

ĆWIKŁAK Janusz, KOZUBA Jarosław, JAFERNIK Henryk

## **OBLODZENIE SAMOŁOTU – SPOSOBY WYKRYWANIA I PRZECIWDZIAŁANIA**

### *Streszczenie*

*W artykule odniesiono się do zagadnień związanych z oblodzeniem statku powietrznego ze szczególnym uwzględnieniem współcześnie stosowanych urządzeń sygnalizacji oblodzenia i systemów przeciwołodziennych. Podkreślono również rolę i znaczenie dla bezpieczeństwa realizacji zadań lotniczych, lotniskowych instalacji przeciwołodziennych.*

### **WSTĘP**

Niebezpieczeństwo związane z wystąpieniem oblodzenia na skrzydłach, kadłubie czy elementach ustereżenia polega na tym, że może dojść do pogorszenia parametrów aerodynamicznych statku powietrznego, co w skrajnej sytuacji skutkować może utratą jego sterowności. Oblodzenie może być też przyczyną zaburzeń w przepływie strumienia powietrza do silnika samolotu odrzutowego, co z kolei może skutkować jego uszkodzeniem. W samolotach napędzanych silnikami tłokowymi, wykonujących lot w strefie oblodzenia może dojść do oblodzenia śmigła i/lub gaźnika silnika, co także może doprowadzić do znacznej utraty mocy, a w skrajnym wypadku do jego uszkodzenia. Dlatego też, niezależnie od rodzaju statku powietrznego i zespołu napędowego w nim zastosowanego, wystąpienie oblodzenia jest zjawiskiem niepożądanym z punktu widzenia bezpieczeństwa realizacji zadania lotniczego. Powoduje to, że stale podejmowane są działania mające na celu przeciwdziałaniu temu zjawisku, zarówno na ziemi, jak również i w powietrzu. Niezależnie od rozwiązania konstrukcyjnego branego pod uwagę, stosowane systemy i urządzenia mają do spełnienia dwa zasadnicze zadania tj.: poinformowania załogi statku powietrznego o wejściu w strefę oblodzenia i przeciwdziałaniu zjawisku oblodzenia w przypadku jego wystąpienia. Niestety, częstotliwość występowania incydentów lub wypadków lotniczych, gdzie za zasadniczą przyczynę uznawane jest oblodzenie wskazuje, że rozwiązania te są niewystarczające, szczególnie przy wejściu statku powietrznego w strefę intensywnego lodzenia.

### **1. WYBRANE ASPEKTY TEORII OBLODZENIA STATKU POWIETRZNEGO**

Najprościej ujmując, po pojęciu oblodzenia należy rozumieć powstawanie powłoki lodowej na różnych, zewnętrznych elementach statku powietrznego znajdującego się w powietrzu lub na ziemi. Tworzenie się powłoki lodowej na powierzchni statku powietrznego może być spowodowane sublimacją pary wodnej, bądź też zamrażaniem uderzających w zewnętrzne elementy statku powietrznego wychłodzonych kropli wody lub mieszaniny kropli wody i kryształków lodu. Przypadek pierwszy występuje w warunkach,

gdy temperatura powierzchni samolotu jest znacznie niższa od temperatury powietrza otaczającego. Zjawisko to występuje z reguły w przypadku gwałtownego zmniejszania wysokości lotu przez statek powietrzny. Ten rodzaj oblodzenia występuje z reguły w postaci cienkiej warstwy szronu i nie stanowi on dużego zagrożenia dla statku powietrznego. Bardziej niebezpieczne jest oblodzenie występujące w przypadku zderzenia się z samolotem przechłodzonym kropel chmur, deszczu, mżawki lub ich mieszaniny zawierającej np. kryształki lodu i/lub płatki śniegu.

Przyjmuje się, że rodzaj oblodzenia, jego intensywność oraz stopień zagrożenia spowodowany jego wystąpieniem uzależniony jest głównie od temperatury i średnicy przechłodzonych kropeł wody. Intensywnością oblodzenia nazywamy prędkość narastania warstwy lodu na powierzchni zewnętrznej elementów statku powietrznego w jednostce czasu:

- oblodzenie słabe – od kilku dziesiątych milimetra do 0,5 mm/min.;
- oblodzenie umiarkowane – od 0,51 do 1,0 mm/min.;
- oblodzenie silne – od 1,01 do 2,0 mm/min.;
- oblodzenie bardzo silne – powyżej 2,01 mm/min. [4]

Z kolei do zasadniczych czynników określających stopień intensywności oblodzenia możemy zaliczyć:

1. Ilość wody znajdującej się w stanie skondensowanym w  $1\text{m}^3$  powietrza, która wywiera największy wpływ na prędkość narastania lodu na powierzchni samolotu. Należy przy tym podkreślić, że najintensywniejsze oblodzenia występuje w chmurach, w których zawartość wody wynosi więcej niż  $1\text{g}/\text{m}^3$ .
2. Rozmiar kropeł wody z których zbudowana jest chmura. Intensywność narastania lodu na powierzchni statku powietrznego jest wprost proporcjonalna do rozmiarów kropeł wody.
3. Prędkość lotu samolotu wywiera dwojaki wpływ na intensywność oblodzenia. Z jednej strony wraz ze wzrostem prędkości samolotu wzrasta liczba kropeł wody osiadających na powierzchni samolotu w jednostce czasu, z drugiej strony przy dużych prędkościach następuje znaczne nagrzanie kinetyczne krawędzi natarcia samolotu, wobec czego oblodzenie może nastąpić jedynie w przypadku względnie niskiej temperatury powietrza. Należy przy tym podkreślić, że na wartość nagrzania kinetycznego krawędzi natarcia skrzydła na zasadniczy wpływ ma stopień nasycenia powietrza parą wodną (tabela nr 1).

**Tab. 1.** Wartość nagrzania kinetycznego krawędzi natarcia samolotu w zależności od prędkości lotu, w powietrzu suchym  $\Delta T$  i nasyconym parą wodną  $\Delta T^*$ . [4]

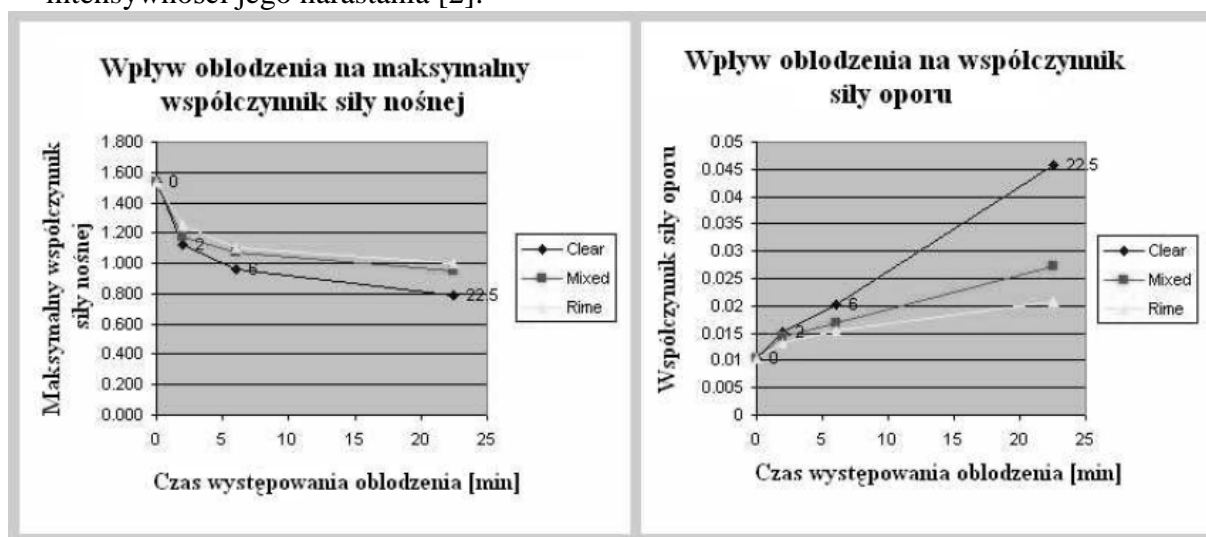
$V_{rz}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
$\Delta T$				6	6	10	13	17	21	62	32	38
$\Delta T^*$	0,4	1,6	3,5	6,2	9,6	13,9	19,0	24,6	31,2	38,7		

Przyjmuje się, że przy prędkości rzeczywistej samolotu ok. 720 km/h zjawisko oblodzenia nie powinno występować, a w przypadku wystąpienia oblodzenia samolotu przy mniejszych prędkościach i zwiększenia jej do ww. wartości powinno ono ustąpić. Należy jednak podkreślić, że wartości określone w tabeli nr1 odnoszą się jedynie do krawędzi natarcia, a w związku z tym temperatura na skrzydle rozkładać się będzie nierównomiernie, tj. im dalej od krawędzi natarcia skrzydła, tym temperatura płata skrzydła będzie niższa.

W takich warunkach warstwa wody spływająca z krawędzi natarcia skrzydła do tylnej jego części będzie zamarała, powodując powstawanie warstwy oblodzenia (lodu). Stan ten będzie miał negatywny wpływ na właściwości aerodynamiczne samolotu, poprzez przesunięcie do przodu (w kierunku krawędzi natarcia) punktu przejścia warstwy przyściennej z laminarnej, w warstwę zaburzoną. Dodatkowo, w przypadku wystąpienia „grubej” warstwy lodu może dojść do „zablokowania” lotek, a tym samym ograniczenia

możliwości manewrowych samolotu. Z podobną sytuacją możemy mieć do czynienia w przypadku steru kierunku i wysokości.

4. Właściwości aerodynamiczne samolotu. 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 szczególne zagrożenie. Wystąpienie oblodzenia na powierzchni skrzydeł, statecznika poziomego i pionowego może być o tyle brzemienne w skutkach, że na skrzydle jest wytwarzana zasadnicza siła nośna potrzebna do kontrolowanego 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 [2].



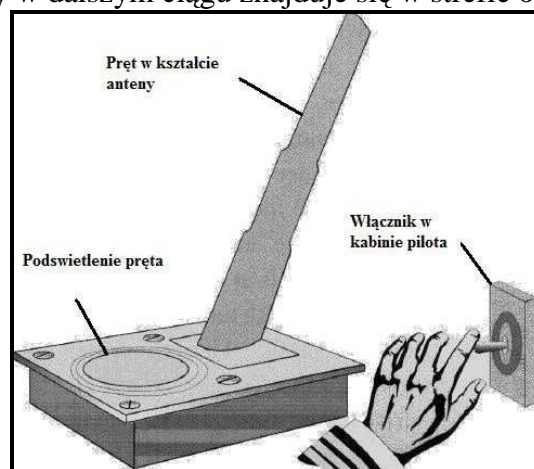
Rys. 7. Wykresy zmian współczynników siły oporu i siły nośnej skrzydła małego samolotu w zależności od czasu występowania oblodzenia. [6]

Dlatego też, konstruktorzy statków powietrznych, szczególnie tych wykonujących loty na średnich i dużych wysokościach, w każdych warunkach atmosferycznych, tak dużą wagę przywiązują do instalacji służących sygnalizacji i przeciwdziałaniu zjawisku oblodzenia statku powietrznego.

## 2. URZĄDZENIA SYGNALIZACJI OBLODZENIA SAMOLOTU

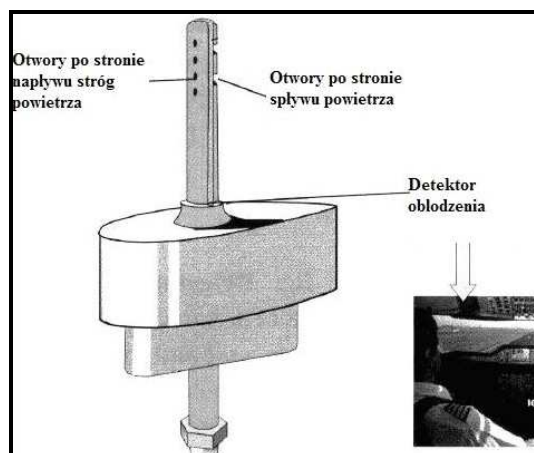
Z punktu widzenia bezpieczeństwa realizacji zadania lotniczego i świadomości sytuacyjnej pilota w odniesieniu do prawdopodobieństwa oblodzenia statku powietrznego ważną rolę odgrywają urządzenia (systemy) sygnalizacji oblodzenia, tzw. detektory oblodzenia. Na współczesnych samolotach instalowane są następujące systemy sygnalizacji oblodzenia:

1. Detektor oblodzenia Teddingtona – wizualny system sygnalizacji oblodzenia. Urządzenie to składa się z niewielkiego pręta w kształcie anteny radiowej, który znajduje się na zewnątrz kabiny samolotu, w miejscu dobrze widocznym dla pilota. Celem polepszenia odczytu u podstawy pręta znajduje się lampka podświetlająca, którą pilot może włączyć z panelu sterowania w kokpicie (Rys. 1.). W przypadku wejścia samolotu w strefę oblodzenia na detektorze odkłada się warstwa lodu. Pilot ma także, możliwość włączenia podgrzewu sygnalizatora i usunięcia warstwy lodu, a następnie podgrzew może wyłączyć celem sprawdzenia czy w dalszym ciągu znajduje się w strefie oblodzenia.



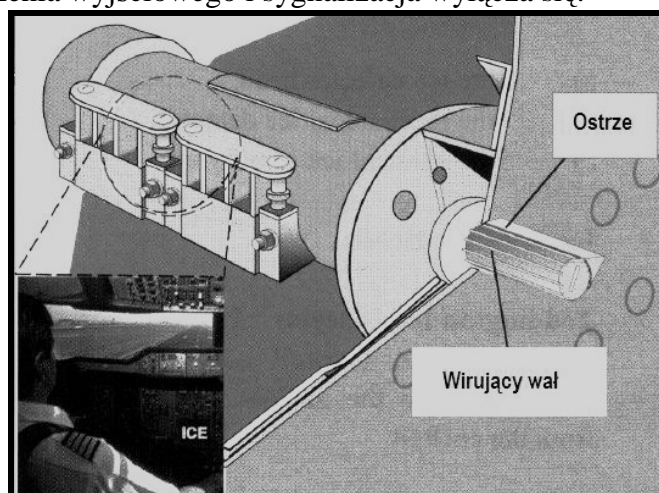
Rys. 1. Detektor Teddingtona. [13]

2. Detektor oblodzenia - sonda ciśnieniowa Smitha. Sonda znajduje się na zewnątrz kabiny samolotu. W odróżnieniu od wyżej scharakteryzowanego detektora, system ten działa na zasadzie wytworzenia podciśnienia w rurce czujnika, wskutek zatkania otworów po stronie napływających strug powietrza przez kryształki lodu (Rys. 2.). Wówczas sygnał o wejściu samolotu w strefę oblodzenia przekazywany jest do sygnalizatora w kabinie samolotu.



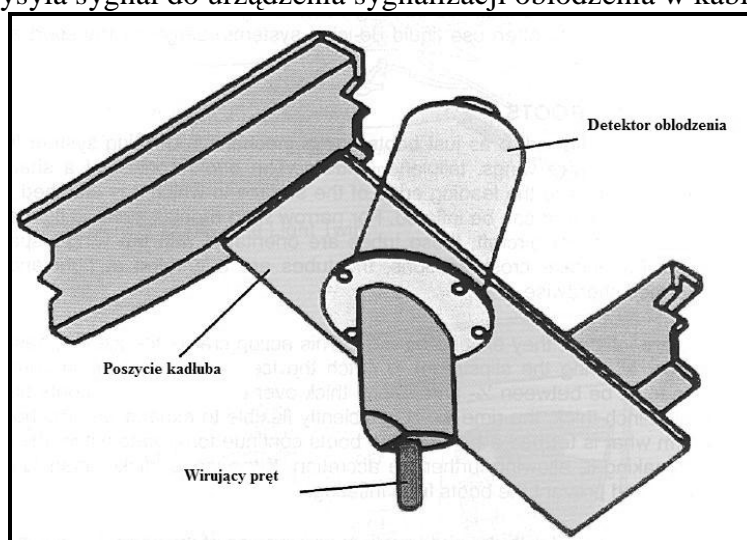
Rys. 2. Sonda Smitha. [13]

3. Mechaniczny detektor tzw. angielski typu „Napier”. W urządzeniu tym wykorzystuje się różnice sił oddziałujących na wał napędzany przez silnik elektryczny, tj. tych w strefie i poza strefą oblodzenia. W przypadku pojawienia się warstwy oblodzenia, odkłada się ono na wirującym wale. Na zewnątrz wału zamontowany element czyszczący, wytwarzający siłę oporu w przypadku pojawienia się lodu na wale [Rys. 3.]. W tym przypadku pojawia się zapotrzebowanie na większy moment obrotowy silnika. W wyniku reakcji sprężyste zamontowana obudowa silnika zmienia swoje położenie i uruchamia włącznik sygnalizacji oblodzenia w kabinie. W momencie ustąpienia oblodzenia (oczyszczenia wału) obudowa powraca do położenia wyjściowego i sygnalizacja wyłącza się.



Rys. 3. Mechaniczny detektor oblodzenia – tzw. Angielski typu „Napier”. [13]

4. Detektor impulsowy typu Rosemount. Detektor umieszczony jest na zewnątrz kabiny samolotu w strefie przepływu strumienia powietrza. Składa się on z wirującego pręta cylindrycznego, który zbudowany jest ze specjalnego, ferromagnetycznego stopu metalu nazywanego NISPAN. Umocniony jest on w obudowie drgającej z częstotliwością 35 kHz. W przypadku wejścia samolotu w strefę oblodzenia masa pręta rośnie wprost proporcjonalnie do zwiększającej się masy osadzającego się na nim lodu, co skutkuje spadkiem częstotliwości drgań w układzie. Po osiągnięciu założonego, dolnego progu drgań układ wysyła sygnał do urządzenia sygnalizacji oblodzenia w kabinie samolotu.



Rys. 4. Detektor impulsowy oblodzenia typu Rosemount. [10]

Ponadto, w praktyce możemy spotkać się także z innymi rozwiązaniami, np. laserowy detektor oblodzenia statku powietrznego. Jednakże, te opisane powyżej są najbardziej rozpowszechnione.

### 3. INSTALACJE PRZECIWOBLODZENIOWE STATKU POWIETRZNEGO

W literaturze przedmiotu związanej z oblodzeniem, jako niebezpiecznym zjawiskiem meteorologicznym dla lotnictwa możemy spotkać się z dwoma zasadniczymi pojęciami odnoszącymi się do przeciwdziałania temu zjawisku tj. odladzanie i działania przeciwooblodzeniowe. Zasadniczym zadaniem systemów odladzających stosowanych na ziemi i w powietrzu jest usunięcie warstwy lodu zalegającej na newralgicznych elementach statku powietrznego, z punktu widzenia aerodynamiki statku powietrznego (śmigieł) i pracy silnika oraz widoczności z kabiny samolotu.

Natomiast mówiąc o systemach przeciwooblodzeniowych mamy na myśli te, które przeciwdziałają powstawaniu powłoki lodowej na ww. elementach statku powietrznego. Należy przy tym podkreślić, że większość stosowanych współcześnie systemów łączy w sobie obie te funkcje tj. odladzania i przeciwdziałania osadzaniu się lodu na powierzchni elementów statku powietrznego.

#### 3.1. Lotniskowe instalacje przeciwooblodzeniowe / odladzania statku powietrznego

W przypadku kiedy statek powietrzny uległ oblodzeniu w czasie postoju to przed realizacją zadania lotniczego należy bezwzględnie poddać go procesowi odladzania (Rys.5). Dotyczy to także sytuacji kiedy statek powietrzny jest „mokry”, a izoterma „zerowa” znajduje się na niskiej wysokości. W żadnym wypadku nie wolno wykonywać lotu jeżeli na powierzchni płatowca znajduje się lód, szadź, szron, śnieg, krople przechłodzonej wody lub inne zanieczyszczenia, które podczas lotu mogą spowodować powstanie oblodzenia.



Rys. 5. Odladzanie samolotu na płaszczyźnie lotniska. [11]

Sposób odladzania samolotu na lotnisku możemy podzielić na dwie zasadnicze grupy:

**1. Odladzanie mechaniczne.** W praktyce realizowane przy pomocy szczotek, dmuchaw ciepłego powietrza. Metoda ta stosowana jest najczęściej w odniesieniu do samolotów lotnictwa ogólnego. Obecnie testowany jest sposób odladzania za pomocą promienników podczerwonych. Metoda ta stosowana jest w Norwegii od 2007 roku. Nie wydaje się jednak, aby dokonał się w tej dziedzinie znaczący postęp, ponieważ jest ona kosztowna oraz nie zabezpiecza powierzchni samolotu przed oblodzeniem. Sposób na połączenie tych dwóch funkcji mógłby przyspieszyć powszechne wdrożenie tej metody [3]. Jednakże brak

zabezpieczenia samolotu przed oblodzeniem w fazie startu powoduje, że w praktyce odchodzi się od stosowania tej metody na rzecz odladzania chemicznego.

**2. Odladzanie chemiczne.** Obecnie jest to najczęściej stosowana metoda odladzania stosowana przez lotnictwo komercyjne. Polega ona na natryskiwaniu na oblodzone powierzchnie statku powietrznego podgrzanych płynów chemicznych. W zależności od klasy stosowanych płynów, metoda ta zabezpiecza statek powietrzny do czasu jego startu przed oblodzeniem lub też powoduje jedynie usunięcie lodu z jego powierzchni zewnętrznych. Płyny stosowane w tej metodzie zawierają glikol w różnych odmianach – propylen, etylen i dietylen. Z reguły stosowana jest metoda dwuetapowa tj. usunięcia z powierzchni samolotu lodu, śniegu itd., drugi etap polega na czasowym zabezpieczeniu powierzchni przed tworzeniem, osadzaniem się na powierzchni samolotu warstwy oblodzenia. Zgodnie ze standardem SAE ASM 1428 i MAS 1424 rozróżnia się cztery typy płynów przeciwoblodzeniowych:

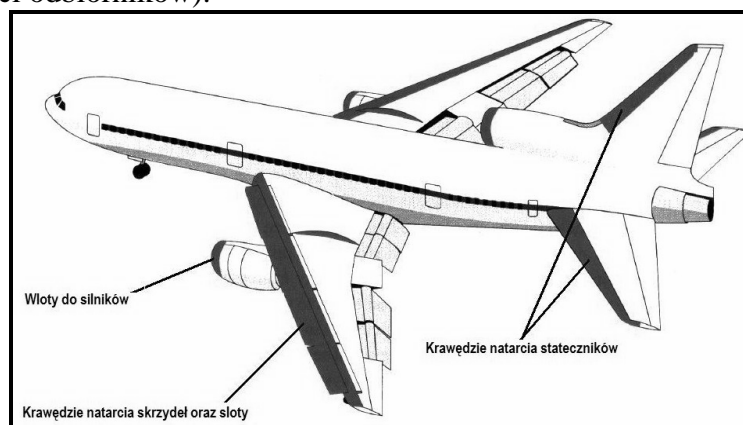
- Typ I. – Płyn koloru ciemno pomarańczowy [9] najczęściej stosowany w procesie odladzania samolotu. Zawiera mieszaninę wodno - glikolową (80% glikolu), jak również i związki antykorozyjne. Jednakże płyny tego typu nie mają właściwości zabezpieczających samolot przed ponownym oblodzeniem np. opadem marznącego deszczu. Najskuteczniejsze są przy występowaniu mrozu bez opadu.
- Typ II. – Płyn koloru białego (mętny) [9] posiada w swoim składzie związki zabezpieczające przed oblodzeniem powierzchni samolotu. Warstwa tego płynu pozostaje na powierzchni samolotu do prędkości ok. 200km/h.
- Typ III. – Koloru żółtego [9], traktowany jest jako swego rodzaju kompromis pomiędzy środkiem rodzaju I, i II. Dedykowany jest do samolotów prędkość rotacji poniżej 200 km/h.
- Typ IV. Koloru zielonego [9], standardami odpowiada płynowi typu II. Różnica zasadnicza polega na tym, że posiada dłuższy czas ochrony płatowca przed oblodzeniem. [7]

Należy pamiętać, że płyny typu I., II., i IV zabezpieczają samolot przed ponownym oblodzeniem do zakończenia fazy startu przy zachowaniu stosownych ograniczeń czasowych – od zakończeniu procesu czyszczenia do momentu startu statku powietrznego. Natomiast płyny typu I. pełnią jedynie funkcję odlodzenia, jednak nie zabezpieczają samolotu przed ponownym oblodzeniem.

#### **4. SYSTEMY PRZECIWOBLODZENIOWE STOSOWANE NA WSPÓŁCZESNYCH SAMOLOTACH**

**Systemy przeciwoblodzeniowe samolotu wykorzystujące ciepłe powietrze z silnika.** Jest zasadniczym systemem stosowanym na samolotach z napędem turbinowym – turboodrzutowym lub turbośmigłowym. Elementem roboczym w tym systemie jest ciepłe powietrze pobierane zza sprężarki silnika turbinowego. Następnie kierowane jest ono w formie nadmuchu na najbardziej naważne pod kątem oblodzenia elementy statku powietrznego – krawędzie natarcia samolotu, statecznika poziomego, steru wysokości, rejon wlotów silników itp. (Rys. 6.). Podobnie jak w innych instalacjach, np. instalacja hydrauliczna, w przypadku awarii jednego z silników, ten pozostający w trybie pracy dostarcza powietrze ciepłe na powierzchnie zasilane dotychczas przez silnik niepracujący. Z uwagi na wysoką temperaturę dostarczanego powietrza i możliwość przegrzania elementów zasilanych, na samolocie zainstalowane są do dodatkowe czujniki, które w przypadku zbyt wysokiej temperatury elementów chronionych odłączają dopływ ciepłego powietrza do momentu osiągnięcia nakazanej temperatury. System ten posiada swoje zalety – stosunkowo niskie koszty eksploatacji i wysoką efektywność przeciwdziałania oblodzeniu, ale również i

wady – przede wszystkim stosunkowo duża masa i złożoność konstrukcyjna (konieczność zasilania dużej ilości odbiorników).



**Rys.6.** Ciepły system przeciwooblodzeniowy samolotu. [14]

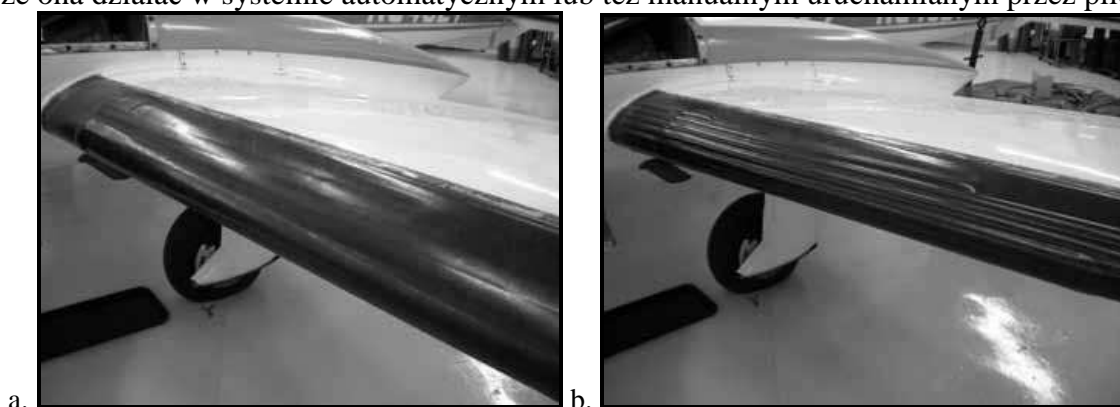
**Elektryczne systemy przeciwooblodzeniowe.** W systemach tych wykorzystywany jest prąd elektryczny do podgrzewania szczególnie narażonych na oblodzenie elementów statków powietrznych tj. dajników - ciśnień powietrza, kątów natarcia; oblodzenia poszczególnych części samolotu; wlotów do silników (w samolotach o napędzie turbinowym); gaźników (w samolotach o napędzie tłokowym); krawędzi natarcia skrzydeł, statecznika poziomego i pionowego; krawędzi natarcia łopat śmigła samolotu lub śmigłowca, owiewki kabiny samolotu itd. Do zasilania rezystancyjnych elementów grzewczych tego typu instalacji z reguły wykorzystywany jest z prąd stały lub trójfazowy prąd zmienny. Elektryczne systemy przeciwooblodzeniowe statków powietrznych mogą być stosowane zarówno na ziemi przy niskich temperaturach, kiedy zachodzi konieczność odlodzenia np. szyby przedniej samolotu, ale przede wszystkim znajdują zastosowanie w procesach przeciwdziałania oblodzeniu i odladzania ww. części samolotu w czasie lotu. Do zalet tego systemu należy przede wszystkim wysoka skuteczność w przeciwdziałaniu i usuwaniu lodu z określonych powierzchni statku powietrznego, stosunkowo niską złożoność konstrukcji i masę tego typu instalacji. W przypadku podgrzewania szyb kabiny samolotu, elementy instalacji przeciwooblodzeniowych pełnią dodatkową rolę wzmacniającą, np. w przypadku zderzenia z ptakiem. Natomiast do wad tego rodzaju systemów możemy zaliczyć przede wszystkim możliwość przegrzania (awarii) tego typu instalacji w przypadku niedostosowania się pilota do określonych w instrukcjach zasad eksploatacji.



**Rys.7.** Elektryczna instalacja przeciwooblodzeniowa łopat śmigła. [6]



**Pneumatyczne systemy przeciwooblodzeniowe.** Zasada działania tego systemu opiera się na usuwaniu lodu przy pomocy gumowych (czasem w połączeniu z nylonem) nakładek pokrytych poliuretanowym materiałem, zamontowanych na krawędziach natarcia skrzydeł, które są wypełniane powietrzem celem skruszenia i usunięcia lodu z krawędzi natarcia skrzydła samolotu (Rys.8.). Prostota konstrukcji, stosunkowo mała masa – do ok. 50 funtów, małe napięcie potrzebne do aktywacji, mały koszt produkcji i eksploatacji. Ponadto, fakt, że nakładki pokryte są materiałem poliuretanowym znacznie uodparnia krawędzie natarcia skrzydeł samolotu na działanie deszczu. Natomiast do wad tego systemu możemy zaliczyć: negatywny wpływ na własności aerodynamiczne statku powietrznego, jak również fakt, że przy pomocy tej instalacji może być realizowane jedynie odladzanie powoduje, że znalazła ona ograniczone zastosowanie - samoloty średnie i lekkie. W zależności od typu instalacji może ona działać w systemie automatycznym lub też manualnym uruchamianym przez pilota.



**Rys. 8.** Pneumatyczna instalacja przeciwooblodzeniowa samolotu lotnictwa ogólnego, a- nakładki przed uruchomieniem, b. nakładki po uruchomieniu. [10]

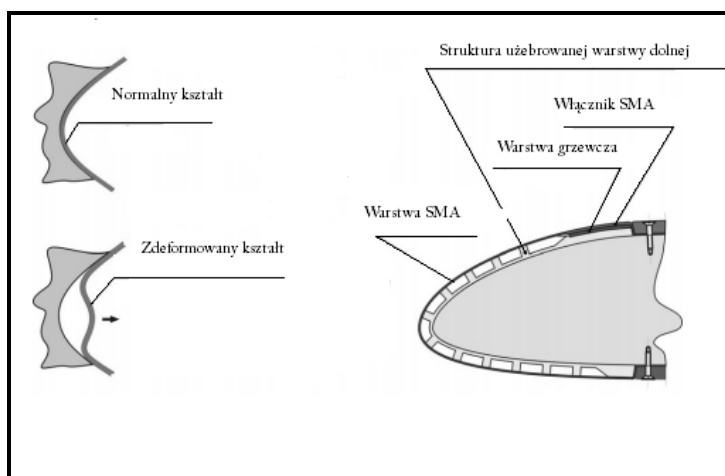
**Systemy stosujące płyny odladzające jako czynnik roboczy.** W małych samolotach – głównie lotnictwa ogólnego, stosowany jest system usuwania lodu z owiewki kabiny samolotu, w którym elementem roboczym jest płyn odladzający [Rys. 9.]. Z reguły płyny te są związkami chemicznymi zawierającymi glikol lub alkohol. Systemy te nie znalazły zastosowania na dużych samolotach, z uwagi na fakt, że czas ich pracy ograniczony jest ilością płynu odladzającego w zbiorniku<sup>1</sup>.



**Rys. 9.** Instalacja przeciwooblodzeniowa samolotu lotnictwa ogólnego.[10]

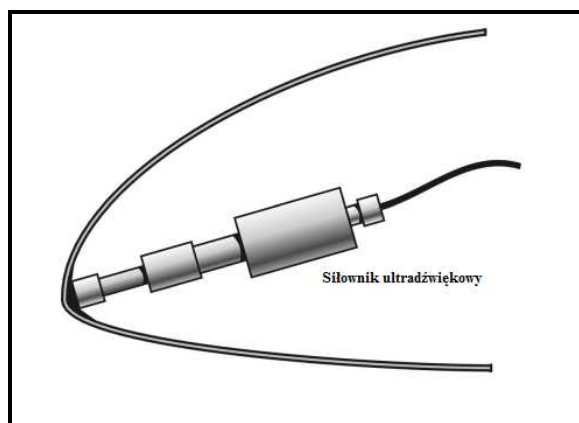
<sup>1</sup> Samolot TS-11 Iskra dysponuje zbiornikiem o pojemności 1 litra (alkohol), wystarcza on na 2-3 krotne użycie instalacji przez 1,5-2 sekund.

**Systemy przeciwołodziennowe konstruowane w oparciu materiały inteligentne.** Materiały SMA (Ang. Shape Memory Alloys) - są określane jako inteligentne, ponieważ ich właściwości fizyczne powodują, że może nastąpić okresowa zmiana ich orientacji krystalicznej pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego lub temperatury. Uwzględniając właściwość „pamięci kształtu” czyli powrotu materiału do kształtu prezentowanego przed dostarczeniem jednego z ww. czynników. Wyróżnia się dwa główne efekty pamięci kształtu, przy uwzględnieniu zjawiska indukującego tj. odwracalna przemiana martenzytyczna indukowana cieplnie oraz odwracalna zmiana orientacji krystalicznej martenzytu indukowana zewnętrznym polem magnetycznym. Z uwagi na czynnik powodujący odkształcenie materiału, SMA możemy podzielić na: termosprężyste stopy z pamięcią kształtu TSMA (ang. Thermal) – Nitinol – stop metaliczny niklu z tytanem (Ni-Ti), stop glinu i miedzi (Al-Cu); stopy magnetyczne stopy z pamięcią kształtu MSMA (ang. Magnetic SMA) lub ferromagnetyczne stopy z pamięcią kształtu FSMA (Ferromagnetic SMA) – Ni-Mn-Ga – stop metaliczny niklu, manganu i galu. Właściwości tego typu materiałów są wykorzystywane do usuwania lodu z powierzchni np. krawędzi skrzydła. Chcąc to osiągnąć pokrywa się warstwę zewnętrzną krawędzi natarcia skrzydła materiałem SMA. Lód pojawiający się na krawędzi natarcia powoduje przekazywanie utajonego ciepła do SMA, wskutek czego następuje jego odkształcenie jej pokrycia i oderwanie lodu. Po ustaniu oblodzenia materiał samoczynnie powraca do stanu wyjściowego (Rys. 10.). Istotnym przy tym jest, że zastosowanie tej metody nie ma dużego wpływu na charakterystyki aerodynamiczne statku powietrznego – krótki czas działania, oraz to że proces ten przebiega automatycznie. [1]



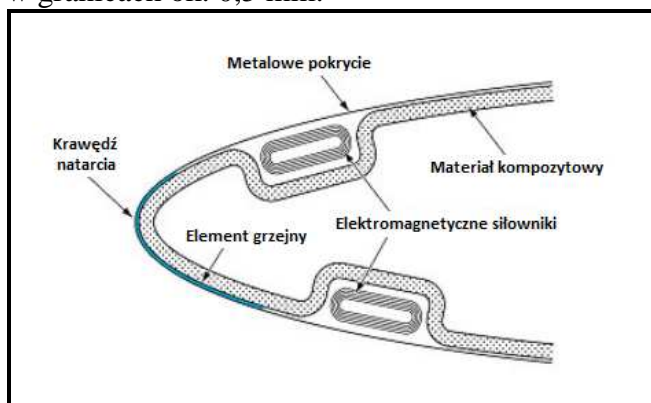
**Rys. 10.** Schemat budowy i działania materiałów SMA w przypadku pojawienia się oblodzenia na krawędzi natarcia. [1]

**System przeciwołodzienny oparte na wykorzystaniu zjawisk towarzyszących fali ultradźwiękowej.** Istota tej metody polega na zniwelowaniu przyczepności pomiędzy warstwą oblodzenia, a krawędzią natarcia skrzydła przy pomocy fali ultradźwiękowej (Rys.11.). Fala ultradźwiękowa tworzy na granicy dwóch materiałów (warstwa lodu – powierzchnia natarcia skrzydła) wystarczająco silne pole naprężeń do ich separacji. Źródłem fal ultradźwiękowych są siłowniki ultradźwiękowy.



**Rys.11.** Ultradźwiękowy system przeciwołodzienny. [10]

**System przeciwołodzienny typu SPEED.** System przeciwołodzienny typu SPEED (ang. Sonic Pulse Electro Expulsive Deicer), będący wersją rozwojową systemu EIDI (ang. Elektro-Impulsive Deicing), jest stosowany na dużych statkach powietrznych. Metoda ta sprowadza się do tego, że w wyniku dostarczenia napięcia do elektrycznych siłowników zamontowanych wewnątrz skrzydła powstają silne fale elektromagnetyczne, które wywołują silne pola wirowe na powierzchni skrzydła (Rys.12.). W ten sposób powstają na powierzchni skrzydła silne, skierowane przeciwnie siły pomiędzy warstwą lodu, a metalową powierzchnią skrzydła. Wskutek powyższego następuje „wybuchowe” oderwanie lodu od powierzchni skrzydła. Efekt ten potęgowany jest przez strumień powietrza opływającego dolną i górną powierzchnie skrzydła. System ten wyposażony jest w czujnik oblodzenia IOS (ang. Icing Onset Sensor) pozwalający na jego automatyczne uruchomienie w przypadku powstania progowej grubości warstwy lodu na powierzchni skrzydła. Urządzenie to jest efektywne do grubości warstwy lodu w granicach ok. 0,5 mm.



**Rys. 12.** System odladzający typu SPEED. [12]

## PODSUMOWANIE

Podsumowując należy podkreślić, że w literaturze przedmiotu możemy spotkać się także z koncepcjami i prototypami systemów przeciwołodziennych opartych o nanotechnologie, czy też systemami przeciwołodziennymi wykorzystującymi zjawisko separacji elektroekspulsywnej. Dotychczasowe doświadczenia wskazują, że pomimo stosowania coraz bardziej nowoczesnych i skutecznych, z doświadczalnego punktu widzenia systemów sygnalizacji oblodzenia, jak również i systemów przeciwołodziennych (odladzających) wypadki lotnicze spowodowane tym, niebezpiecznym zjawiskiem pogodowym w dalszym ciągu występują. W latach 1996-2006, w USA doszło do ponad trzydziestu niepożądanych zdarzeń lotniczych, których zasadniczą przyczyną było oblodzenie statku powietrznego. Skuteczne przeciwdziałanie zjawisku oblodzenia samolotu pomimo ponad stuletniej historii

statków powietrznych i szeregu, wyżej opisanych rozwiązań w tym zakresie, w dalszym ciągu istotnym problemem z punktu widzenia realizacji zadań lotniczych przez personel latający. Dlatego też, należy podkreślić, że to człowiek (pilot) jako zasadniczy element systemu lotniczego powinien być właściwie przygotowany do rozpoznawania rejonów dużego prawdopodobieństwa występowania oblodzenia oraz powinien być właściwie przygotowany do przeciwdziałania temu zjawisku, w tym użycia systemów lotniskowych i pokładowych będących w jego dyspozycji.

## BIBLIOGRAFIA

1. Goraj, Z., *An overview of the deicing and antiicing Technologies with prospects for the future*, Proceeding on 24<sup>th</sup> International Congress of the Aeronautical Sciences, ICAS 2004, 29 August – 3 September, Yokohama (Japan)
2. Jaferník H., Kozuba J., *Oblodzenie samolotu – Przyczyny, wpływ na wykonywanie operacji powietrznych*, cz. I, Poznań 2011, Logistyka Nr 3/ 2011
3. Jaferník H., Kozuba J., *Oblodzenie samolotu – Sposoby przeciwdziałania*, cz. II, Poznań 2011, Logistyka Nr 3/ 2011
4. Jaferník H., Wilczek Z., Ziarko J., *Meteorologiczna osłona działań lotnictwa*, Dom Wydawniczy Bellona, Warszawa 2000
5. Praca zbiorowa: *A Pilot's Guide to In-Flight Icing*, NASA
6. Weinar J., Bonca Z.: *Zjawisko oblodzenia w układzie zasilania silnika lotniczego lekkiego samolotu*, Technika chłodnicza i klimatyzacyjna Nr 8/2007
7. [http://en.wikipedia.org/wiki/deicing\\_fluid](http://en.wikipedia.org/wiki/deicing_fluid).
8. [www.aerospace-technology.com/projects/raytheon\\_premier\\_1](http://www.aerospace-technology.com/projects/raytheon_premier_1)
9. [www.boeing.com](http://www.boeing.com)
10. [www.faa.gov/regulations\\_policies/handbooks\\_manuals/aircraft/Ch.15.pdf](http://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/Ch.15.pdf)
11. [www.hatchmot.com](http://www.hatchmot.com)
12. [www.idiny.com/eidi.html](http://www.idiny.com/eidi.html)
13. [www.samoloty.pl/index.php/artykuly-lotnicze/6699-niebezpieczenstwa-w-locie-oblodzenie-platewca\\_cz.1](http://www.samoloty.pl/index.php/artykuly-lotnicze/6699-niebezpieczenstwa-w-locie-oblodzenie-platewca_cz.1)
14. [www.samoloty.pl/index.php/artykuly-lotnicze/6699-niebezpieczenstwa-w-locie-oblodzenie-platewca\\_cz.2](http://www.samoloty.pl/index.php/artykuly-lotnicze/6699-niebezpieczenstwa-w-locie-oblodzenie-platewca_cz.2)

## AIRCRAFT ICING – METHODS OF DETECTING AND PREVENTING

### ABSTRACT

*The article discusses issues concerning aircraft icing with taking into consideration modern icing detectors and de-icing installations of aircrafts. It was underlined the role and importance deicing ground equipment for maintaining high safety standards in the preparation and execution of air operations as well.*

### Autorzy:

**dr inż. pil. Janusz Ćwiklak** – prodziekan Wydziału Lotnictwa Wyższej Szkoły Oficerskiej Sił Powietrznych w Deblinie, [jcwiklak@wp.pl](mailto:jcwiklak@wp.pl)

**Dr inż. pil. Jarosław KOZUBA** – adiunkt – Dyrektor Centrum Szkolenia i Doskonalenia Personelu Lotniczego Wyższej Szkoły Oficerskiej Sił Powietrznych w Dęblinie, [aabuzok@wp.pl](mailto:aabuzok@wp.pl)