,9	-5,4	-9,9	-6,6	-7,0	-10,8	-31,0	-9,8	14,4	-8,7	-133,8
EPKK	-89,7	-49,6	-19,9	-10,7	-6,2	-8,3	-5,5	-15,9	-40,3	-25,4	13,3	-31,5	-289,7
EPSU	-0,6	-31,3	-24,6	-0,2	-0,9	-1,8	-1,7	5,1	-0,1	-13,5	20,2	-34,0	-82,8

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.

Z powyższej analizy wynika, że największe tendencje spadkowe liczby dni z mgłą i czasu trwania mgieł w godzinach wystąpiły w chłodnym okresie roku (poza listopadem) – szczególnie w miesiącach zimowych. Na zróżnicowanie częstości i czasu trwania mgły w godzinach mają wpływ położenie geograficzne lotnisk oraz uwarunkowania lokalne. Natomiast tendencja spadkowa częstości mgieł w okresie 50 lat jest skutkiem przede wszystkim wzrostu temperatury powietrza w skali globalnej, w tym na obszarze Polski.

6. ANALIZA CZĘSTOŚCI WYSTĘPOWANIA I CZASU TRWANIA MGIEŁ NA OBSZARZE POLSKI

Rozkłady przestrzenne stanowią istotne źródło informacji o nierównomiernym rozkładzie zjawiska mgły na obszarze naszego kraju. Polska ma jeden typ klimatu – umiarkowany ciepły o cechach przejściowych. Ważną rolę spełnia tu cyrkulacja atmosferyczna i związana z nią adwekcja mas powietrza, transport pary wodnej w dolnych warstwach atmosfery, rozwój ruchów konwekcyjnych oraz stopniowa transformacja mas powietrza na drodze od wybrzeża Atlantyku, powodująca wzrost cech kontynentalnych klimatu na wschód. Cyrkulacja atmosferyczna jest jednym z ważniejszych czynników klimatotwórczych w skali globalnej, regionalnej i lokalnej, który decyduje o tym, czy na badanym obszarze mamy do czynienia z przewagą wpływów kontynentalnych, czy też oceanicznych²⁹, a one przekładają się na kształtowanie wszystkich elementów meteorologicznych, w tym mgieł. Do ważnych czynników, które wpływają na zróżnicowanie regionalne rozkładu mgieł, należą także uwarunkowania lokalne. Między innymi charakter podłoża – jego właściwości termiczne, aerodynamiczne i wilgotnościowe – wpływa na procesy radiacyjne, które decydują o wymianie energii na powierzchni granicznej między atmosferą i podłożem oraz w wyższych warstwach troposfery. Wielkość tej wymiany jest zmienna w różnych cyklach czasowych (doba,

²⁹ M. Kirschenstein, *Zmienność temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w północno-zachodniej Polsce*, Słupsk 2013, s. 238.

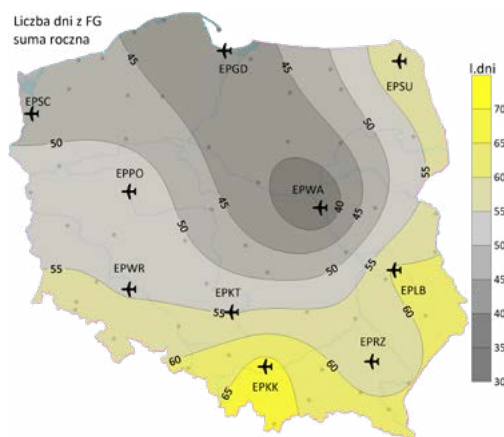
rok), od których zależy intensywność wielu procesów wymiany ciepła i sposobów jego przenoszenia. Ważnym elementem jest również ukształtowanie powierzchni – obszar Polski jest zróżnicowany pod względem rzeźby terenu – występują wyniesienia pojezierne na północy kraju, a na południu wyżyny i góry. Obszary zróżnicowane orograficznie sprzyjają tworzeniu mgieł zalegających w dolinach i kotlinach. W Polsce bardzo istotnym elementem klimatycznym, który ma wpływ na częstość i czas występowania mgieł, jest również odległość od Morza Bałtyckiego i wpływ Oceanu Atlantyckiego. W okresie jesienno-zimowym ciepłe masy powietrza znad Morza Bałtyckiego sprzyjają częstemu powstawaniu mgieł adwekcyjnych. Natomiast ocean, znad którego w okresie jesienno-zimowym napływają ciepłe i wilgotne masy powietrza, sprzyja tworzeniu frontów ciepłych oraz frontów okluzji ciepłej, które przyczyniają się do powstawania mgieł. Ten rodzaj mgieł utrzymuje się zdecydowanie dłużej niż mgły radiacyjne, co ma negatywny wpływ na wykonywanie operacji lotniczych.

W związku z tym, na poniższych mapach przedstawiono liczbę dni z mgłą oraz czas ich trwania w godzinach dla roku i dla miesięcy.

Liczba dni z mgłą, czas trwania w godzinach i czas trwania jednej mgły w godzinach – średnie wartości roczne

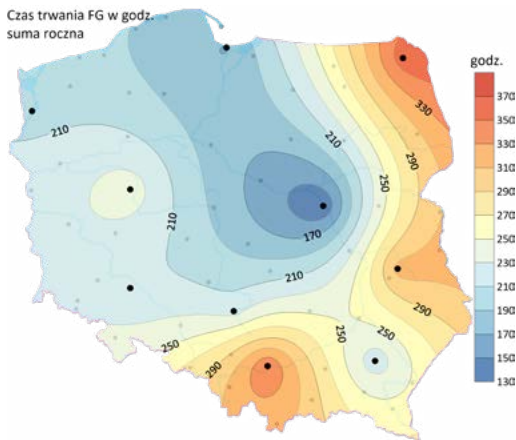
Średnie wartości roczne liczby dni z mgłą, czasu trwania w godzinach i czasu trwania jednej mgły w godzinach – charakteryzują się dużym zróżnicowaniem w rozkładzie przestrzennym:

- liczba dni z mgłą jest większa na lotniskach położonych w południowo-wschodniej części Polski, niż w części środkowej i północnej. Najwyższa średnia wieloletnia liczba dni z mgłą występuje na EPKK – 67,3 dni, najniższa na EPWA – 34,7 dni;
- biorąc pod uwagę czas trwania mgły w godzinach, najwyższe wartości wystąpiły na EPSU (363 godz.) i EPKK (349 godz.), najniższe na EPWA – 130 godz.;
- średni czas trwania jednej mgły w godzinach jest mocno zróżnicowany i wahał się od 3,8 godz. (w EPWA i EPRZ) do 6,1 godz. (w EPSU) (rys. 2–4).

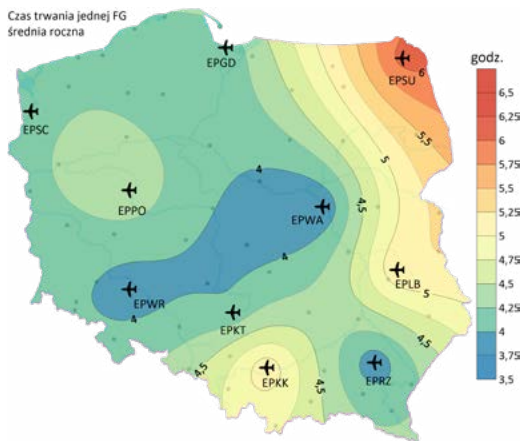


Rys. 2. Średnia roczna liczba dni z mgłą w latach 1971–2020

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.



Rys. 3. Średni roczny czas trwania mgieł w godzinach, w latach 1971–2020
 Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.



Rys. 4. Średni roczny czas trwania jednej mgły w godzinach, w latach 1971–2020
 Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.

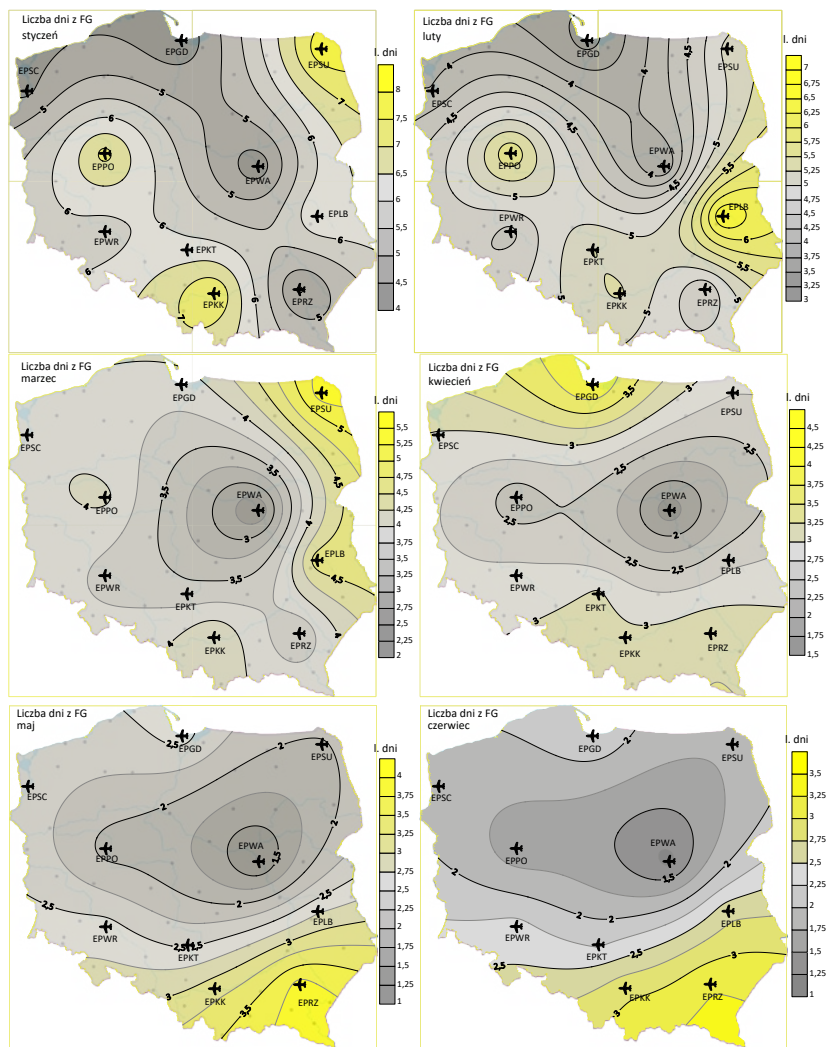
Średnia miesięczna liczba dni z mgłą

Analiza rozkładów przestrzennych wskazuje, że w przebiegu rocznym rozkłady są do siebie podobne w określonych miesiącach (rys. 5–6):

- od października do lutego wyróżniają się dwa obszary o większym nasileniu występowania mgieł. Są to obszary zachodniej części Polski, rozciągające się od EPPO na południe – na obszary wyżynne i górskie. Drugi obszar to wschodnia część kraju – rozciągająca się od EPLU do EPLB. W okresie tym mgły rzadziej pojawiają się na EPWA oraz w północnej części Polski – na EPSC i EPGD, pomimo iż w tym okresie cieplejsze powietrze znad Bałtyku napływając nad chłodniejsze

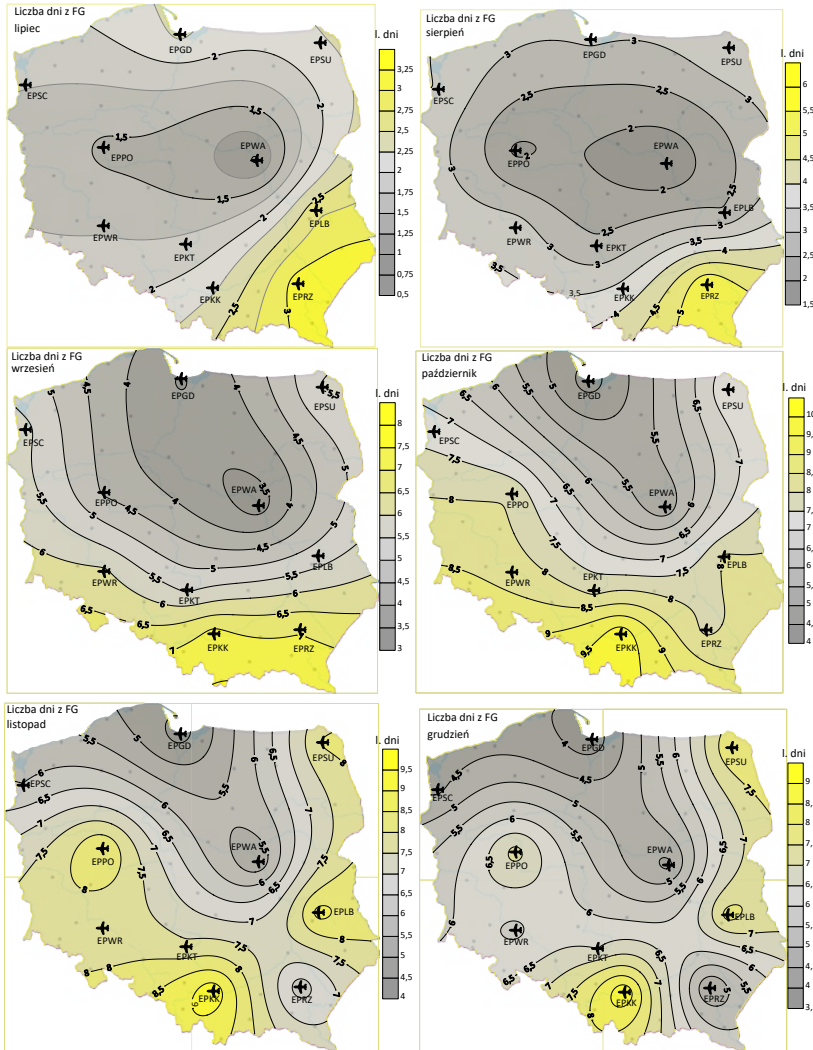
obszary lądowe, sprzyja tworzeniu mgieł, szczególnie adwekcyjnych. Oznacza to, że szczególnie na obszarze południowej Polski ważną rolę odgrywa orografia terenu, ponadto częste spadki temperatury powietrza i jego grawitacyjne sploty w kierunku dolin i kotlin powodują tworzenie zastoisk chłodu, sprzyjających tworzeniu mgieł. Ponadto w górach, szczególnie w chłodnym okresie roku, często tworzą się inwersje temperatury (w wyższych partiach gór masy powietrza mają wyższą temperaturę niż w dolinach i kotlinach górskich). Na granicy, gdzie masy powietrza się stykają, osiada warstwa mgły. We wschodniej części Polski niższe temperatury oraz dłużej zalegająca pokrywa śniegu, nad którą często dochodzi do wychłodzenia, mogą również sprzyjać tworzeniu mgieł. Należy również podkreślić, że szczególnie zimą zdarzają się dłuższe okresy występowania pogody „wyżowej”, która sprzyja tworzeniu się mgieł utrzymujących się dłużej (przez kilka dni) i obejmujących znaczny obszar. W wyróżnionym okresie częstość mgieł osiągała najwyższe wartości na lotniskach: EPKK (od 5,3 w lutym do 9,8 liczby dni z mgłą w październiku), EPLB (od 6,5 w lutym do 8,7 liczby dni z mgłą w listopadzie), EPP0 (od 5,7 w lutym do 8,5 liczby dni z mgłą w listopadzie) i EPSU (od 5,1 w lutym do 8,1 liczby dni z mgłą w listopadzie);

- w marcu mgły częściej tworzą się we wschodniej części Polski. W tym miesiącu na tych obszarach nadal panuje niska temperatura i duże wahania dobowe temperatury powietrza, często występują przymrozki. Ponadto we wschodniej części kraju występują obszary o dużej wilgotności podłoża. Wszystkie te elementy mogą sprzyjać tworzeniu mgieł, przede wszystkim radiacyjnych, które powstają w wyniku wypromieniowania ciepła w godzinach nocnych przy bezchmurnej pogodzie lub przy niewielkim zachmurzeniu i niewielkiej prędkości wiatru. Ponadto, we wschodniej części Polski, gdzie klimat ma bardziej cechy kontynentalne, w tym okresie tworzeniu mgieł może również sprzyjać pogoda wyżowa. W marcu różnice w liczbie mgieł na obszarze naszego kraju były zdecydowanie niższe niż w miesiącach chłodnego okresu roku. Częstość mgieł wahała się od 2,5 na EPWA do 5,4 na EPSU;
- w kwietniu największą częstością mgieł wyróżnia się obszar północnej Polski. Podobnie jak w marcu zróżnicowanie na obszarze kraju jest coraz mniejsze. Częstość mgieł wahała się od 1,6 na EPWA do 4 dni z mgłą na EPGD;
- od maja do września najczęściej mgły pojawiają się w południowej i południowo-wschodniej części Polski. Jest to okres sprzyjający tworzeniu mgieł, głównie radiacyjnych. W tym okresie częstość mgieł osiągała najwyższe wartości na lotniskach: EPKK (od 2,2 w lipcu do 7,2 dni z mgłą we wrześniu), EPRZ (od 3,1 w lipcu do 6,9 dni z mgłą we wrześniu) i EPWR (od 1,7 w lipcu do 6,1 dni z mgłą we wrześniu).



Rys. 5. Średnia liczba dni z mgłą w miesiącach: styczeń–czerwiec (1971–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.



Rys. 6. Średnia liczba dni z mgłą w miesiącach: lipiec–grudzień (1971–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.

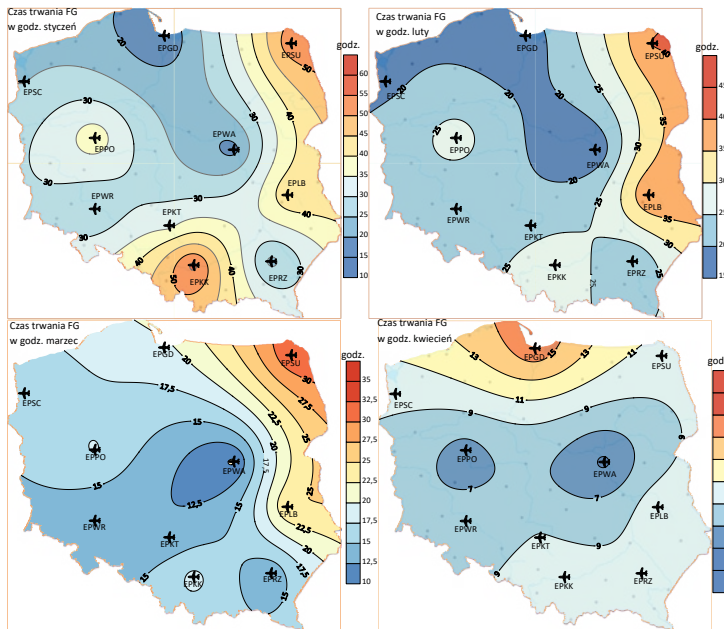
Średni miesięczny czas trwania mgieł w godzinach

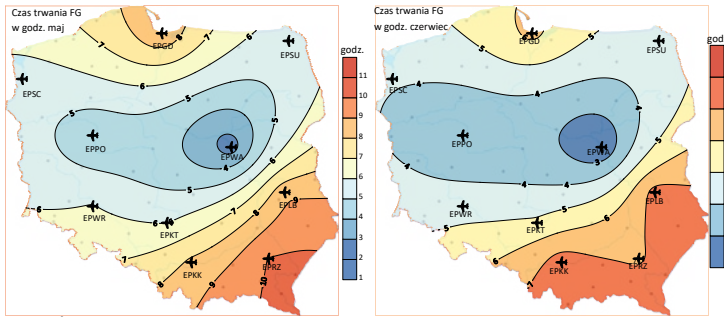
Z analizy rozkładów przestrzennych czasu trwania mgieł w godzinach wynikają następujące wnioski (rys. 7–8):

- rozkłady czasu trwania mgieł nieznacznie różnią się od rozkładów częstości występowania mgieł. W chłodnym okresie roku wyróżniają się wrzesień i październik. W tych miesiącach mgły najdłużej utrzymują się w części zachodniej, południowej i wschodniej Polski. Następnie od listopada do lutego mgły najdłużej utrzymują się na EPKK, EPSU i EPLB, czyli w południowej i wschodniej części kraju. W okresie tym rzadziej mgły pojawiają się na EPWA oraz w północnej części Polski – na EPSC

i EPGD. W wyróżnionym okresie częstość mgieł osiągała najwyższe wartości na lotniskach: EPSU (74,0 godz. w listopadzie), EPKK (63,4 godz. w grudniu), EPLB (58,0 godz. w grudniu);

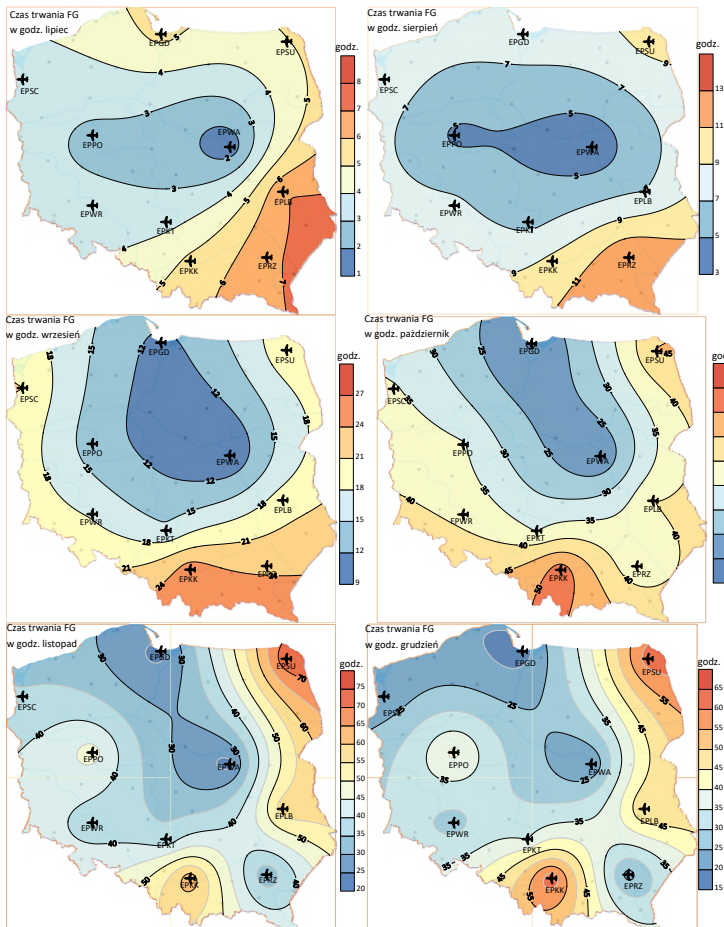
- w marcu mgły najdłużej utrzymują się we wschodniej części Polski. Częstość mgieł wahała się od 9,6 godz. na EPWA do 32,3 godz. na EPSU;
- w kwietniu na obszarze północnej Polski mgły występują najczęściej i najdłużej zalegają. Podobnie jak w marcu zróżnicowanie na obszarze kraju jest coraz mniejsze. Częstość mgieł wahała się od 4,6 godz. na EPWA do 16,6 godz. na EPGD;
- od maja do lipca rozkłady są do siebie bardzo podobne – najczęściej mgły pojawiają się w południowej i południowo-wschodniej części Polski oraz w północnej. Oznacza to, iż pomimo rzadszego występowania mgieł w północnej części kraju – w miesiącach letnich mgły na wybrzeżu utrzymują się dłużej. W tym okresie czas trwania mgieł osiągał najwyższe wartości na lotniskach: EPRZ (od 6,8 godz. w lipcu do 10,0 godz. w maju), EPGD (od 5,3 godz. w lipcu do 8,9 godz. w maju), EPLB (od 6,9 godz. w lipcu do 8,8 godz. w maju) i EPKK (od 5,2 godz. w lipcu do 8,2 godz. w maju);
- w sierpniu następuje zmiana – najdłużej mgły utrzymują się na EPRZ (13,0 godz.), EPSU (9,6 godz.) i EPKK (9,4 godz.).





Rys. 7. Średni roczny czas trwania mgieł w godzinach, w miesiącach: styczeń–czerwiec (1971–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.



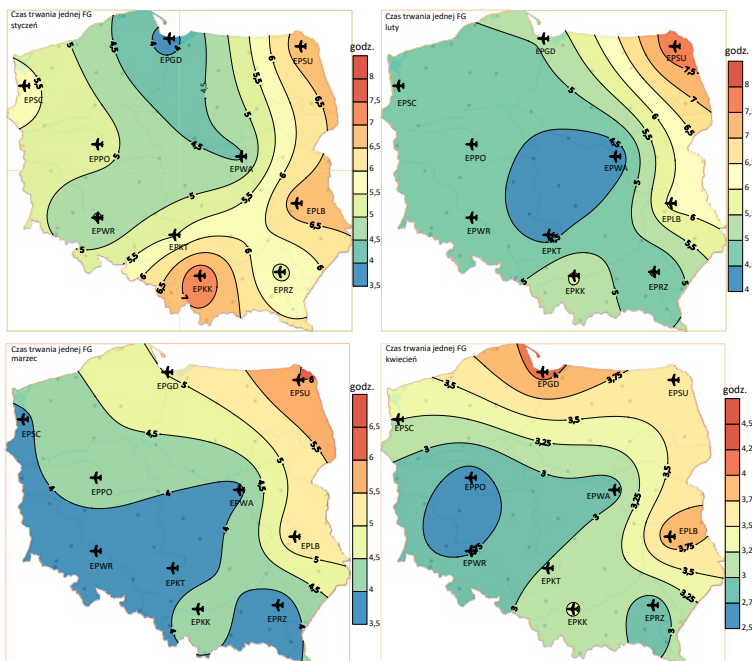
Rys. 8. Średni roczny czas trwania mgieł w godzinach, w miesiącach: lipiec–grudzień (1971–2020)

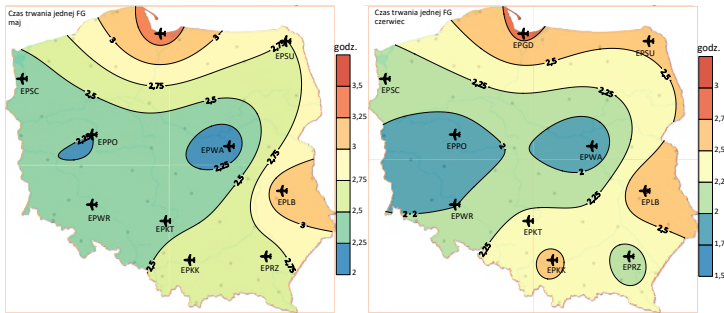
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.

Średni miesięczny czas trwania jednej mgły w godzinach

Ocena rozkładów przestrzennych czasu trwania jednej mgły daje ważną informacją dla lotnictwa, ponieważ pozwala określić najmniej korzystne okresy w roku, kiedy widzialność ograniczona jest do poniżej 1000 m. Z analizy rozkładów przestrzennych średniego miesięcznego czasu trwania jednej mgły w godzinach wynikają następujące wnioski (rys. 9–10):

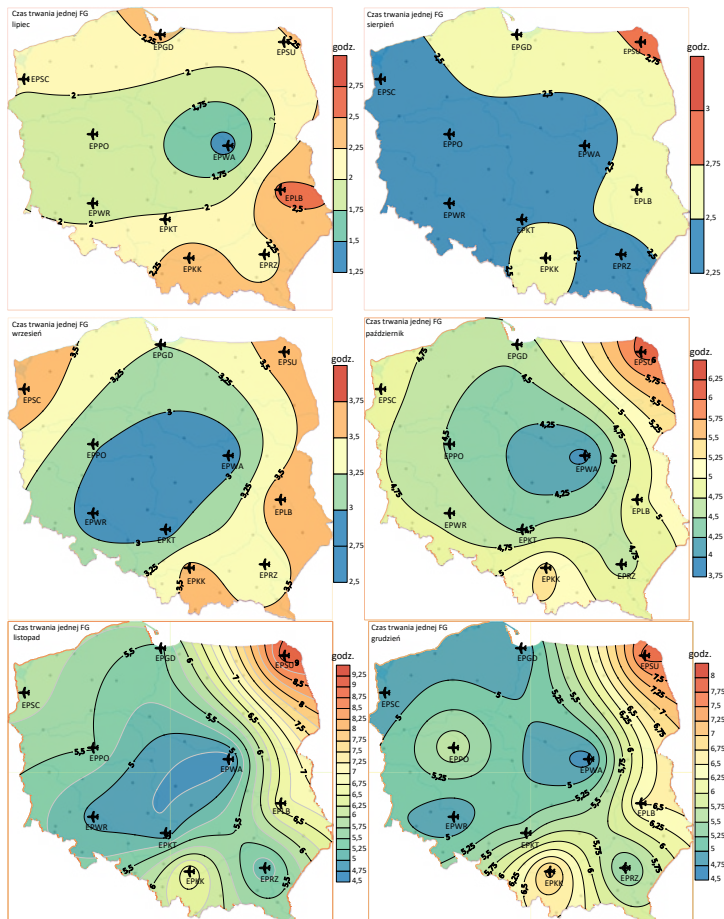
- rozkłady czasu trwania jednej mgły są podobne do rozkładów czasu trwania mgły w godzinach. W chłodnym okresie roku wyróżniają się wrzesień i październik. W tych miesiącach czas trwania jednej mgły jest najdłuższy w części zachodniej, południowej i wschodniej Polski. Następnie od listopada do lutego średni czas trwania jednej mgły jest najdłuższy w południowej i wschodniej części kraju. W tym okresie średni czas trwania jednej mgły był najdłuższy na lotniskach: EPSU (9,2 godz. w listopadzie), EPKK (7,5 godz. w styczniu), EPLB (6,8 godz. w styczniu). Wyróżniły się również lotniska położone w północnej Polsce: EPSC (5,9 godz. w listopadzie) i EPGD (5,4 godz. w listopadzie) oraz EPPO (5,7 godz. w grudniu);
- od marca do sierpnia rozkłady średniego czasu trwania jednej mgły są bardzo podobne. Najdłużej trwają w częściach: wschodniej, południowej i północnej Polski. Szczególnie na lotniskach: EPGD, EPSU, EPLB i EPKK. Średni czas trwania jednej mgły wahał się od 1,4 godz. na EPWA do 6,0 godz. na EPSU.





Rys. 9. Średni roczny czas trwania jednej mgły w godzinach, w miesiącach: styczeń–czerwiec (1971–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.



Rys. 10. Średni roczny czas trwania jednej mgły w godzinach, w miesiącach: lipiec–grudzień (1971–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.

7. PODSUMOWANIE I DYSKUSJA

Analiza mgieł w aspekcie wykonywania operacji lotniczych jest ważnym problemem, ponieważ ich występowanie powoduje wysokie ryzyko przy podejściu do lądowania, a w skrajnych przypadkach lądowania mogą być zawieszane. Dodatkowym zagrożeniem jest trudność w określeniu pozycji statku powietrznego względem ziemi, a w lotach z widocznością (ang. *Visual Flight Rules* – VFR) trudniej jest pilotom zauważyć kolizyjny ruch. W przypadku ograniczenia widzialności należy więc stosować się do przepisów normujących wykonywanie takich operacji, aby cały lot, start i lądowanie przebiegły według obowiązujących procedur.

W przygotowanym opracowaniu dotyczącym liczby dni z mgłą, czasu trwania oraz czasu trwania jednej mgły w godzinach, opartym o dane z okresu 1971–2020 dla dziesięciu lotnisk w Polsce, dzięki zastosowanej metodyce wykazano dużą zmienność tego elementu meteorologicznego, nie tylko w przekroju rocznym i wieloletnim, ale również w rozkładzie przestrzennym. Wiedza ta pozwoliła wskazać najważniejsze przyczyny tej zmienności, których wyjaśnienie często bywa bardzo trudne. Zależności, jakie występują w systemie klimatycznym, są bardzo złożone i wzajemnie ze sobą sprzężone. Szczególnie trudne do rozwiązania są problemy oceny, w jakim stopniu na zmienność danego elementu meteorologicznego mają wpływ procesy klimatyczne (obieg ciepła, obieg wilgoci i cyrkulacja atmosferyczna) rozpatrywane w skali globalnej, regionalnej czy lokalnej. Dodatkowo, procesy te modyfikowane są przez czynniki klimatyczne o różnej skali oddziaływania.

Z przeprowadzonej analizy wynikają następujące wnioski:

1. Najmniej korzystne warunki dla lotnictwa występują na lotniskach położonych w południowej i wschodniej części Polski.
2. Najwyższa średnia wieloletnia liczba dni z mgłą występowała na EPKK – 67,3 dni, najniższa na EPWA – 34,7 dni.
3. Biorąc pod uwagę czas trwania mgły w godzinach, najwyższe średnie roczne wartości wystąpiły na EPSU (362,7 godz.) i EPKK (349,1 godz.), najniższa na EPWA – 130,2 godz.
4. Średni roczny czas trwania jednej mgły w godzinach był mocno zróżnicowany i wahał się od 3,8 godz. na EPWA i EPRZ do 6,1 godz. na EPSU.
5. W przebiegu rocznym częstość mgieł, czas ich trwania oraz czas trwania jednej mgły osiągają największe wartości w okresie jesienno-zimowym. Jest to więc najmniej korzystny okres dla wykonywania operacji lotniczych. Najwyższe wartości występują w listopadzie, natomiast najniższe w lipcu.
6. Ważną informacją dla lotnictwa daje trend liniowy obliczony z okresu 50 lat:
 - średnia roczna liczba dni z mgłą wykazała tendencję spadkową na dziesięciu lotniskach i tendencję wzrostową na EPSU. Spadek liczby dni z mgłą na przestrzeni 50-lecia wahał się od –2,4 liczby dni z mgłą/50 lat (w EPLB) do –31,2 liczby dni z mgłą/50 lat (w EPKK). Natomiast tendencja wzrostowa wystąpiła wyłącznie na EPSU – o 18,5 liczby dni z mgłą/50 lat;

- trend liniowy czasu trwania mgły w godzinach na wszystkich lotniskach był ujemny. Spadek czasu trwania mgły na przestrzeni 50-lecia wahał się od –83 godz./50 lat (w EPSU) do –290 godz./50 lat (w EPKK).
7. Spadek liczby dni z mgłą jest skutkiem globalnych zmian klimatu. Jednakże w aspekcie wykonywania operacji lotniczych zmniejszająca się liczba dni z mgłą wpłynie na to, że liczba zagrożeń na lotniskach spowodowana ograniczeniem widzialności będzie się zmniejszała.

Porównując otrzymane wyniki do innych opracowań zawartych w literaturze dotyczącej mgły, należy stwierdzić, że pomimo, iż autorzy analizowali mgły w różnych aspektach – z uwzględnieniem liczby dni, czasu trwania mgły oraz zależności występowania tego zjawiska od typu cyrkulacji atmosferycznej – we wszystkich pracach uzyskano podobne tendencje rozkładu mgły w przebiegu rocznym. Mianowicie: Skrzyńska³⁰ badając występowanie mgły oraz jej uwarunkowania cyrkulacyjne na wybranych lotniskach w południowej Polsce, gdzie uwzględniła trzy lotniska w latach 1981–2010, otrzymała podobne wyniki – mgła najczęściej pojawiała się jesienią, szczególnie w październiku, a najrzadziej latem, szczególnie w lipcu. Największe prawdopodobieństwo pojawienia się mgły radiacyjnej występowało w typach bezadwekcyjnych, natomiast w przypadku mgły adwekcyjnej poza sektorem południowym ważną rolę odgrywał również sektor zachodni. Natomiast Śmigiera³¹ w opracowaniu uwzględniła dane z okresu 1981–2015 z ośmiu lotnisk i wskazała, że w przypadku występowania mgły w Polsce w danym typie cyrkulacji istnieją inne istotne czynniki, które również mają wpływ na jej kształtowanie. Różnice wynikają między innymi z wpływu warunków lokalnych, przede wszystkim rzeźby terenu, a także obecność zbiorników wodnych. W przypadku mgły, szczególnie radiacyjnej, znajduje to potwierdzenie w wynikach otrzymanych w niniejszej pracy. W pracach innych autorów otrzymane wyniki dotyczące częstości i czasu trwania mgieł w przebiegu rocznym były podobne. Na uwagę zasługuje analiza mgieł przedstawiona w opracowaniu *Identyfikacja i ocena ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych i hydrologicznych w Polsce w II połowie XX wieku – Ryzyko wystąpienia mgły*³². W opracowaniu dokonano analizy danych z 53 stacji synoptycznych za okres 1971–2005. Określono między innymi trendy zmian liczby dni z mgłą. Uznając mgłę za zjawisko bardzo groźne, głównie określono jej zmienność z roku na rok i za cały okres 1971–2005, by wykazać jej tendencję występowania w rejonach najbardziej obfitujących w mgłę. Otrzymano – podobnie jak w niniejszej pracy – bardzo duże różnice w częstości występowania mgły. Zaobserwowano zaskakująco duże spadki średniej liczby dni z mgłą od 1971 r. na stacji w Opolu, Krakowie i Zielonej Górze. Natomiast największy wzrost liczby dni z mgłą (ponad 7 dni) odnotowuje się w Kielcach (głównie ze względu na przeniesienie stacji meteorologicznej w pobliżu zbiornika wodnego oraz rzeki). Analiza trendu wykazała spadek liczby dni z mgłą na zachodzie i w centralnej części kraju, a wzrost na wschodzie Polski. Stwierdzono, że czynnik antropogeniczny może wywierać duży wpływ na

³⁰ M. Skrzyńska, *Występowanie mgły...*, dz. cyt.

³¹ S. Śmigiera, *Cyrkulacyjne uwarunkowania...*, dz. cyt.

³² *Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo...*, dz. cyt.

zmniejszenie się liczby dni z mgłą. W niniejszym opracowaniu dla 10 lotnisk otrzymano, że na wszystkich lotniskach w okresie ostatnich 50 lat trendy liniowe wykazały tendencję spadkową.

BIBLIOGRAFIA

Artykuły i monografie

Błaś M., Sobik M., *The distribution of fog frequency in the Carpathians*, „Geographia Polonica” 2004, nr 77.

Compa T., Rajchel J., *Meteorologia dla pilota*, WSOSP, Dęblin 2012.

Głowacka A., Bąkowski R., Wiązewski W., Paradowski M., *Weather patterns: conditions preceding fog formation at Warsaw and Cracow airports*, [w:] *Proceedings, Short range forecasting methods of fog, visibility and low clouds*, red. S.C. Michaelides, Larnaca 2005.

Jafernik H., Wilczek Z., Ziarko J., *Meteorologiczna osłona działań lotnictwa*, DM Bellona, Warszawa 2000.

Jaśkowiak A., *Lotnicza pogoda – Meteorologia dla pilotów*, 2013.

Kirschenstein M., *Zmienność temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w północno-zachodniej Polsce*, Słupsk 2013.

Kłęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju. Identyfikacja i ocena ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych i hydrologicznych w Polsce w II połowie XX wieku – Ryzyko wystąpienia mgły, red. H. Lorenz, IMGW–PIB, Warszawa 2012.

Łupikasza E., Niedźwiedz T., *Synoptic climatology of fog in selected locations of southern Poland (1966-2015)*, „Bulletin of Geography, Physical Geography Series” 2016, nr 11, DOI: 10.2478/11196.

Mazon J., Rojas J.I., Lozano M., Pino D., Prats X., Miglietta M.M., *Influence of meteorological phenomena on worldwide aircraft accidents in the periods 1967-2010*, 2017, <https://doi.org/10.1002/met.1686>.

Meteorologia dla pilotów. Poradnik, Dowództwo Sił Powietrznych, Warszawa 2012.

Meteorologiczna osłona kraju. Vademecum. Niebezpieczne zjawiska meteorologiczne geneza, skutki, częstość występowania, część druga – jesień, zima, praca zbiorowa, IMGW–PIB, Warszawa 2013.

Piwkowski H., *Rozkład mgieł w Polsce i ich długotrwałość*, „Przegląd Geofizyczny” 1976, nr 21.

Skomorowski A., Piotrowski P., *The occurrence of fog at meteorological stations located on the airport in Poland in the years 2005-2015*, „Przegląd Geofizyczny” 2018, nr 4.

Skrzyńska M., *Występowanie mgły na wybranych lotniskach w Południowej Polsce i jego uwarunkowania cyrkulacyjne*, „Prace Geograficzne” 2019, nr 158, DOI: 10.4467/20833113PG.19.014.10918.

Sobczyk M., *Statystyka*, Warszawa 2005.

Stolot A., *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*, red. R. Machowski, M. Rzętała, Sosnowiec 2013.

Szewczak P., *Meteorologia dla pilota samolotowego*, AVIA-TEST, Poznań 2007.

Szewczak P., *Meteorologia dla pilota samolotowego*, Seria Szkolenia „AVIA-TEST”, Poznań 2010.

Śmigiera S., *Cyrkulacyjne uwarunkowania występowania mgieł na wybranych lotniskach w Polsce*, „Przegląd Geofizyczny” 2021, R. LXVI, z. 1–2.

Ustrnul Z., Czekerda D., *Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych w Polsce*, IMGW, Warszawa 2009.

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

Dokumenty

Instrukcja zabezpieczenia meteorologicznego działań powietrznych Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej (IZMDP-2022) wprowadzona do użytku Decyzją Nr 1/SG Ministra Obrony Narodowej z dnia 20 stycznia 2023 r. DU-3.3.31.8.

Wytyczne SSH SZ RP w sprawie programu wykonywania pomiarów i obserwacji elementów meteorologicznych oraz metodyki opracowywania depesz SYNOP, METAR, SPECI I TAF. Edycja (F), SSH SZ RP, Warszawa, styczeń 2023.

Wytyczne SSH SZ RP w sprawie niebezpiecznych zjawisk pogody (NZP) i warunków meteorologicznych zagrażających bezpieczeństwu działań powietrznych, SSH SZ RP, Warszawa, marzec 2023.

Wytyczne SSH SZ RP w sprawie autoryzowanych źródeł informacji hydrologiczno-meteorologicznej; wzorów formularzy ostrzeżeń na potrzeby działań powietrznych; wzorów opracowanych informacji meteorologicznych i dokumentacji, SSH SZ RP, Warszawa, marzec 2023.

Wytyczne SSH SZ RP w sprawie wprowadzenia ostrzeżeń lotniczych obszarowych w formie graficznej do planowania i realizacji zabezpieczenia meteorologicznego zadań lotniczych, SSH SZ RP, Warszawa, grudzień 2022.

Załącznik 3 do Konwencji ICAO „Służba meteorologiczna dla międzynarodowej żeglugi powietrznej”, wyd. 20, lipiec 2018.

Źródła internetowe

<https://www.ipcc.ch/>.

<http://regiony-projekt.gozych.edu.pl/>.