

## ANALYSIS OF AIRCRAFT POWERPLANTS ICING POSSIBILITY IN POLAND

Ryszard Chachurski

Military University of Technology, Faculty of Mechatronics  
Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, Poland  
tel.: +48 22 6837664, fax: +48 22 6839318  
e-mail: Ryszard.Chachurski@wat.edu.pl

### Abstract

*Icing of aircrafts and their powerplants is essential danger for safety of flights. At specific conditions ice may form itself on elements of inlet, ribs, vanes and blades of compressors of gas turbine engines or inside induction systems of piston engines and on propellers. Moreover, heat explosion due icing may give rise to flameout of gas turbine engines. Analysis of meteorological data from the Polish airspace from 2004-2006 years shows, that for gas turbine engines icing is the most danger in winter, spring and late autumn. Piston engines risk due icing are high during all flight at night and at early morning almost all year. Similar risk is at day time, although risk during all flight is lower in summer, but during descent and approach is higher. It is a paradox that the fewest days with low risk for piston engines icing are in winter, when an air temperature is lower than  $-5^{\circ}\text{C}$ . The analysis of results obtained for turbine-engines lets on statement that during the night threat of icing can appear first of all from January to April for high-speed planes and helicopters. Danger for F-16 planes can appear from October to May. However for passenger aeroplanes and of school-of-training threat appears in winter-months. During the day the icing can appear mostly in the wintertime, early spring and backdrop.*

**Keywords:** transport, aeronautics, powerplants, gas turbine engines, piston engines

## ANALIZA MOŻLIWOŚCI WYSTĄPIENIA OBLODZENIA LOTNICZYCH ZESPOŁÓW NAPĘDOWYCH W WARUNKACH POLSKICH

### Streszczenie

*Oblodzenie statków powietrznych i ich zespołów napędowych stanowi wciąż istotne zagrożenie dla bezpieczeństwa wykonywania lotów. W określonych warunkach lód może tworzyć się na elementach wlotu, żebrach, łopatach kierowniczych i wirnikowych sprzężarek silników turbinowych, a także wewnątrz układów dolotowych silników tłokowych. Ponadto, w wypadku turbinowych zespołów napędowych wywołany oblodzeniem wybuch cieplny może doprowadzić do samoczynnego wyłączania się silników. Analiza danych meteorologicznych z polskiej przestrzeni powietrznej w latach 2004-2006 pokazuje, że dla silników turbinowych oblodzenie jest szczególnie groźna zimą, wiosną oraz późną jesienią. Z kolei silniki tłokowe są narażone na intensywne oblodzenie w każdej fazie lotu w porze nocnej oraz o poranku niemal przez cały rok. Podobnie jest w porze dziennej, przy czym w miesiącach letnich spada zagrożenie w każdej fazie lotu, ale wzrasta możliwość wystąpienia silnego oblodzenia podczas zniżania. Paradoksalnie najwięcej dni, w których zagrożenie oblodzeniem jest mniejsze występuje w miesiącach zimowych, wówczas, gdy temperatura otoczenia spada poniżej  $-5^{\circ}\text{C}$ . Analiza wyników uzyskanych dla silników turbinowych pozwala na stwierdzenie, że w czasie nocy zagrożenie oblodzeniem może wystąpić przede wszystkim od stycznia do kwietnia dla samolotów szybkich i śmigłowców. Zagrożenie dla samolotów F-16 może wystąpić od października do maja. Natomiast dla samolotów pasażerskich i szkolno-treningowych zagrożenie pojawia się w miesiącach zimowych. W czasie dnia oblodzenie może wystąpić głównie zimą, wczesną wiosną i późną jesienią.*

**Słowa kluczowe:** transport, lotnictwo, zespoły napędowe, silniki turbinowe, silniki tłokowe

### 1. Wstęp

Od pierwszego lotu braci Wright minęło już ponad 100 lat, współczesne statki powietrzne nie przypominają zupełnie pionierskich samolotów, a jednak warunki atmosferyczne wciąż stanowią istotne zagrożenie dla bezpieczeństwa wykonywania lotów. Wśród nich duża rolę odgrywa

oblodzenie, a zwłaszcza oblodzenie zespołów napędowych statków powietrznych. Jest ono tym bardziej groźne, że o ile tworzenie się lodu na powierzchniach płatowca może być zauważone przez załogę, to lód we wlotach silników i w kanałach układów dolotowych nie jest dla pilota widoczny. Powoduje to wzrost znaczenia znajomości przez pilotów warunków sprzyjających obladzaniu zespołów napędowych, umiejętności unikania oblodzenia, ograniczeń zapobiegania tworzeniu się lodu przez instalacje przeciwooblodzeniowe itp. Nieznajomość zagadnień związanych z oblodzeniem zespołów napędowych była przyczyną wielu wypadków lotniczych, w tym awaryjnego lądowania śmigłowca Mi-8 z szefem polskiego rządu na pokładzie w grudniu 2003 roku. Pilot tego śmigłowca nie zdawał sobie bowiem sprawy z możliwości wystąpienia oblodzenia zespołu napędowego w dodatnich temperaturach otoczenia. Niską świadomość zagrożenia przejawia także wielu pilotów coraz bardziej popularnych motolotni, paralotni oraz samolotów ultralekkich.

## 2. Mechanizm obladzania układów dolotowych lotniczych zespołów napędowych

Oblodzenie elementów lotniczych zespołów napędowych jest wynikiem następujących zjawisk [1, 2, 6, 11]:

– Uderzenia strumienia wilgotnego powietrza w elementy znajdujące się w układach dolotowych silników tłokowych lub we wlotach silników turbinowych, co powoduje ich chłodzenie i zamarzanie na ich powierzchniach zawartych w powietrzu kropel wody. We wlotach silników turbinowych lód może tworzyć się na krawędzi wlotu, na powierzchni kanału wlotowego oraz ciała centralnego, żebrach, łopatkach wlotowego wieńca kierownic, łopatkach wirnikowych lub kierowniczych pierwszego stopnia sprężarek. W silnikach tłokowych powłoka lodowa może powstawać na chwytach powietrza, ekranach zamontowanych we wlotach, ściankach układu dolotowego, filtrach powietrza, elementach zaworów powietrza ogrzewającego oraz przegrodach wewnątrz kanałów dolotowych. Szczególne zagrożenie występuje podczas opadów śniegu, deszczu ze śniegiem, lotu w chmurach oraz podczas deszczu przy temperaturach otoczenia poniżej  $+5^{\circ}\text{C}$ , zwłaszcza, jeśli lód jest widoczny na szybach kabiny lub elementach płatowca. Największą prędkość narastania warstwy lodu obserwuje się w temperaturze około  $-4^{\circ}\text{C}$ , w której w powietrzu znajdują się przechłodzone krople wody. Ten typ oblodzenia nie stanowi zagrożenia przy bardzo niskich temperaturach otoczenia, ponieważ wilgotność względna powietrza jest wówczas zazwyczaj niewielka, a ponadto wilgoć w powietrzu przyjmuje postać kryształków lodu, które mogą przedostawać się wraz z powietrzem przez kanał dolotowy silnika nie powodując zwykle żadnych zakłóceń w jego pracy. Oblodzenie tego typu występuje we wszystkich rodzajach lotniczych silników turbinowych, a także tłokowych, zarówno gaźnikowych, jak i z wtryskiem niskociśnieniowym lub bezpośrednim. W przypadku napędów śmigłowych lub śmigłowcowych lód może osadzać się także na łopatach i piaście śmigła lub wirnika nośnego.

– Kondensacji i zamarzania pary wodnej zawartej w powietrzu wskutek obniżania się temperatury w wyniku lokalnego wzrostu prędkości przepływu w przewężeniach. Zjawisko to może wystąpić we wszystkich rodzajach silników lotniczych, ale szczególnie niebezpieczne jest dla silników tłokowych, w których zjawisko to może pojawiać się nawet przy stosunkowo wysokich temperaturach powietrza w warunkach częściowego otwarcia przepustnicy, typowego dla zakresów pracy silnika zbliżonych do biegu jałowego i dla zakresu przelotowego. Do powstania oblodzenia przepustnic nie jest konieczne występowanie widocznej wilgoci w powietrzu (np. w postaci mgły, chmur, opadów itp.). Lód pojawia się w gardzieli gaźnika i bezpośrednio za nią, a także bezpośrednio na przepustnicy i ściankach kanału dolotowego w jej pobliżu. Prędkość narastania warstwy lodu zależy w tym wypadku od wilgotności powietrza i wielkości otwarcia przepustnicy, przy czym dłuższa praca silnika w takich warunkach grozi całkowitym zdławieniem przepływu powietrza i zgaśnięciem silnika. Oblodzenie tego typu, nazywane oblodzeniem przepustnic lub gaźników, pojawia się we wszystkich typach silników tłokowych, zarówno z zasilaniem gaźnikowym, jak i z zasilaniem wtryskowym (na przepustnicach

regulujących dopływ powietrza). W przypadku silników turbinowych lód może w pierwszej kolejności osadzać się w tych miejscach kanału przepływowego, gdzie występują jego największe przewężenia, a więc na powierzchni ciała centralnego, żebrach znajdujących się we wlocie lub łopatkach wlotowego wieńca kierownic.

– Obniżania temperatury mieszanki paliwowo – powietrznej do temperatury zamarzania wody w wyniku pobierania z otoczenia ciepła koniecznego do odparowania paliwa od ścianek kanału przepływowego. Zjawisko to występuje w silnikach tłokowych, a w szczególności gaźnikowych. Pojawia się ono zwykle jednocześnie z oblodzeniem przepustnic. Lód osadza się na elementach gaźnika i kolektora dolotowego znajdujących się za dyszą paliwową. Silne oblodzenie związane z procesem odparowywania paliwa występuje nawet w temperaturach przekraczających  $+30^{\circ}\text{C}$  przy wilgotności względnej 50% i wyższej. Największym zagrożeniem jest ono w silnikach wyposażonych w gaźniki pływakowe, a mniejszym w silnikach z gaźnikami przeponowymi. W silnikach z wtryskiem bezpośrednim oraz z gaźnikiem umieszczonym za sprężarką ten rodzaj oblodzenia nie występuje. W silnikach z wtryskiem niskociśnieniowym, chociaż zwykle w punkcie kanału dolotowego, w którym jest on realizowany zachodzi ogrzewanie ścianek kanału w wyniku przejmowania ciepła od cylindra silnika, ten rodzaj oblodzenia może pojawić się podczas rozruchu zimnego silnika w warunkach zimowych.

W przypadku silników turbinowych zassanie do kanału wlotowego wody, śniegu, miękkiego lodu lub błota pośniegowego grozi tzw. wybuchem cieplnym, którego następstwem może być samoczynne wyłączenie się silnika. Podczas wybuchu cieplnego zassana woda (w różnej postaci), która nie zdążyła odparować w sprężarce, dostaje się do komory spalania, gdzie w temperaturze przekraczającej 2000 K gwałtownie odparowując i zwiększając, pomimo wysokiego ciśnienia, swoją objętość nawet ponad 500 razy, zrywa płomień w komorze spalania [3, 8].

Jednocześnie z oblodzeniem wlotów silników turbinowych i układów dolotowych silników tłokowych może wystąpić oblodzenie ich układów paliwowych. Związane jest ono z obecnością wody w paliwie. Woda ta może zamarzać w elementach instalacji paliwowej, przede wszystkim w filtrach, ale także w zakolach przewodów paliwowych, powodując przerwanie dopływu paliwa. W silnikach tłokowych woda zawarta w paliwie dostaje się razem z nim do kanału dolotowego i może tam zamarzać w wyniku procesów opisanych powyżej.

### **3. Analiza zagrożenia oblodzeniem lotniczych zespołów napędowych**

Już w latach 20. ubiegłego wieku instrukcje eksploatacji silników lotniczych zawierały opisy urządzeń zabezpieczających je przed oblodzeniem. Pierwsze znane wyniki badań nad oblodzeniem lotniczych zespołów napędowych pochodzą natomiast z lat 40. Obecnie badania tego zjawiska koncentrują się przede wszystkim wokół silników turbinowych.

W przypadku silników tłokowych interesowano się wówczas przede wszystkim typowymi układami dolotowymi silników o dużych mocach stosowanych w samolotach bojowych. W późniejszym czasie prowadzono także eksperymentalne badania oblodzenia układów dolotowych silników stosowanych w samolotach sportowych i turystycznych. Wyniki pokazały, że możliwość wystąpienia oblodzenia, jak i jego stopień, są w istotny sposób uzależnione od konfiguracji układu dolotowego, rodzaju zasilania i gaźnika itp. W rezultacie ówczesnych, a także późniejszych badań opracowano kilka różniących się nieco między sobą diagramów pozwalających na ocenę możliwości wystąpienia oblodzenia układów dolotowych lotniczych silników tłokowych. Diagramy dotyczą przede wszystkim silników z gaźnikami pływakowymi, gdyż zagrożenie oblodzeniem dla silników wyposażonych w większość typów gaźników przeponowych lub we wtryskowe układy zasilania jest znacznie mniejsze. Na diagramach najistotniejsze są pola wskazujące na występowanie warunków sprzyjających pojawianiu się silnego oblodzenia.

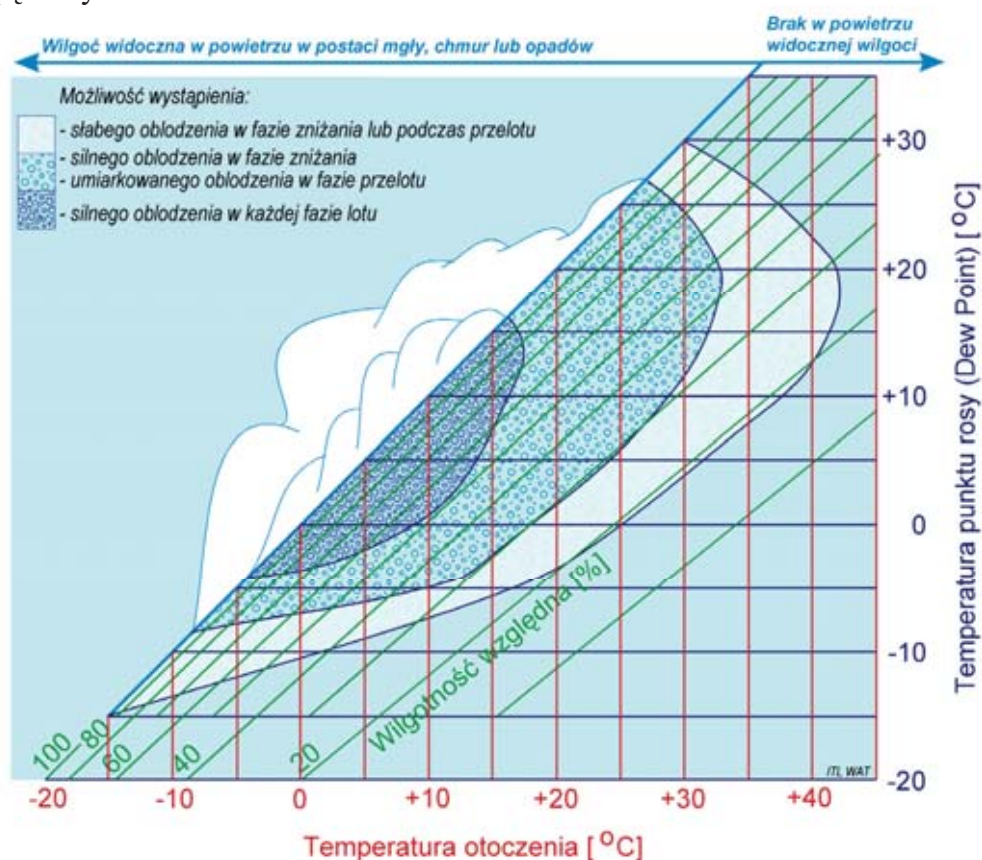
Badania oblodzenia lotniczych silników tłokowych rozpoczęto w WAT w 2005 roku [5, 10]. W początkowym okresie, m.in. na podstawie diagramów dostępnych w różnych źródłach [4, 7, 9], opracowano w Instytucie Techniki Lotniczej WAT zbiorczy diagram [5] obrazujący możliwości

wystąpienia oblodzenia układów dolotowych lotniczych silników tłokowych będący sumą pól o takim samym stopniu zagrożenia prezentowanych na diagramach źródłowych (Rys. 1). Na diagramie wydzielono cztery strefy odpowiadające różnym stopniom zagrożenia:

- strefa 0., w której zagrożenie oblodzeniem nie występuje,
- strefa 1., w której istnieje możliwość wystąpienia słabego oblodzenia w fazie zniżania lub podczas przelotu,
- strefa 2., w której może wystąpić umiarkowane oblodzenie w fazie przelotu lub silne podczas zniżania,
- strefa 3., w której silne oblodzenie może wystąpić w każdej fazie lotu.

Poszczególne fazy lotu odpowiadają określonym położeniom przepustnicy w gaźniku. Należy zwrócić uwagę, że diagramy dotyczą warunków, w których wilgoć nie występuje w powietrzu w postaci widocznej, np. jako mgła, chmury, deszcz itp. Obecność wilgoci w postaci widocznej zwiększa możliwość wystąpienia oblodzenia.

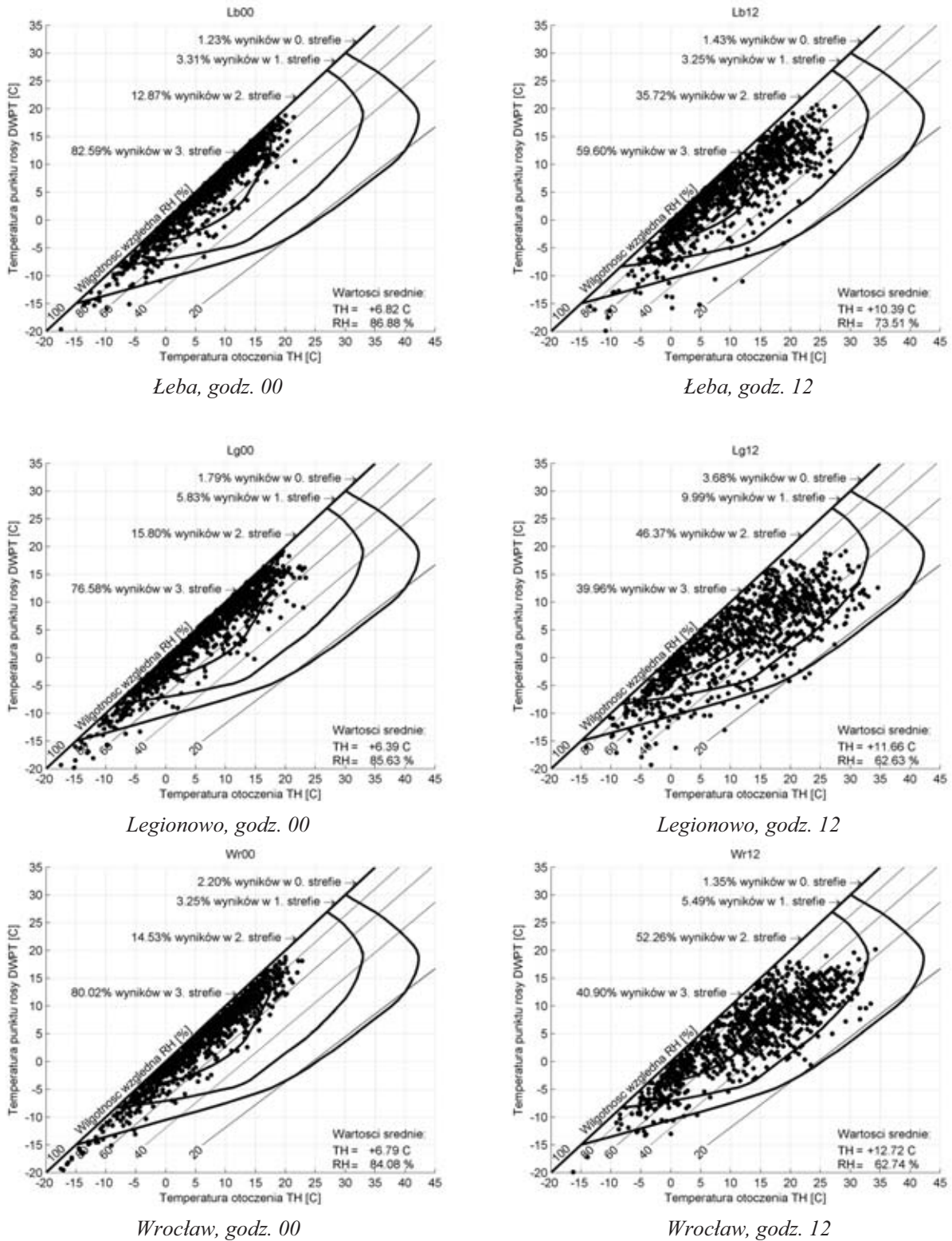
Trzeba pamiętać, że zarówno ten, jak i diagramy źródłowe mają jedynie charakter pomocniczy, mający uświadomić załogom statków powietrznych możliwość wystąpienia zagrożenia oblodzeniem i wzmóc ich uwagę, natomiast przede wszystkim należy bezwzględnie przestrzegać zaleceń zawartych w instrukcjach eksploatacji poszczególnych statków powietrznych i ich zespołów napędowych.



Rys. 1. Diagram do określania możliwości wystąpienia oblodzenia układów dolotowych lotniczych silników tłokowych  
Fig. 1. The diagram for determining of occurring possibility of inlet systems icing for aircraft piston engines

Powyższy diagram zastosowano do oceny możliwości wystąpienia oblodzenia lotniczych silników tłokowych w Polsce. Wykorzystano w tym celu udostępnione na stronach uniwersytetu w Wyoming dane z lat 2004-2006 rejestrowane dwukrotnie w ciągu doby (godz. 00 i 12 czasu UTC) przez sondy stacji meteorologicznych w Łebie, Legionowie i Wrocławiu. Następnie napisano aplikację w środowisku MatLab, która nanosi punkty o współrzędnych odpowiadających wartościom temperatury powietrza i temperatury punktu rosy lub wilgotności względnej na diagram i oblicza liczbę wyników zawierających się w poszczególnych strefach zagrożenia. Dla

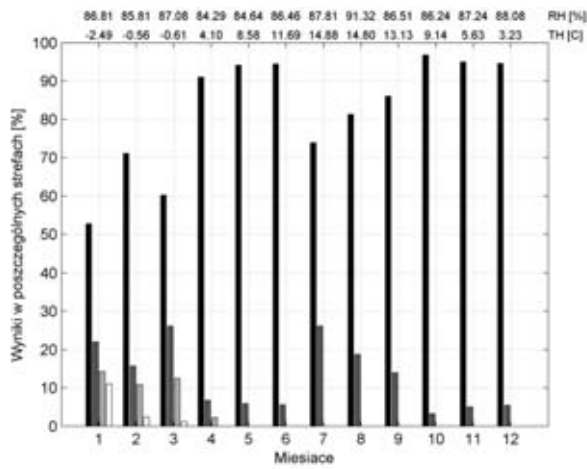
każdego z miast, osobno dla godziny 00. i 12., wykonano indywidualne diagramy dla wszystkich dni w poszczególnych miesiącach oraz zbiorcze dla każdego roku i dla całego rozpatrywanego okresu (Rys. 2). Na diagramach wyświetlono ponadto wartości średnie temperatury otoczenia i wilgotności względnej.



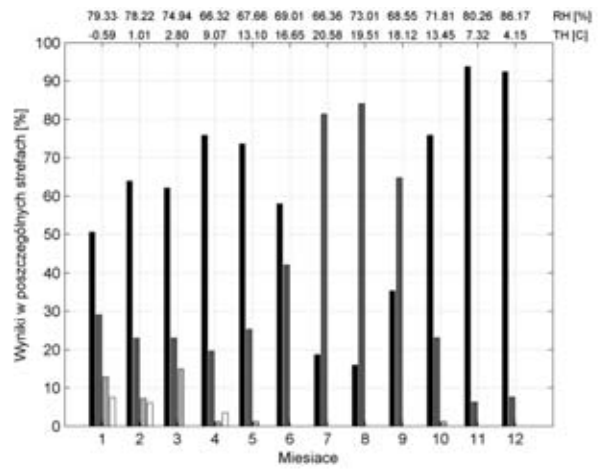
Rys. 2. Możliwość wystąpienia oblodzenia lotniczych silników tłokowych w latach 2004-2006 w Polsce  
 Fig. 2. Occurring possibility of aircraft piston engines icing in Poland in years of 2004-2006

Podsumowanie przeprowadzonych analiz przedstawiono na Rys. 3, na którym dla poszczególnych miast zaprezentowano procentowy udział wyników zawartych w poszczególnych

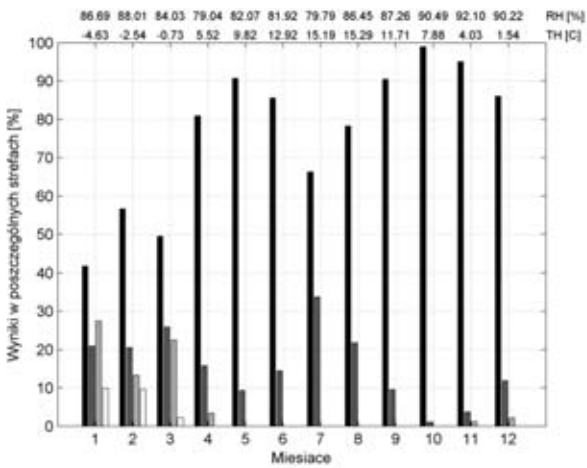
strefach zagrożenia oblodzeniem dla kolejnych miesięcy podczas pomiarów wykonywanych o godzinie 00. i 12. Nad wykresami wyświetlono uśrednione wartości wilgotności względnej i temperatury otoczenia z lat 2004-2006. Kolorem czarnym oznaczono strefę 3., kolorem szarym ciemnym strefę 2., kolorem szarym jasnym strefę 1., a kolorem białym strefę 0.



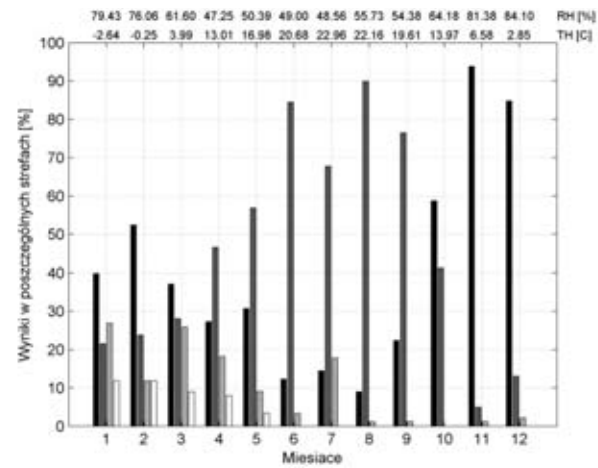
Łeba, godz. 00



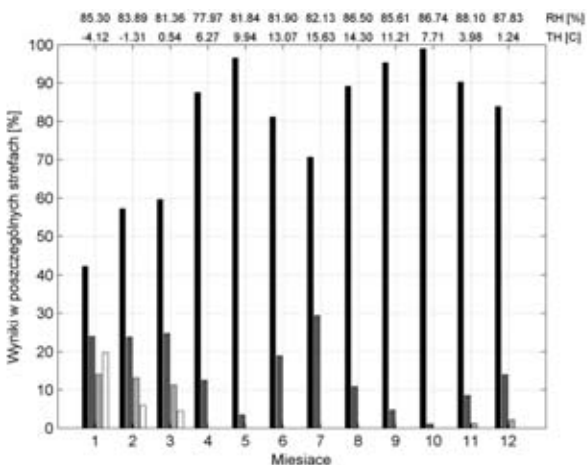
Łeba, godz. 12



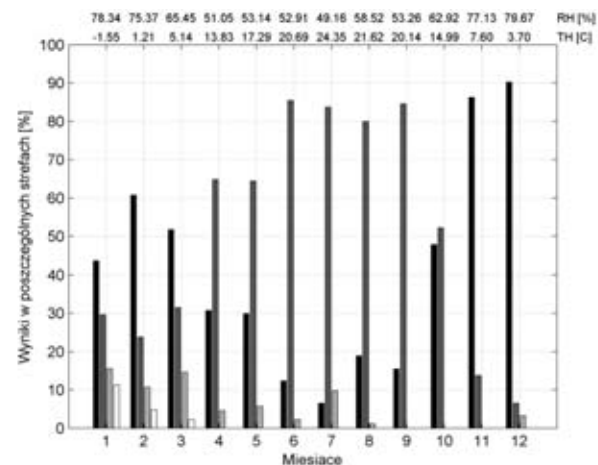
Legionowo, godz. 00



Legionowo, godz. 12



Wrocław, godz. 00



Wrocław, godz. 12

Rys. 3. Rozkład zagrożenia oblodzenia lotniczych silników tłokowych w latach 2004-2006 w Polsce  
 Fig. 3. Annual distribution of risk of aircraft piston engines icing in Poland in years of 2004-2006

Wyniki analiz prowadzonych dla godziny 00 są o tyle istotne, że co prawda loty nocne na lekkich statkach powietrznych wyposażonych w silniki tłokowe wykonują głównie doświadczeni piloci, jednak wyniki pomiarów prowadzonych o tej godzinie bardziej odpowiadają warunkom

występującym w godzinach porannych niż wyniki pomiarów z godziny 12 [4], więc w podobnych warunkach latają także początkujący adepci lotnictwa.

Podobnie jak w przypadku silników tłokowych, tak i dla turbinowych od początku ich wprowadzania do lotnictwa zaczęto interesować się zjawiskiem ich oblodzenia, prowadząc początkowo przede wszystkim badania eksperymentalne, a obecnie i symulacyjne. Określono warunki, w których możliwe jest wystąpienia oblodzenia silników turbinowych w zależności od temperatury otoczenia, wysokości lotu, rodzaju chmur itp.

W Instytucie Techniki Lotniczej WAT badania związane z oblodzeniem silników turbinowych rozpoczęto w grudniu 2003 roku [3, 8, 12]. Potwierdzone badaniami eksperymentalnymi obliczenia wykazały istotne zmniejszanie się temperatury powietrza we wlotach silników w stosunku do temperatury na zewnętrznych częściach płatowca przy wzroście prędkości przepływu powietrza. Dla określenia zagrożenia oblodzeniem silników eksploatowanych w polskim lotnictwie cywilnym i wojskowym wykonano obliczenia dla reprezentatywnych statków powietrznych [3, 12], a ich wyniki zestawiono w Tab. 1.

Tab. 1. Zagrożenie oblodzeniem lotniczych silników turbinowych eksploatowanych w lotnictwie polskim  
Tab. 1. Icing danger of aircraft gas turbine engines operated in Polish aviation

Silnik (Statek powietrzny)	F100-PW-229 (F-16)	TW2-117AG (Mi-8)	AŁ-21 (Su-22M4)	SO-3 (TS-11)	CFM-56 (B737)
$\Delta T_{\max}$ [°C]	-9,6	-7,3	-6,9	-3,8	-1,4
$V_r$ [km/h]	500	-	425	315	190
Miasto (godzina)	Miesiące				
Łeba (00.)	I-V, X-XII	I-IV, XI-XII	I-IV, XI-XII	I-III, XII	I-III
Łeba (12.)	I-IV, XI-XII	I-III, XI-XII	I-III, XII	I-III	I-II
Legionowo (00.)	I-IV, X-XII	I-IV, XI-XII	I-IV, XI-XII	I-III, XII	I-III
Legionowo (12.)	I-III, XI-XII	I-III, XI-XII	I-III, XI-XII	I-II, XII	I-II
Wrocław (00.)	I-IV, X-XII	I-IV, XI-XII	I-IV, XI-XII	I-III, XII	I-III, XII
Wrocław (12.)	I-III, XI-XII	I-III, XII	I-III, XII	I-II, XII	I-II

W tabeli przedstawiono: maksymalny spadek temperatury w kanale przepływowym silnika w stosunku do temperatury na powierzchni płatowca ( $\Delta T_{\max}$ ) podczas pracy silnika na zakresie maksymalnym przy zerowej prędkości lotu; prędkość lotu  $V_r$ , przy której temperatura w kanale dolotowym silnika przewyższa wartość  $|\Delta T_{\max}|$ , czyli, gdy we wlocie silnika temperatura mają wartości dodatnie, jeśli temperatura otoczenia nie ma wartości ujemnych; miesiące, w których średnie temperatury przyjmowały wartości mniejsze od  $|\Delta T_{\max}|$ , czyli, kiedy może dojść do oblodzenia silnika turbinowego w przypadku nie włączenia instalacji przeciwooblodzeniowej.

### 3. Wnioski

Analiza wyników uzyskanych dla silników tłokowych pokazuje, że nocą poza pierwszymi trzema miesiącami roku (62-87% wyników) praktycznie każdego dnia trzeba liczyć się z możliwością wystąpienia silnego oblodzenia w każdej fazie lotu lub przynajmniej w fazie zniżania (97-100% wyników). Wzrost zagrożenia nocą i rankiem wynika ze znacznego wzrostu wilgotności powietrza (zwykle jej wartość przewyższa 80%) po zachodzie słońca przy

temperaturach otoczenia z zakresu  $-4^{\circ}\text{C}$   $+18^{\circ}\text{C}$ . Zagrożenie jest nieco niższe tylko w miesiącach zimowych, gdy temperatury spadają poniżej  $-5^{\circ}\text{C}$ . Podobnie jest w ciągu dnia – zimą zagrożenie silnym oblodzeniem jest najmniejsze (62-77% wyników dla Legionowa, 72-84% dla Wrocławia i 80-87% dla Łeby), natomiast w pozostałych miesiącach roku w okolicach Łeby występuje w ciągu 95-100% dni, dla Legionowa przez 82-100% dni, a dla Wrocławia od 90 do 100% dni w roku. W ciągu dnia zmniejsza się niebezpieczeństwo oblodzenia układu dolotowego silnika we wszystkich fazach lotu (dla Legionowa i Wrocławia występuje głównie późną jesienią, dla Łeby wiosną i jesienią), ale jednocześnie, szczególnie latem, wzrasta możliwość wystąpienia oblodzenia w fazie zniżania. Zagrożenie oblodzeniem w każdych warunkach lotu jest większe dla obszarów nadmorskich (Łeba) niż dla położonych w głębi lądu, głównie ze względu na większą wilgotność powietrza. Podobnie, zwiększone niebezpieczeństwo może także występować na obszarach z dużymi skupiskami jezior (np. Mazury).

Analizując wyniki uzyskane dla silników turbinowych stwierdzono, że nocą dla samolotów szybkich i śmigłowców zagrożenie oblodzeniem może wystąpić przede wszystkim od stycznia do kwietnia, a nawet do maja (F-16) oraz od listopada (dla F-16 od października) do grudnia każdego roku, natomiast dla samolotów pasażerskich i szkolno-treningowych pojawia się ono w miesiącach zimowych. W dzień oblodzenia można spodziewać się głównie zimą, wczesną wiosną i późną jesienią.

W Instytucie Techniki Lotniczej WAT kontynuacja prac nad oblodzeniem lotniczych zespołów napędowych prowadzona jest obecnie w kierunku badań eksperymentalnych oraz obliczeń numerycznych silników tłokowych i turbinowych.

Wyniki dotyczące obladzania układów dolotowych silników tłokowych uzyskano w ramach pracy naukowej finansowanej ze środków na naukę w latach 2005 – 2008 jako projekt badawczy nr 4 T12D 017 29.

## Literatura

- [1] *Aircraft Icing Handbook*, Civil Aviation Authority, Nowa Zelandia, 2000.
- [2] *Aircraft Icing. Safety Advisor*, AOPA Air Safety Foundation, 2002.
- [3] *Analiza i badania związane z wypadkiem śmigłowca Mi-8P dla potrzeb KBWL MON*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, 2004.
- [4] Brodersen, S., Nielsen, M. F., Sarup, K., Scharling, M., *Carburettor Icing – probability. Monthly statistics generated from radiosonde data (WMO st. no 06181 Jegersborg) using the New Carburettor Icing – probability Chart*, Technical Report 04-25, Danish Meteorological Institute, Ministry of Transport, Copenhagen, 2004.
- [5] Chachurski, R., Szcześniak, J., Zduńczyk, M., *Lodowate zaskoczenie*, Przegląd Lotniczy Aviation Revue, nr 5/2006, Warszawa, 2006.
- [6] Chesterfield, J., *Ice blocked*, Flight Safety Australia, 11-12/2004.
- [7] *Ice Kills*, Flight Safety Australia, 7-8/2001.
- [8] Chachurski, R., Kowaleczko, G., Panas, A., Sobieraj, W., Wrzesień, S., *Oblodzenie statków powietrznych*, ITWL, Warszawa, 2005.
- [9] *Piston Engine Icing*, General Aviation Safety Sense Leaflet 14A, Civil Aviation Authority, Gatwick Airport, 2000.
- [10] Szcześniak, J., Zduńczyk, M., *Analiza danych meteorologicznych pod kątem możliwości wystąpienia oblodzenia układu dolotowego lotniczego silnika tłokowego w skali roku*, praca pod kierunkiem R. Chachurskiego na konkurs o nagrodę Rektora, WAT, Warszawa, 2005.
- [11] Treder, Ł., *Analiza procesu obladzania elementów zespołów napędowych statków powietrznych i jego skutków*, praca magisterska pod kierunkiem R. Chachurskiego, WAT, Warszawa, 2005.
- [12] *Winter Flying, Good Aviation Practice*, Civil Aviation Authority, Nowa Zelandia, 2001.