

Jarosław KOZUBA<sup>1</sup>  
Henryk JAFERNIK<sup>2</sup>

### **OBLODZENIE SAMOŁOTU Cz. I. PRZYCZYNY, WPŁYW NA WYKONYWANIE OPERACJI POWIETRZNYCH**

*Zachowanie wysokich standardów bezpieczeństwa w czasie przygotowania i realizacji operacji powietrznych jest gwarantem ich powodzenia. Warunki pogodowe i towarzyszące im zjawiska należą do jednych z najbardziej niebezpiecznych zagrożeń dla wykonywania operacji powietrznych. Liczne przykłady tragicznych zdarzeń lotniczych w ostatnich latach, będących efektem niesprzyjających warunków atmosferycznych wzbudziły zainteresowanie tą problematyką zarówno specjalistów jak i przypadkowych obserwatorów życia lotniczego. W niniejszym artykule odniesiono się do statystyk wypadków lotniczych spowodowanych niebezpiecznymi zjawiskami pogodowymi, ze szczególnym uwzględnieniem oblodzenia. Zdefiniowano podstawowe pojęcia oblodzenia, jego rodzajów i symptomów wskazujących na prawdopodobieństwo jego wystąpienia. Przeanalizowano wrażliwość poszczególnych elementów struktury płatowca i silnika na oblodzenie.*

#### **AIRCRAFT ICING**

##### **Part. I. REASONS, INFLUENCE ON THE CONDUCTING OF AIR OPERATIONS**

*Maintaining high safety standards in the preparation and execution of air operations is a guarantee of their success. Weather conditions and the accompanying phenomena are among the most dangerous threats to air operations. Numerous examples of the tragic air events in recent years, resulting from the negative effects of adverse weather conditions caught the attention of this issue, both experts and casual observers of the aviation. In this article referred to the statistics of accidents caused by hazardous weather events, with particular emphasis on the ice. Described the basic concept of ice, its types and symptoms indicating the likelihood of its occurrence. We analyzed the sensitivity of the elements of the structure of the airframe and engine icing.*

#### **1. WSTĘP**

Jednym z najbardziej niebezpiecznych zjawisk pogodowych z punktu widzenia wykonywania operacji powietrznych jest oblodzenie. Oblodzenie, jako zjawisko

<sup>1</sup>dr inż. pil. Jarosław KOZUBA, adiunkt WSOSP – Dęblin, e-mail: aabuzok@wp.pl

<sup>2</sup> dr inż. pil. Henryk JAFERNIK, docent Politechnika Śląska, e-mail: henrykj21@interia.pl

meteorologiczne jest zjawiskiem skomplikowanym, zależnym od wielu zmiennych czynników. W ujęciu ogólnym proces ten rozumiany jest jako „tworzenie się powłoki lodowej na powierzchni samolotu, dysz wlotowych silników lotniczych, dróg, przewodów elektrycznych, napowietrznych itp.; zagrażającej bezpieczeństwu lotu, ruchu kołowego, powoduje zerwanie przewodów.”[10]

Wystąpienie oblodzenia ściśle zależy od warunków pogodowych. Oblodzeniu sprzyja jak najwyższa wilgotność względna oraz niskie temperatury. Kombinacja tych dwóch czynników meteorologicznych jest decydująca w procesie powstawania oblodzenia. Jeżeli samolot znajdzie się w strefie temperatur ujemnych lub zbliżonych do 0°C, przy dodatkowo towarzyszącym opadzie lub wysokiej wilgotności powietrza (najczęściej w pobliżu lub w chmurze) prawdopodobieństwo oblodzenia jest bardzo duże. W przypadku wystąpienia oblodzenia na samolocie pilot powinien właściwie zareagować. W razie braku odpowiedniej reakcji ze strony pilota lub wadliwie działającej instalacji przeciwooblodzeniowej, zjawisko oblodzenia staje się bardzo groźne dla bezpieczeństwa lotu. Wyniki analiz odnoszących się do wypadków lotniczych, jednoznacznie określają że nieprawidłowe działanie załogi samolotu bądź też służb naziemnych jest powodem około 70 – 75% wszystkich zdarzeń lotniczych. W tym także w odniesieniu do zdarzeń powstałych w wyniku oblodzenia. Można by było uniknąć szeregu niepożądanych konsekwencji jego wystąpienia, gdyby personel lotniczy był prawidłowo przygotowany i przestrzegał procedur odnoszących się do działań związanych z oblodzeniem. Pilot ma możliwość przeciwdziałania temu zjawisku, ale warunkiem wyjścia „cało” z rejonu oblodzenia jest posiadanie wiedzy i umiejętności co do:

- właściwej interpretacji przewidywanych warunków pogodowych w rejonie lotniska startu, lotu i lotniska lądowania,
  - oceny jakości i możliwości wyposażenia systemów przeciwooblodzeniowych pod kątem możliwości wykonania lotu przy przewidywanych zagrożeniach związanych z wystąpieniem oblodzenia,
  - oceny możliwości sprzętu przeciwooblodzeniowego będącego w dyspozycji lotniska startu i lądowania, właściwego rozpoznania rodzaju oblodzenia w strefie lotu i umiejętności zniwelowania lub ograniczenia jego negatywnego wpływu na możliwość kontynuacji lotu.
- Mówiąc o sprzęcie lotniskowym należy wziąć pod uwagę zarówno możliwość odladania samolotu w przypadku wystąpienia oblodzenia, jak również możliwość właściwego utrzymania dróg startowych, dróg kołowania oraz płyt lotniskowych.

Ostatnio, w wyniku szeregu katastrof, które głęboko wstrząsnęły naszym społeczeństwem bardzo dużo mówi się o domniemanych winnych, a zbyt mało o przeciwdziałaniu tego typu zdarzeniom. Literatura przedmiotu również zbyt mało miejsca poświęca zagadnieniom związanym z przybliżeniem młodym adeptom lotnictwa wiedzy o samym zjawisku jak i z zakresu zasad postępowania w wypadkach szczególnych w locie, w tym odnoszących się do niesprzyjających warunków atmosferycznych. Wiedza zdobyta we wczesnym okresie przygotowania do zawodu pilota w ramach przedmiotów obowiązkowo realizowanych w trakcie kursów na licencje pilota, niezależnie od ich poziomu i typu statku powietrznego jakiego dotyczy dany kurs, również, zdaniem autorów jest zbyt powierzchowna, zbyt mało miejsca poświęca się tam tym zagadnieniom. W uczelniach wyższych przygotowujących się studentów do zawodu pilota tematyka ta traktowana jest nieco szerzej. Lecz i tutaj na niektórych uczelniach są można dostrzec braki. Dodatkowo czynnikiem potęgującym lukę w wiedzy z zakresu przeciwdziałania

niebezpiecznym zdarzeniom w powietrzu jest fakt, że są kursy realizowane w systemie e - learningowym i wykładowcy nie mają czasu na rozwijanie zagadnień związanych z bezpieczeństwem lotów.

Z uwagi na zakres poruszanej problematyki niniejsza publikacja składa się z dwóch części. W pierwszej autorzy odnieśli się do przyczyn powstawania oblodzenia i jego wpływu na realizację operacji powietrznych. Część druga zawiera informacje odnoszące się do sposobów przeciwdziałania temu zjawisku na ziemi i w powietrzu.

## 1. OBLODZENIE JAKO ZJAWISKO METEOROLOGICZNE

Z punktu widzenia uwarunkowań lotniczych oblodzenie można zdefiniować jako „zjawisko tworzenia się powłoki lodowej na powierzchni samolotu, bądź w jego instalacjach.”[3] Tworzenie się lodu na powierzchni samolotu może być spowodowane sublimacją pary wodnej na tej powierzchni, bądź też zamrażaniem zderzających się z nią przechłodzonych kropeł wody lub mieszaniny kropeł wody i kryształków lodu.

Przypadek pierwszy występuje w warunkach, gdy temperatura powierzchni samolotu jest znacznie niższa od temperatury powietrza otaczającego. Obserwuje się to przy gwałtownym zmniejszaniu wysokości lotu, gdy samolot w ciągu krótkiego odcinka czasu przechodzi z górnych, chłodnych warstw powietrza, w dolne – cieplejsze. Ten rodzaj oblodzenia występuje w postaci cienkiej warstwy szronu i z reguły nie stanowi dużego zagrożenia dla samolotu.

Najbardziej niebezpieczne jest oblodzenie występujące w przypadku zderzenia z samolotem przechłodzonych kropeł chmur, deszczu, mżawki lub ich mieszaniny z kryształkami lodu lub płatkami śniegu.

### 1.1. Czynniki decydujące o wystąpieniu oblodzenia

Prawdopodobieństwo wystąpienia oblodzenia klasyfikowane jest w trzystopniowej skali jako: wysokie, średnie i małe. Zależy ono od szeregu czynników, a w tym od : środowiska meteorologicznego – rodzaju chmur, rodzaju opadu – deszcz, mżawka, oraz temperatury (tabela nr 1).

*Tabela nr 1. Prawdopodobieństwo wystąpienia oblodzenia w chmurach Cumulus, Stratiform oraz w warunkach opadu deszczu lub mżawki w zależności od temperatury otoczenia [10]*

Prawdopodobieństwo wystąpienia oblodzenia / typ zachmurzenia – opadu	Chmury Cumulus	Chmury Stratiform	Deszcz lub mżawka
Wysokie	od 0°C do -20°C	od 0°C do -15°C	od 0°C do -20°C
Średnie	od -20°C do -40°C	od -15°C do -30°C	-
Małe	poniżej -20°C	poniżej -30°C	-

Temperaturę uznaje się za czynnik decydujący o wystąpieniu oblodzenia w otoczeniu charakteryzującym się określonymi parametrami. Analiza materiałów źródłowych pozwala na stwierdzenie, że „maksymalne oblodzenie samolotu zachodzi w przedziale od -12°C do -5°C, zaś największe prawdopodobieństwo oblodzenia zdarza się w zakresie od -10°C do 0°C.” Przy temperaturze kropeł wody przechłodzonej nieznacznie poniżej 0°C, 1%

kropelek wody zamarza przy zderzeniu z samolotem. Przy temperaturze kropelek wody przechłodzonej  $-20^{\circ}\text{C}$ , już 25% kropelek zamarza w kontakcie z płatowcem, a przy  $-40^{\circ}\text{C}$  aż 50% (odwrotnie niż w przypadku temperatury powietrza  $-40^{\circ}\text{C}$  - wtedy prawdopodobieństwo wystąpienia oblodzenia jest małe).[8] Krople wody przechłodzonej, mimo temperatury ujemnej nie zamarzają. Dzieje się tak z powodu braku w kroplach jąder krystalizacji. Im mniejsze są kropelki wody przechłodzonej, tym ich temperatura zamarzania jest niższa. I tak, duże krople wody przechłodzonej są obecne w chmurach kłębiastych, kłębiastych deszczowych i chmurach orograficznych (np. na nawietrznych zboczach) w zakresie temperatur od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $-20^{\circ}\text{C}$ , a w chmurze warstwowej deszczowej od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $-10^{\circ}\text{C}$ . Małe kropelki wody przechłodzonej spotyka się praktycznie w każdym rodzaju chmury prócz chmur piętra wysokiego. Osiągają graniczną wartość nawet  $-40^{\circ}\text{C}$ . W polskich szerokościach geograficznych z temperaturami ujemnymi mamy do czynienia w chłodnej porze roku, Należy jednak mieć świadomość że wraz ze wzrostem wysokości temperatura powietrza maleje, średnio o  $0,65^{\circ}\text{C}$  na 100 metrów. Dlatego też, ze zjawiskiem oblodzenia w polskiej przestrzeni powietrznej możemy się spotkać praktycznie w ciągu całego roku. Jednak, zjawisko oblodzenia jest bardzo złożone i zależy od szeregu innych czynników, a nie tylko temperatury powietrza. Bardzo ważnym parametrem odnoszącym się do chmur i powstawania w nich oblodzenia jest wodność chmury. Terminem tym określa się zawartość wody w stanie ciekłym w chmurze. Wyrażana jest w gramach wody na metr sześcienny powietrza. Chmury mają wodność od  $0,2\text{ g/m}^3$  do  $5\text{ g/m}^3$ . Im większa wodność chmury, tym większa jest intensywność oblodzenia. Wodność chmury zależy od jej struktury, wyróżniamy tu trzy typy chmur przy uwzględnieniu ich wodności tj.:

1. Chmury wodne, tzw. kropelkowe - składają się wyłącznie z kropelek wody w stanie ciekłym. Mogą istnieć nie tylko w temperaturach dodatnich, ale także ujemnych - mamy do czynienia wtedy z kropelkami wody w stanie przechłodzonym, co jest zupełnie normalnym zjawiskiem. Krople przechłodzone w chmurze utrzymują się w stanie ciekłym w temperaturach powyżej około  $-15^{\circ}\text{C}$ , zdarzały się jednak nawet w temperaturze  $-40^{\circ}\text{C}$ . Chmury wodne charakteryzują się wysoką wodnością.

2. Chmury mieszane - składają się z mieszaniny kropelek przechłodzonych oraz kryształków lodu. Występują w umiarkowanych temperaturach ujemnych.

3. Chmury lodowe, tzw. krystaliczne - składają się tylko z kryształków lodu. Chmury te występują przy bardzo niskich temperaturach, przeważnie na dużych wysokościach. Charakteryzują się małą wodnością, wynoszącą setne oraz tysięczne części grama na metr sześcienny. W chmurach krystalicznych nie występuje oblodzenie.

Kolejnym czynnikiem wskazującym na możliwość wystąpienia oblodzenia jest jego intensywność. Intensywność oblodzenia jest tym większa, im więcej wody znajduje się w powietrzu (większa wodność) oraz im większe są rozmiary kropelek. Intensywnością oblodzenia nazywamy prędkość narastania warstwy lodu na poszczególnych częściach samolotu. Intensywność oblodzenia mierzymy grubością lodu narastającą w jednostce czasu. Może się ona wahać w dość dużych granicach:

- oblodzenie słabe - prędkość narastania lodu od kilku dziesiątych do  $0,499\text{ mm/min.}$ ,
- oblodzenie umiarkowane - prędkość narastania lodu od  $0,5\text{ mm/min}$  do  $0,999\text{ mm/min.}$ ,
- oblodzenie silne - prędkość narastania lodu od  $1,0\text{ mm/min}$  do  $2,0\text{ mm/min}$ ,
- oblodzenie bardzo silne - prędkość narastania lodu powyżej  $2,0\text{ mm/min}$ . [1]

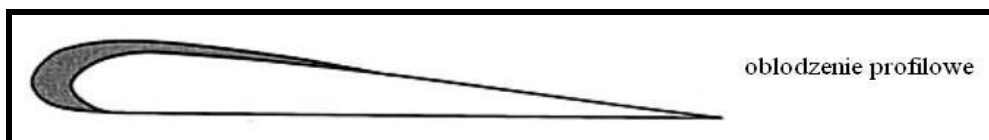
Do czynników wpływających na stopień intensywności oblodzenia możemy zaliczyć także, ilość wody znajdującej się w stanie skondensowanym w  $1 \text{ m}^3$  powietrza (chmury), rozmiar kropeł wody, prędkość powietrzną samolotu i właściwości aerodynamiczne samolotu. Pierwszy z czynników wywiera największy wpływ na prędkość narastania lodu na częściach samolotu, czyli na intensywność oblodzenia. Wartość jego jest wprost proporcjonalna do intensywności oblodzenia. Należy podkreślić, że na intensywność oblodzenia nie wpływa jednak ogólna ilość wody znajdującej się w stanie skondensowanym w  $1 \text{ m}^3$  chmury w postaci kropeł i kryształków, lecz tylko ta ilość, która jest skondensowana w postaci kropeł wody. Najintensywniejsze oblodzenie występuje w chmurach, w których zawartość wody wynosi nie więcej niż  $1 \text{ g/m}^3$ . Drugi nie mniej ważny czynnik wpływający w znacznym stopniu na intensywność oblodzenia samolotu to rozmiary kropeł wody, z których zbudowana jest chmura. Ilość lodu narastającego w samolocie jest wprost proporcjonalna do rozmiarów kropeł wody. Oblodzeniu może ulec każdy statek powietrzny poruszający się z prędkością do około  $200 \text{ m/s}$ . [10] Powyżej tej prędkości zjawisko kinetycznego nagrzewania się samolotu jest tak intensywne, że skutecznie zapobiega oblodzeniu. Przykładowo, w przypadku samolotu TS - 11 Iskra, zgodnie z „Instrukcją użytkowania w locie samolotu TS -11 Iskra”, podawana jest prędkość  $650 \text{ km/h}$  ( $227,5 \text{ m/s}$ ).

## 1.2. Typy oblodzenia

Oblodzenie tworzące się na powierzchni samolotu, może przybierać różne formy i kształty. Różnice te głównie wynikają z warunków atmosferycznych, w jakich znajduje się samolot.

Ze względu na kształt osadzającego się na powierzchni samolotu lodu można wyróżnić trzy formy oblodzenia płatowca:

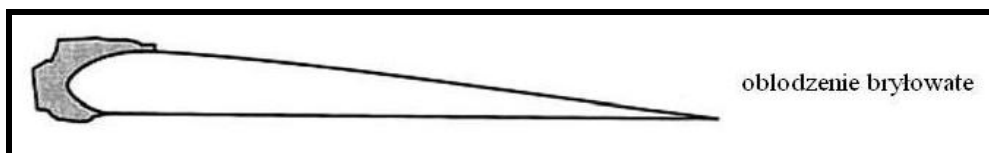
1. Oblodzenie profilowe (rys.1) - grubość warstwy lodu jest bliska proporcjonalnej do grubości profilu w danym miejscu. Tworzy się przy bardzo niskiej temperaturze, zwykle poniżej  $-20^\circ \text{C}$ . Warunkiem koniecznym do powstania tego typu oblodzenia jest także mała wodność chmury. Powstaje poprzez przyleganie i natychmiastowe zamrażanie małych kropeł, na dużej części powierzchni od krawędzi natarcia do krawędzi spływu. Dzięki temu praktycznie nie zmienia profilu, a przyrost oporu jest stosunkowo niewielki. Zasięg oblodzenia zależy od wielkości kropeł, przy czym im większe krople, tym większa jest powierzchnia objęta oblodzeniem. Ten rodzaj oblodzenia jest bardzo trudny jeśli chodzi o usunięcie go z profilu samolotu. W praktyce może oznaczać wyłączenie z eksploatacji samolotu, nawet na kilka tygodni. [8,10]



Rys.1. Profilowe oblodzenie skrzydła.[8]

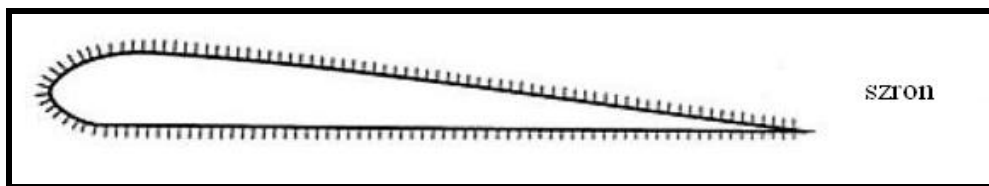
2. Oblodzenie bryłowe (rys.2) - cechuje się tym, że warstwa lodu tworzy nieregularną, dosyć dużą formę skupioną tylko i wyłącznie wokół krawędzi natarcia samolotu. Tworzy się w chmurach o dużej wodności, przy temperaturze od około  $-7^\circ \text{C}$  do  $-5^\circ \text{C}$ . Zamarzanie kropełek wody następuje wolniej niż w przypadku oblodzenia profilowego. Oblodzenie to

może powstawać także w wyniku występowania mokrego śniegu, wskutek tworzenia się pomiędzy kawałkami osadzającego się lodu pęcherzyków powietrza. Oblodzenie bryłowe dużo chętniej niż profilowe” współpracuje na ziemi z użytkownikiem samolotu”, chcącym usunąć je z powierzchni samolotu.[8,10]



Rysunek 2. Bryłowe oblodzenie skrzydła.[8]

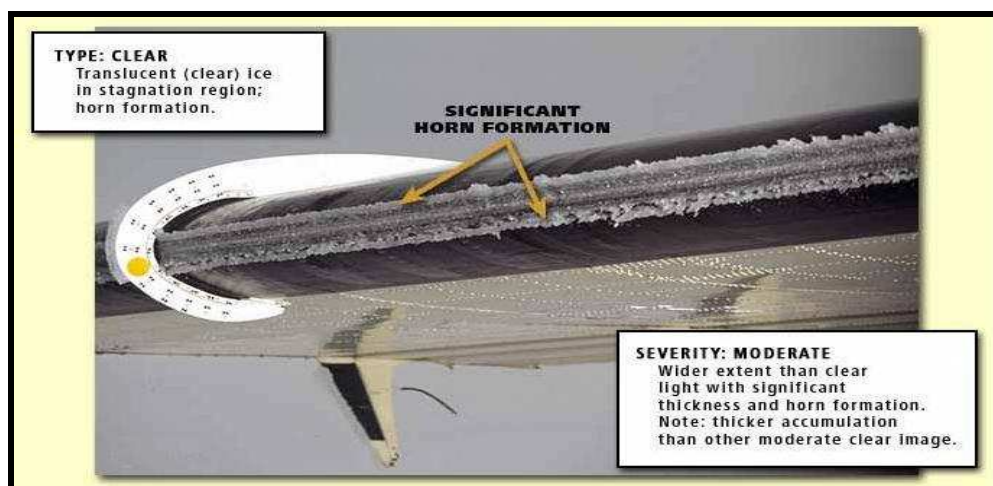
3. Oblodzenie typu szron (rys.3.) - jest to zazwyczaj niewielka warstwa drobnych, lodowych kryształków rozmieszczonych równomiernie wzdłuż całego profilu samolotu. Najczęściej temu typowi oblodzenia towarzyszy bardzo mała wodność chmur. Może wystąpić nawet w warunkach bezchmurnych np. przy szybkim niżaniu, gdy powierzchnia samolotu jest przechłodzona, a samolot znajduje się w cieplejszym niż temperatura samolotu otoczeniu, jednak zawsze poniżej  $0^{\circ}\text{C}$ . Powstaje poprzez resublimację pary wodnej na powierzchni samolotu, czyli w wyniku bezpośredniego przejścia pary wodnej w stan stały - lód. Zasadniczo szron nie zmienia profilu samolotu ani jego masy, jest natomiast dużym zagrożeniem dla bezpieczeństwa lotu poprzez ograniczenie widoczności, gdyż często osadza się na szybie kabiny. Może powstać również na ziemi, np. rano, gdy często metalowa powierzchnia samolotu nagrzewa się wolniej niż powietrze. Z punktu widzenia klasyfikacji kształtu osadzającego się na powierzchni samolotu lodu, zasadniczo szron nie różni się od szadzi. Tak samo jak szron, szadź składa się ze zlepionych kryształków lodu. Inny jest tylko sposób, w jaki powstaje. Dzieje się to podczas lotu w chmurach zbudowanych z bardzo małych, przechłodzonych kropelek wody i kryształków lodu, które zamarzając, zamykają powietrze między nimi. Tworzy się, gdy zimny samolot wlatuje w strefę o dużej wilgotności np. mgłę. Wtedy małe kropelki mgły zamarzają w kontakcie z chłodną powierzchnią samolotu, tworząc osad atmosferyczny zwany szadzią. Powstaje w temperaturze poniżej  $-10^{\circ}\text{C}$ . Szadź przyjmuje formę krystaliczną i nierówną. Na ziemi przypomina lodowy puch. Szadź, tak jak szron, często występuje na szybie kabiny samolotu.[8]



Rysunek 3. Szronowe oblodzenie skrzydła.[8]

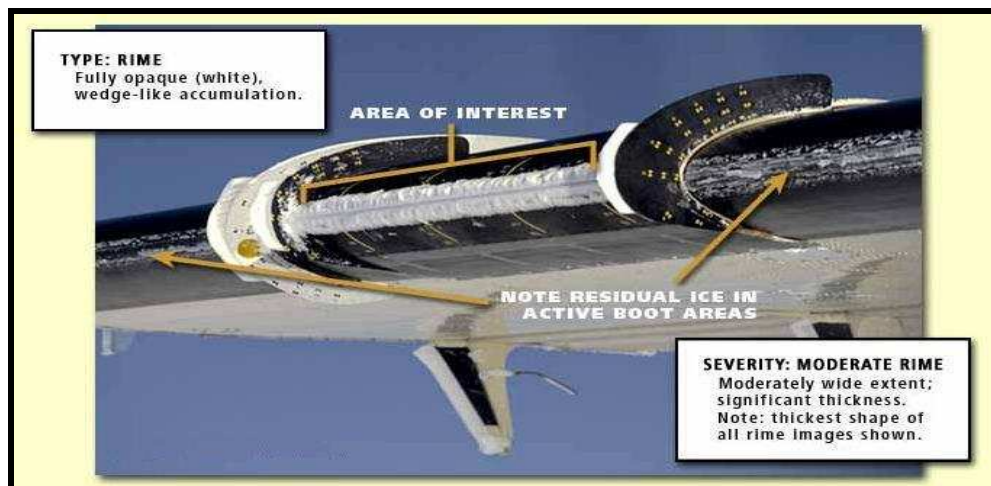
Nie tylko forma i kształt, ale także struktura poszczególnych rodzajów oblodzenia jest różna. Istnieje zatem podział oblodzenia ze względu na strukturę lodu, jaki osadza się na samolotach. Uwzględniając strukturę, budowę i wygląd zewnętrzny lód możemy podzielić na [10]:

1. Lód szklisty (rys.4.), zwany też przezroczystym (ang. clear ice, glaze ice) - pojawia się podczas lotu w chmurach o dużej wodności (zawierających duże krople wody), w temperaturach od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $0^{\circ}\text{C}$ . zazwyczaj jest przezroczysty i gładki, zawiera w sobie pęcherzyki powietrza, które powodują nierówny (guzowaty) półprzezroczysty wygląd. Powstaje on w chmurach charakteryzujących się wysokim wskaźnikiem wodności, w temperaturze rzędu  $-20$  do  $0^{\circ}\text{C}$ . Formuje się poprzez szybkie zamarzanie na powierzchni samolotu przechłodzonych kropeł wody, tworząc równomierną, gładką i często przezroczystą powłokę, dlatego początkowo może sprawiać problemy w dostrzeżeniu go. Im więcej lodu utworzy się na skrzydłach, tym słabiej odzwierciedla on aerodynamiczny kształt profilu. Oblodzenie takie może tworzyć się nawet na ziemi, podczas opadu marznącego deszczu (gołoledź). Lód szklisty jest bardzo twardy i gęsty, dlatego też jest trudny do usunięcia. Najczęściej występuje w chmurach kłębiastych i kłębiastych burzowych. Dodatkowym czynnikiem sprawiającym, iż lód szklisty jest bardzo niebezpieczny, jest fakt, iż zwykle towarzyszy mu umiarkowana bądź silna intensywność oblodzenia. Szklisty lód jest gęstszy, mocniejszy i bardziej przezroczysty niż lodowy szron. Charakteryzuje się dużą twardością co powoduje, że jest ciężki do złamania czy też skruszenia. [4]



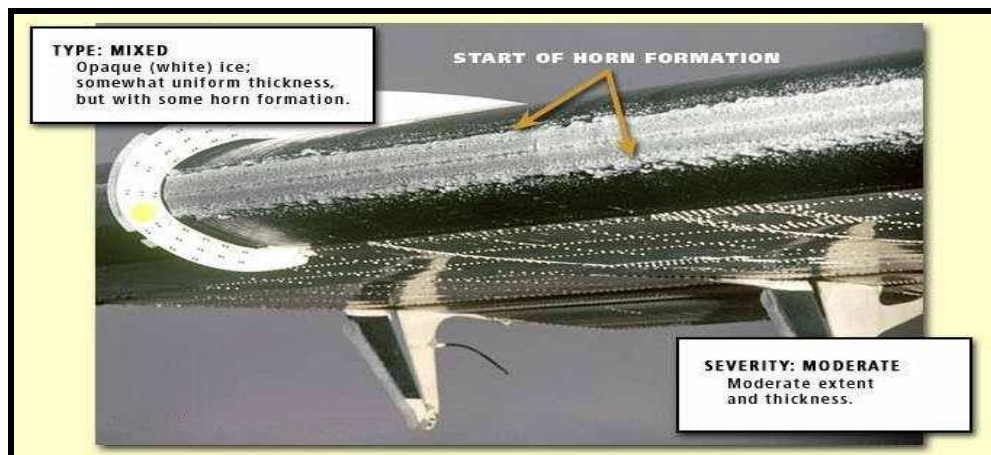
Rysunek 4. Lód szklisty na krawędzi natarcia samolotu. [4]

2. Lód matowy (ang. rime ice - rys.5) - ma szorstki, chropowaty, mleczno biały wygląd i zwykle przybiera kształt powierzchni do której przylega. Może pojawić się podczas lotu w chmurach zbudowanych z przechłodzonych kropeł wody i kryształków lodu. Występuje w temperaturze poniżej  $-10^{\circ}\text{C}$ , lecz nie mniejszej niż  $-40^{\circ}\text{C}$ . Tworzy się na skutek błyskawicznego zamarzania małych kropełek na wychłodzonej powierzchni samolotu. Może występować w marznącej mgie, a także w chmurach kłębiastych i warstwowych. Lód matowy charakteryzuje się tym, iż jest bardzo kruchy. Łatwo go usunąć z powierzchni skrzydeł, sam, na skutek drgań, może odpadać kawałkami w czasie lotu. Do lodu matowego zaliczamy osady atmosferyczne w postaci szronu i szadzi.



Rysunek 5. Osad lodu matowego na krawędzi natarcia skrzydła samolotu. [4]

3. Lód mieszany (ang. mixed ice – rys. 6) - stanowi oblodzenie mieszane, pośrednie, zawiera więc zarówno lód przezroczysty, jak i matowy. Pojawia się podczas lotu w chmurze, gdzie występują krople wody różnych rozmiarów. Najczęściej są to chmury kłębiaste i kłębiaste deszczowe. Może występować w zakresie temperatur od  $-20^{\circ}\text{C}$  do  $-10^{\circ}\text{C}$ .



Rys. 1. Osad lodu mieszanego na krawędzi natarcia skrzydła samolotu. [4]

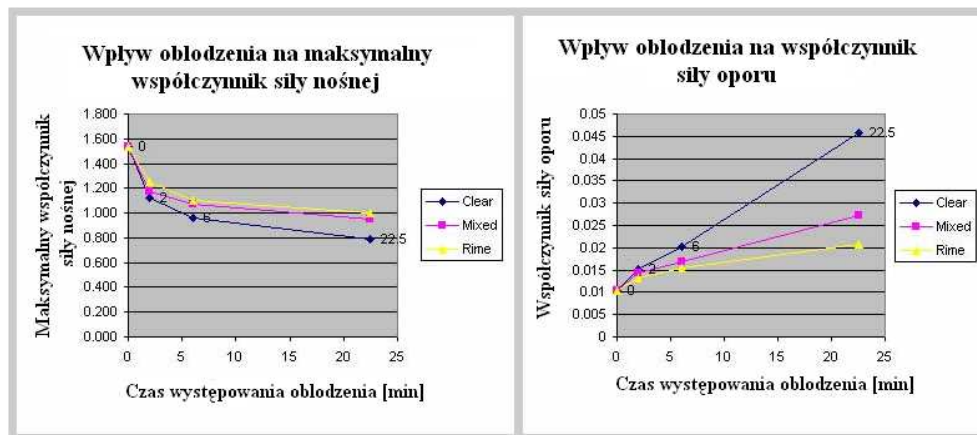
Reasumując, oblodzenie jest zjawiskiem złożonym na które ma wpływ szereg czynników. Stanowi istotne zagrożenie dla bezpieczeństwa operacji lotniczych. Jednakże, pilot rozumiejący sens tych zjawisk, właściwie przygotowany będzie w stanie na podstawie komunikatu meteorologicznego przewidzieć prawdopodobieństwo jego wystąpienia oblodzenia, oraz ocenić jego rodzaj i podjąć działania adekwatne do zaistniałej sytuacji.



## **2. WPŁYW OBLODZENIA NA WYKONYWANIE OPERACJI POWIETRZNYCH**

Informacja o możliwości wystąpienia oblodzenia w czasie lotu jest złą informacją dla każdego pilota niezależnie od tego jaki typ operacji jest realizowany i na jakim typie statku powietrznego (szybowiec, samolot, śmigłowiec itd.). Rzeczywista waga oblodzenia samolotu jest mało znacząca, w porównaniu z powodowanymi przez niego zakłóceniami. Zjawisko oblodzenia może wystąpić na wszystkich elementach zewnętrznych samolotu, tym nie mniej wystąpienie tego zjawiska na niektórych elementach samolotu stanowi szczególnie zagrożenie. do których możemy zaliczyć:

1. Powierzchnie skrzydeł, statecznika poziomego i pionowego. Wystąpienie oblodzenia na tych elementach może, być o tyle brzemienne w skutkach, że na skrzydle jest wytwarzania zasadnicza siła nośna potrzebna do lotu samolotu, a statecznik na stateczniku poziomy i pionowym są zamontowane odpowiednio ster wysokości i kierunku. Krawędź natarcia skrzydła i stateczników samolotu są to elementy wyjątkowo podatny na oblodzenie. Wystąpienie oblodzenia zawsze wpływa na zmianę typu strugi powietrza opływającej skrzydła z opływu laminarnego na zaburzony (turbulentny), powodując tym samym wzrost siły oporu przy jednoczesnym spadku siły nośnej i ograniczonej możliwości jej uzupełnienia (wytworzenia) do wartości niezbędnej, do ustalonego lotu poziomego statku powietrznego. Podobna sytuacja występuje w rejonie stateczników poziomego i pionowego, co z kolei może doprowadzić do zaburzeń lub zaniku efektywności aerodynamicznej w odniesieniu do działania steru wysokości i/lub kierunku. Oblodzenie może zakłócić strugę przepływu powietrza ponad skrzydłem, znacznie zmniejszyć siłę nośną skrzydła, zredukować kąt natarcia przy którym samolot osiąga maksymalną siłę nośną, zmniejszyć możliwości manewrowe samolotu i znacznie zwiększyć składowe siły oporu. Badania przeprowadzone w tunelu aerodynamicznym i w locie wskazują, że zakumulowane w tym samym czasie mróz, śnieg i lód na krawędzi natarcia lub też górnej powierzchni skrzydła w ilości i grubości nie mniejszej niż „kawałka papieru ściernego” mogą zredukować siłę nośną do 30% i zwiększyć siłę oporu do 40% (rys.7). W dużej mierze skala redukcji siły nośnej i wzrostu siły oporu zależy od struktury oblodzenia i intensywności jego narastania. [4]

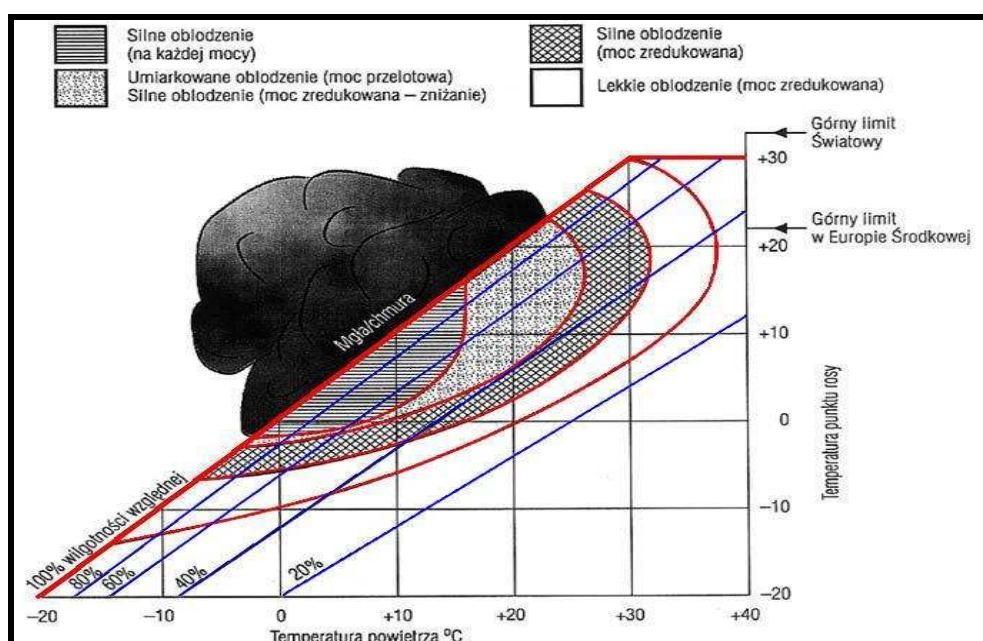


Rys. 7. Wykresy zmian współczynników siły oporu i siły nośnej skrzydła małego samolotu w zależności od czasu występowania oblodzenia. [4]

Pilot instynktownie dążąc do zrekompensowania dodatkowego oporu i spadku siły nośnej spowodowanej oblodzeniem z reguły zwiększa moc silnika celem zwiększenia jego ciągu i wychyla stery zwiększając kąt natarcia samolotu chcąc w ten sposób utrzymać stałą wysokość lotu. Pozwala on w ten sposób na kumulowanie dodatkowej ilości lodu i pogłębianie negatywnych skutków związanych z oblodzeniem w „zaciemionych” rejonach skrzydeł i kadłuba. Należy przy tym podkreślić, że samolot wykonujący lot w warunkach oblodzenia może osiągnąć krytyczne kąty natarcia na większej prędkości i mniejszych kątach natarcia w porównaniu z lotem w zwykłych warunkach, przy tej samej konfiguracji samolotu, a co za tym idzie kontynuacja lotu w tak skrajnych warunkach może stać się niemożliwa. Samolot może wpaść w niekontrolowany lot w płaszczyźnie pochylecia i/lub przychylenia i doprowadzenie go do stanu równowagi, przy stale pogarszających się możliwościach sterowania we wszystkich płaszczyznach może stać się niemożliwe.

2. Gaźnik silnika tłokowego. Najwrażliwszym na oblodzenie elementem silnika tłokowego jest gaźnik. Spowodowane jest to bardzo szerokim zakresem warunków atmosferycznych, w których może występować jego oblodzenie. Z racji powszechności występowania oblodzenia gaźnika, oraz niebezpiecznego charakteru tego zjawiska, w niniejszej pracy analizę oblodzenia elementów silnika tłokowego ograniczono do przedstawienia zjawiska oblodzenia gaźnika. Oblodzenie wewnątrz gaźnika jest zjawiskiem nieco odmiennym niż omawiane do tej pory oblodzenie tworzące się na powierzchniach zewnętrznych samolotu. Podstawową różnicą są warunki meteorologiczne, w jakich mogą pojawić się dane oblodzenia. Maksymalne oblodzenie na powierzchniach zewnętrznych samolotu występuje w zakresie temperatur od  $-12^{\circ}\text{C}$  do  $-5^{\circ}\text{C}$ . Ponadto, równie ważnym czynnikiem w procesie powstawania tego zjawiska jest wysoka wilgotność względna powietrza. Najkorzystniejsza do powstania oblodzenia, występująca w chmurze lub opadzie, wynosi blisko 100%. Oblodzenie gaźnika natomiast, może wystąpić w zakresie temperatur od  $-10^{\circ}\text{C}$  do ponad  $+35^{\circ}\text{C}$  (rys. 8) oraz przy wilgotności względnej już około i powyżej 40%. [8] Tak więc oblodzenie gaźnika to nie tylko zagrożenie okresu jesienno-zimowego, równie dobrze może wystąpić w letni, upalny i bezchmurny dzień. Dla porównania ze skrajnymi wartościami, przy których oblodzenie gaźnika może się pojawić,

średnia roczna wilgotność względna miasta Warszawy wynosi 76%. Na rysunku 10 przedstawione są warunki, w których istnieje duże prawdopodobieństwo wystąpienia oblodzenia gaźnika. Przy odpowiednio wysokiej wilgotności względnej, silne oblodzenie gaźnika jest możliwe nawet w temperaturze powietrza przekraczającej 30° C. Z kolei przy temperaturze poniżej -10° C ryzyko oblodzenia gaźnika jest znikome ze względu na niską zawartość pary wodnej w powietrzu przy tak niskiej temperaturze. Jednym z czynników zmniejszających ryzyko silnego oblodzenia i przerwania pracy silnika samolotu z silnikiem tłokowym jest zwiększenie jego obrotów. Lot w warunkach oblodzenia może więc spowodować zatrzymanie się silnika tłokowego poprzez oblodzenie gaźnika lub oblodzenie filtra paliwa, a tym samym znaczne ograniczenie lub wstrzymanie dopływu paliwa.



Rys. 8. Warunki powstawania oblodzenia w gaźniku. [7]

3. Śmigło - Lód na śmigle gromadzi się wcześniej, aniżeli zaczyna pojawiać się na krawędziach natarcia skrzydła. Oblodzenie na łopatkach śmigła powoduje powstanie znacznych oporów aerodynamicznych i zaburzeń jego opływu co znacznie zmniejsza ciąg przez niego wytwarzany. Oblodzenie w skrajnych wypadkach może doprowadzić do przesunięcia środka ciężkości śmigła i spowodować drgania niszczące. Innym efektem ubocznym jest odpadanie nagromadzonego lodu ze śmigła. Drobiny lodu mogą doprowadzić do uszkodzenia owiewki samolotu lub jego poszycia.

4. Kanały wlotowe powietrza do silnika - w przypadku silnika odrzutowego wystąpienie oblodzenia w tym segmencie samolotu poza wstrzymaniem dopływu paliwa – oblodzenie filtra paliwa, może doprowadzić do zaburzenia w dopływie powietrza skutkującego jego pompą, tj. wejściem na nadkrytyczny zakres pracy sprężarki – co w konsekwencji może doprowadzić do jego uszkodzenia i samoczynnego wyłączenia się silnika.

5. Łopatki sprężarki - silniki odrzutowe narażone są na oblodzenie łopatek sprężarki. Zjawisko to wiąże się z występowaniem przechłodzonych kropelek wody w powietrzu. Krople te, zderzając się z łopatkami sprężarki, zamarzają na ich powierzchni. Łopatki sprężarki, ze względu na działanie sił odśrodkowych, są częściowo zabezpieczone przez oblodzeniem. Lód jednak może odkładać się na nich i tworzyć pokrywy znacznych grubości. Oblodzenie łopatek zazwyczaj nie zachodzi równomiernie, lód narasta od wirnika w kierunku końcówek łopatek sprężarki, powodując, oprócz znacznego ograniczenia dopływu powietrza do silnika, wzrost drgań i nadmierne obciążenie wirnika, co może prowadzić do uszkodzenia łożysk i w konsekwencji do jego wyłączenia. Ponadto, niezależnie od tego z jakim silnikiem mamy do czynienia, dodatkowymi objawami oblodzenia silnika w kabine mogą być wahania obrotów i wzrost temperatury, oznakom tym mogą towarzyszyć silne wstrząsy.

5. Anteny radiostacji i urządzeń r/nawigacyjnych - Oblodzenie anteny radiostacji może spowodować na tyle poważne jej drgania, że będą one skutkować zakłóceniami łączności, a w skrajnym wypadku mogą doprowadzić do jej złamania. W odniesieniu do urządzeń r/nawigacyjnych czy r/wysokościomierza, oblodzenie może doprowadzić do błędów we wskazaniach tych przyrządów, powodując odchylenia we wskazaniach znacznie odbiegające od tych określonych w instrukcji.

6. Dajnik ciśnienia dynamicznego i statycznego – oblodzenie dajnika zasilającego przyrządy pokładowe samolotu, może zasadniczo zmienić ich wskazania lub też doprowadzić do tego, że staną się one bezużyteczne. Nieprawidłowość wskazań przyrządów może okazać się bardzo niebezpieczna, szczególnie w warunkach oblodzenia, kiedy lot odbywa się przy słabej widzialności w opadzie lub chmurze.

Powyżej odniesiono się do tych elementów statku powietrznego, których oblodzenie może doprowadzić do niebezpiecznego w konsekwencjach zdarzenia lotniczego. Biorąc pod uwagę dane statystyczne odnoszące się do wypadków lotniczych do jakich doszło z powodu oblodzenia w latach 1995 – 2000 r., wybranie tych elementów samolotu wydaje się być trafnym. Zgodnie ze statystykami na 388 wypadków spowodowanych oblodzeniem 153 było spowodowanych oblodzeniem elementów płatowca (skrzydła, układ sterowania, dajniki ciśnienia powietrznego, owiewki itp.), 203 oblodzeniem układu napędowego i instalacji z nim związanych (gaźnik, śmigło itp.), a jedynie 32 wskutek niewłaściwego odlodzenia samolotu na ziemi przed startem lub niewłaściwym stanem pasa z powodu oblodzenia itp. [10]

## **PODSUMOWANIE**

Powyższa, zwięzła próba opisanie zjawiska powstawania oblodzenia na statkach powietrznych, jego wpływ na bezpieczeństwo operacji powietrznych wydaje się uświadamiać dwa podstawowe fakty:

- w celu bezpiecznego wykonywania lotów piloci powinni potrafić określać wystąpienia oblodzenia na podstawie komunikatu meteorologicznego lub map synoptycznych;
- znać systemy, narzędzia i sposoby pozwalające na przeciwdziałanie temu zjawisku tak w powietrzu jak i na lotnisku.

Dostosowanie się do tych dwóch tez przez personel latający, może znacznie zmniejszyć zagrożenie wystąpienia niebezpiecznych zdarzeń lotniczych z powodu niebezpiecznego zjawiska meteorologicznego jakim jest oblodzenie. Szerzej do powyższych zagadnień

autorzy odnieśli się w drugiej części artykułu poświęconej sposobom przeciwdziałania oblodzeniu na ziemi i w powietrzu.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Jafern H., Wilczek Z., Ziarko J.: *Meteorologiczna osłona działań lotnictwa*, Bellona, Warszawa 2000
2. Praca zbiorowa: *Aircraft Icing Handbook*, Civil Aviation Authority, Lower Hutt 2000
3. Praca zbiorowa: *Encyklopedia popularna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1992
4. Praca zbiorowa: *A Pilot's Guide to In-Flight Icing*, NASA
5. Praca zbiorowa: Podręcznik Procedur Operatora - *Procedura odladzania i zabezpieczania przed oblodzeniem samolotów*, PLL LOT S.A., PLL LOT, 2009
6. Rajchel J., Zabłocki E.: *Port lotniczy*, WSOSP, Dęblin 2009
7. Szewczak P.: *Meteorologia dla pilota samolotowego*, Avia - test, Poznań 2007
8. Weiner J., Bonca Z.: *Zjawisko oblodzenia w układzie zasilania silnika lotniczego lekkiego samolotu*, *Technika chłodnicza i klimatyzacyjna*, 08/2007
9. <http://www.airport-int.com/>
10. <http://www.aopa.org/asf/publications/sa11.pdf>
11. <http://www.boschung.com/>
12. <http://aviationglossary.com/aviation-terms/pilot-report-pirep/>