

# ZJAWISKO OBLODZENIA W UKŁADZIE ZASILANIA SILNIKA LOTNICZEGO LEKKIEGO SAMOLOTU

## CZĘŚĆ 1

Jan WEINAR

Zenon BONCA

Wydział Mechaniczny  
POLITECHNIKA GDAŃSKA

**Oblodzenie**, jako zjawisko fizyczne jest bardzo skomplikowane, zależne od wielu zmiennych czynników, dlatego trudno stworzyć jednoznaczną jego definicję. W ujęciu ogólnym jest to zjawisko tworzenia się powłoki lodowej na powierzchni samolotu, bądź w jego instalacjach. Wyróżnić tu można trzy podstawowe przyczyny tworzenia się powłoki lodowej:

- bezpośrednie osiadanie kryształków lodu lub śniegu,
- zamarzanie przechłodzonych kropelek pary lub deszczu przy zetknięciu się z powierzchnią samolotu (jego elementów),
- sublimacja pary wodnej na powierzchni samolotu.

Przy braku odpowiedniej reakcji ze strony pilota, czy w następstwie wadliwego działania instalacji przeciwooblodzeniowych itp., zjawisko to staje się często przyczyną wypadku. Jak widać na rysunku 1, oblodzenie stanowi ok. 12 % wszystkich wypadków lotniczych spowodowanych niekorzystnymi warunkami atmosferycznymi (na przykładzie Stanów Zjednoczonych w latach 1990 – 2000). Biorąc pod uwagę cechy klimatu w naszej szerokości geograficznej, spodziewać się można nieco większego udziału oblodzenia w ogólnej liczbie wypadków spowodowanych pogodą w naszym kraju.

Z ogólnej liczby 388 wypadków lotniczych w USA, które miały miejsce w latach 1990 – 2000 i spowodowane były oblodzeniem [9], wyróżnić można trzy podstawowe ich grupy (rys. 2):

- wypadki spowodowane oblodze-

niem płatownca, czyli skrzydła, usterzenia, łopaty śmigła, szyby; (*structural icing*) – stanowiące ok. 40 % wszystkich wypadków wynikających z oblodzenia;

- wypadki spowodowane oblodzeniem w układzie zasilania silnika (*induction icing*), chodzi tu jednak głównie o oblodzenie gaźnika – jest to 52 % ogólnej liczby wypadków w których bezpośrednią przyczyną jest oblodzenie;
- wypadki wynikające z oblodzenia na ziemi (*ground accumulation*), czyli wynikające z nieoczyszczenia samolotu z lodu lub śniegu przed startem – 8 % (w Polsce to raczej rzadkość).

Zjawisko oblodzenia może zagrozić bezpieczeństwu lotu głównie poprzez:

- zmniejszenie siły nośnej i wystąpienie znacznych przyrostów oporu z powodu zmiany charakteru opływu skrzydeł, łopat śmigła oraz usterzenia (możliwość blokowania sterów) itp.;
- zmniejszenie mocy silnika, a nawet jego wyłączenie się z powodu oblodzenia gaźnika (wlotu powietrza, dyszy, dyfuzora, przepustnicy) lub odpowietrzników zbiorników paliwa;
- przyrost masy samolotu i zmianę położenia jego środka ciężkości, co ma decydujący wpływ na wyważenie samolotu i jego pilotowanie, mogą również wystąpić drgania;
- oblodzenie rurki Pitota, w tym także zatkanie otworów (dajników) ciśnienia statycznego, co w efek-

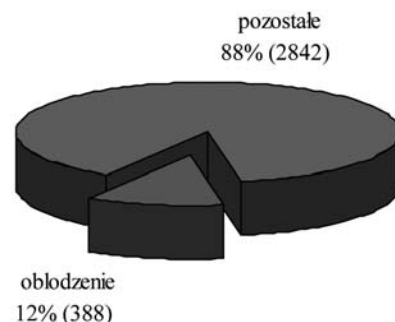
cie doprowadzi do błędnych wskazań przyrządów ciśnieniowych;

- osadzanie się lodu na antenach, co może pogorszyć prace urządzeń radiowych;
- osadzanie się lodu na szybie przedniej, co powoduje ograniczenie widoczności.

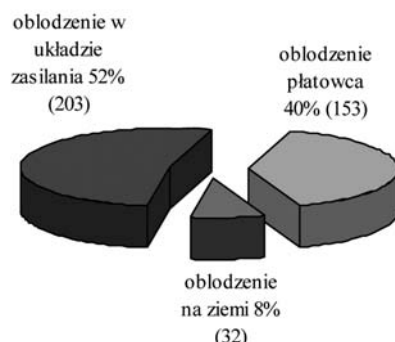
### 1. OBLODZENIE PŁATOWCA

#### 1.1 Oblodzenie na ziemi

Zanim omówione zostaną problemy



Rys. 1. Wypadki lotnicze spowodowane warunkami atmosferycznymi w USA w latach 1990 – 2000 [9]



Rys. 2. Wypadki spowodowane oblodzeniem w USA w latach 1990-2000 [9]

oblodzenia płatowca powstającego podczas lotu, należy wspomnieć o tzw. oblodzeniu na ziemi, czyli przyczynie ok. 8 % wypadków w USA wynikających z oblodzenia w ogóle.

W warunkach zimowych samolot bezwzględnie musi być oczyszczony z lodu i śniegu, ponieważ zalegający na powierzchni skrzydeł i kadłuba nawet niewielkiej grubości śnieg może znacznie wydłużyć start, a przede wszystkim zmienia on charakterystykę lotną samolotu (wzrost oporów, zwiększenie prędkości przeciągnięcia), co przy bardzo małych prędkościach może prowadzić do przeciągnięcia tuż po starcie i rozbicia samolotu. Innym zagrożeniem jest to, że pomimo oczyszczenia powierzchni, lód i śnieg mogą pozostawać w szczelinach lotek, klap, steru kierunku i wysokości, co grozi zablokowaniem lub ograniczeniem wychyleń sterów.

Kolejnym problemem powstającym jeszcze na ziemi jest kołowanie po mokrym śniegu tzw. „bryji”. Musi ono być wykonywane szczególnie wolno, aby uniknąć rozbryzgów spod kół podwozia, bowiem mogą one zatkać różnego rodzaju odpowietrzenia, otwory ciśnienia statycznego lub zniekształcić wnęki kół podwozia (gdy w samolocie jest podwozie chowane). W samolocie z chowanym podwoziem po starcie z takiej nawierzchni dobrze jest kilkakrotnie powtórzyć proces chowania i wypuszczania podwozia, aby w ten sposób wyeliminować możliwość jego zamarznięcia w czasie lotu, w położeniu schowanym. Bezpieczna do kołowania i lądowania może być warstwa mokrego śniegu czy błota nie przekraczająca 1 cala (ok. 2,5 cm).

### 1.2 Rodzaje oblodzenia i warunki sprzyjające jego tworzeniu się

Generalnie przyjmuje się, że oblodzenie płatowca mogące zagrozić bezpieczeństwu lotu pojawia się wówczas, gdy samolot leci w chmurze lub w opadzie, gdzie temperatura wynosi od ok.  $-15^{\circ}\text{C}$  (w szczególnych warunkach od  $+4^{\circ}\text{C}$ ) do ok.  $0^{\circ}\text{C}$ . Przy sil-

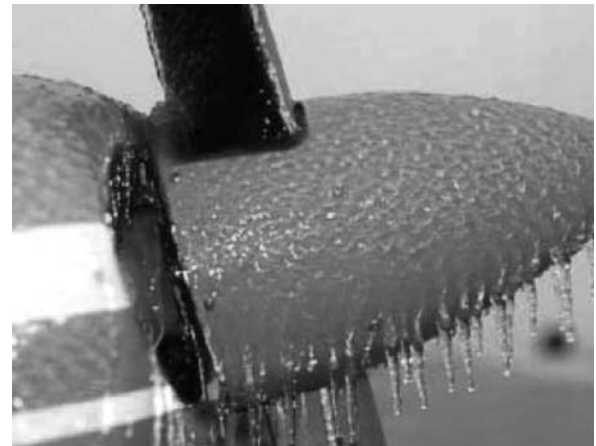
nym mrozie prawdopodobieństwo intensywnego oblodzenia jest niewielkie.

Zanim omówione zostaną rodzaje oblodzenia, należy wspomnieć o typach chmur (w zależności od ich struktury) oraz o opadach, bowiem zjawiska te mają decydujące znaczenie przy powstawaniu oblodzenia płatowca.

Ze względu na skład, chmury dzielą się na trzy klasy:

- *chmury wodne (kropelkowe)* – składające się wyłącznie z kropelek wody, mogące istnieć nie tylko przy temperaturach dodatnich, lecz również przy temperaturach niższych od zera stopni Celsjusza ( $-10^{\circ}\text{C}$ , a czasem i niżej; kropelki wody można przechłodzić do  $-40^{\circ}\text{C}$ !) – w tym przypadku kropelki wody są w stanie przechłodzonym, co jest zjawiskiem najzupełniej zwykłym;
- *chmury mieszane* – składające się z mieszaniny przechłodzonych kropelek wody i kryształków lodu, co ma miejsce przy umiarkowanych temperaturach ujemnych;
- *chmury lodowe (kryształiczne)* – składające się tylko z kryształków lodu, chmury te występują przy dość niskich temperaturach.

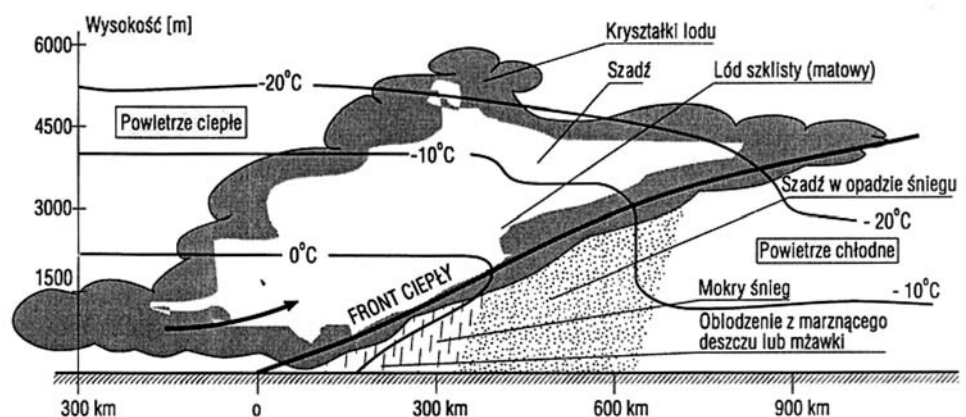
Ważnym parametrem odnoszącym



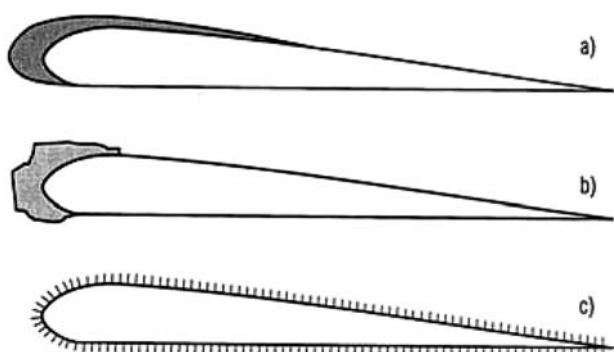
Rys. 3. Oblodzenie „na ziemi” w wyniku opadu przechłodzonego deszczu lub mżawki [9]

się do chmur i powstającego w nich oblodzenia jest tzw. **wodność chmury**, czyli po prostu zawartość w nich wody w stanie ciekłym lub stałym wyrażana w  $\text{g}/\text{m}^3$  (w gramach wody na metr sześcienny powietrza). Chmury wodne mają wodność od 0,2 do nawet  $5 \text{ g}/\text{m}^3$ , natomiast wodność chmur kryształicznych jest znacznie mniejsza, ponieważ wynosi ona setne i tysięczne części grama na metr sześcienny.

Z punktu widzenia bezpieczeństwa lotu w niskich temperaturach, bardzo niebezpiecznym zjawiskiem jest zamarzający deszcz i mżawka. Oblodzenie w deszczu może pozbawić samolot zdolności do lotu już po kilku minutach. Zamarzający deszcz pojawia się wówczas, gdy opady pochodzące z cieplejszych mas powietrza spadają poprzez strefę inwersji temperatury (rys. 4), dostając się do schłodzonego (poniżej  $0^{\circ}\text{C}$ ) powietrza zalegającego niżej. Takie przechłodzone krople wody natychmiast



Rys. 4. Strefy i rodzaje oblodzenia związane z zachmurzeniem w rejonie frontu ciepłego [2]



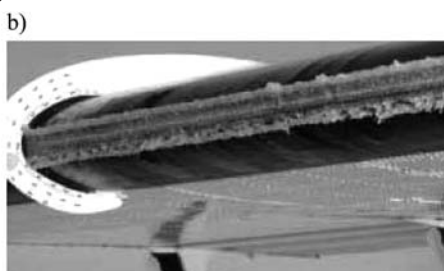
Rys. 5. Formy oblodzenia [2]: a) profilowe, b) bryłowate, c) szron

zamarzają w zetknięciu z poszyciem samolotu (również na ziemi, jeżeli temperatura utrzymuje się tam poniżej 0°C – rys.3).

Na rysunku 4 przedstawiono charakterystykę oblodzenia związaną z typowym frontem ciepłym. Niebezpieczeństwo silnego oblodzenia w strefie frontu ciepłego w okresie zimy jest bardzo wysokie, gdyż warstwa lodu może narastać w tempie 1 – 3 mm/min (wodność chmur tego frontu jest bardzo duża), ponadto często występują w tej strefie opady w postaci przechłodzonego deszczu (lub deszczu ze śniegiem) na dużym obszarze. Oblodzenie w chmurach burzowych powstających głównie w miesiącach letnich osiąga szybkość ok. 3 – 6 mm/min, lecz zachodzi na niedużym obszarze i w zasadzie tylko w górnych warstwach chmury, ponadto chmury te jako bardzo niebezpieczne dla lotnictwa są zazwyczaj omijane.

Ze względu na kształt osadzającego się lodu można wyróżnić trzy formy oblodzenia płatowca (rys. 5):

- *profilowe* – tworzy się w niskiej temperaturze, poniżej -20°C przy



Rys. 6. Oblodzenie kadłuba (a) [8] oraz krawędzi natarcia skrzydła (b) [9] – lód szklisty; na zdjęciu fragmentu skrzydła widoczne jest proste urządzenie do wizualnej oceny grubości warstwy lodu i szybkości jego narastania

niezbyt dużej wodności chmur, drobne krople natychmiast zamarzają przy zderzeniu z samolotem i nie zmieniają zasadniczo profilu; zasięg oblodzenia zależy od wielkości kropli – im większe krople, tym większa powierzchnia objęta jest oblodzeniem;

- *bryłowate* – tworzy się w temperaturach od ok. -5°C do -7°C, przy wolniejszym zamarzaniu, pomiędzy grudkami lodu tworzą się pęcherzyki powietrza; oblodzenie to może też powstawać z mokrego śniegu; ten typ oblodzenia cechuje się mniejszą zdolnością do przylegania niż oblodzenie profilowe;
- *szron* – powstaje przy bardzo małej wodności chmur, może też powstać w warunkach bezchmurnych np. przy szybkim zniżaniu z dużej wysokości, gdy powierzchnia samolotu jest przechłodzona a samolot znalazł się nagle w otoczeniu, gdzie temperatura jest wyższa, wówczas powierzchnia samolotu (szczególnie oszklenie kabiny) pokrywa się szronem.

Ze względu na strukturę lodu dzielimy go na trzy główne typy:

- *lód szklisty* (rys. 6) – powstaje w chmurach o dużej wodności, w temperaturach od -20°C do 0°C z przechłodzonych kropelek wody, które zamarzają przy zderzeniu z powierzchnią samolotu, tworząc równomierną, gładką i często przezroczystą powłokę; im wię-

cej lodu utworzy się na skrzydle, tym słabiej odzwierciedla on aerodynamiczny kształt profilu i przy większej jego ilości tworzyć będzie coś w rodzaju rogów na obu powierzchniach; ten typ lodu jest zazwyczaj gęstszy i twardszy, generalnie trudny do usunięcia;

- *lód matowy* – tworzy się w chmurach zbudowanych z przechłodzonych kropelek wody i kryształków lodu w temperaturach poniżej -10°C, ma budowę krystaliczną;
- *szadź* (rys. 7 i 8) – powstaje w chmurach zbudowanych z drobnych przechłodzonych kropelek wody, które zamarzając zamykają powietrze będące między nimi; posiada zdolność zmiany kształtu oblodzenia w procesie jego powstawania; zazwyczaj pokrywa samolot równomierną, szorstką, białą warstwą.

Ze względu na szybkość narastania warstwy oblodzenia (głównie na skrzydle), przyjęto podział na trzy typy:

- *oblodzenie słabe (light icing)* – przyjmuje się wzrost grubości lodu do 12 mm w ciągu kilkunastu minut,
- *oblodzenie średnie (moderate icing)* – przyrost lodu odbywa się w tempie ok. 1 mm/min lotu,
- *oblodzenie silne (severe icing)* – przyrost lodu odbywa się w tempie 2 – 4 mm/min lotu.

Podane powyżej wartości mogą stanowić tylko ogólną informację dla pilota. Wszystko zależy od typu samolotu (wielkości, instalacji odlodzeniowych i przeciwooblodzeniowych itp.) i warunków występowania oblodzenia. Tak więc dla jednego samolotu warunki mogą być średnie, a dla drugiego już silne. Rysunek 10 przedstawia orientacyjną analizę warunków oblodzenia płatowca z punktu widzenia wodności chmury i długości drogi lotu.

Oblodzenie płatowca, jak już wspomniano w punkcie pierwszym negatywnie wpływa na parametry lotu samolotu. Z pośród wymienionych już kilku podstawowych przy-

czyn pogarszania się bezpieczeństwa wykonywania lotu w warunkach oblodzenia, najbardziej niebezpieczne, to utrata własności aerodynamicznych profilu skrzydeł i usterzenia, co w konsekwencji prowadzić może do przeciągnięcia (utruty siły nośnej skrzydeł lub usterzenia) i niekontrolowanego opadania samolotu. Pokryte lodem skrzydła mają zazwyczaj (zależy to w dużej mierze od kształtu osadzonego lodu) tendencje do przeciągania na niższych kątach natarcia i przy większych prędkościach niż skrzydła czyste. Wymaga to od pilota zwrócenia szczególnej uwagi podczas np. lądowania, gdy powinien on utrzymywać zwiększoną prędkość podejścia, proporcjonalnie do zaistniałych warunków oblodzenia.

Lód na skrzydłach sięgający aż do lotek może powodować również utrudnienia w sterowaniu poprzecznym. Oblodzenie pojawia się bardziej intensywnie na cieńszych profilach, a więc często na końcówkach skrzydeł, gdzie na krawędziach spływu znajdują się lotki. Ten sam problem dotyczy usterzenia poziomego, które dzięki temu, że ma mniejszą niż skrzydło krawędź natarcia, rozpiętość i cięciwę, może się oblodzać proporcjonalnie 2 – 3 razy szybciej niż skrzydło. Ponieważ siła nośna wytwarzana przez usterzenie ma zasadniczy wpływ na stateczność podłużną samolotu, a co gorsze, usterzenie w czasie lotu znajduje się często poza polem widzenia pilota, musi on zwracać szczególną uwagę na objawy oblodzenia tej części płatowca.

### 1.3 Przeciwdziałanie oblodzeniu płatowca

Rozróżnia się dwie kategorie urządzeń do walki z lodem na samolotach (rys. 11):

- *urządzenia odladzające (de-icing)* – usuwające utworzony lód, a więc stosowane wówczas, gdy już utworzy się powłoka lodowa; w skład tych urządzeń wchodzi między innymi pneumatyczne odladacze systemu Goodrich (rys. 13);
- *urządzenia przeciwooblodzeniowe*



Rys. 7. Skrzydło samolotu pokryte szadzią [9]



Rys. 8. Oblodzenie dolnej powierzchni skrzydła poza zasięgiem instalacji odladzającej - szadz [8]

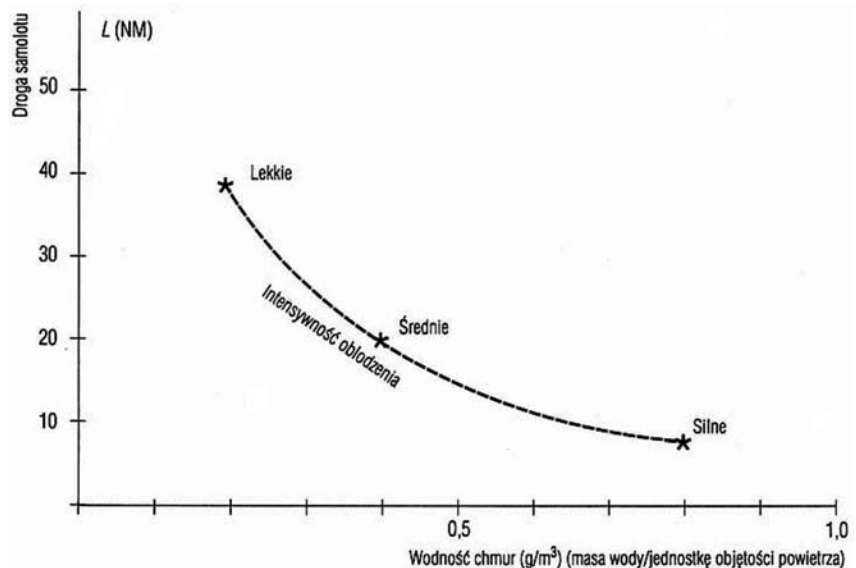


Rys. 9. Lód na niechronionym kołpaku śmigła [8]

(*anti-icing*) – niedopuszczające do oblodzenia samolotu – uruchamiane zanim samolot dostanie się w strefę oblodzenia; zwykle w skład rozbudowanego systemu przeciwooblodzeniowego wchodzi: podgrzewanie gaźnika, podgrzewanie śmigła, podgrzewanie rurki Pitota, podgrzewanie odpowietrzników zbiorników paliwa,

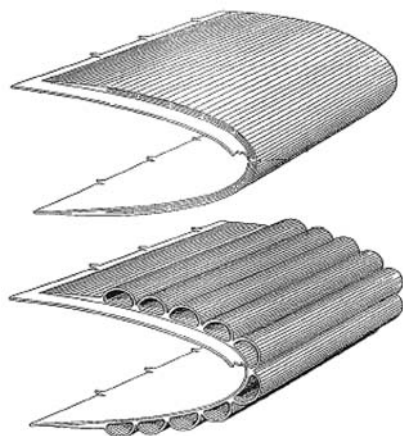
podgrzewanie szyby przedniej i czasami antyoblodzeniowe zraszacze powierzchni.

Na rysunku 11 pokazano elementy instalacji odladzającej i antyoblodzeniowej zastosowane w samolocie polskiej produkcji PZL M-20 „Mewa” oraz efekt zbyt wczesnego użycia odladzaczy pneumatycznych.



Rys. 10. Orientacyjna odległość (w milach morskich) przebyta do chwili utworzenia warstwy lodu o grubości 12 mm, w różnych warunkach oblodzenia [1]





Rys. 13. Zasada działania pneumatycznej instalacji odlodzeniowej systemu Go-drich [9]



Rys.14. Element grzewczy szyby przedniej [8]

bów technicznych walki z lodem, nie zapewniają one jednak możliwości swobodnego latania w warunkach oblodzenia (chmury, opad) – dają jedynie więcej czasu pilotowi na ucieczkę/przebiecie się przez taką strefę. Najważniejszą „bronią” w walce z oblodzeniem jest i długo jeszcze będzie wiedza, doświadczenie i rozsądek pilota. Już przed lotem pilot powinien dokładnie przeanalizować sytuację meteorologiczną na trasie planowanego lotu (rozkład frontów atmosferycznych, wilgotność itp.), znając rozkład pionowy temperatury (temperatura przy ziemi i poziom izotermy 0°C, czyli wysokość na której można spodziewać się oblodzenia) i jak to tylko możliwe, unikać stref zagrożonych oblodzeniem.

cdn...



#### LITERATURA:

- [1] Szutowski L.: Poradnik pilota samolotowego. Wyd. Avia-Test, Poznań 2003
- [2] Domicz J., Szutowski L.: Podręcznik pilota samolotowego. Wyd. Technika, Poznań 1998
- [3] Szutowski L.: Budowa i pilotaż samolotów lekkich – przewodnik pilota i instruktora. Wyd. Avia-Test, Poznań 2006
- [4] Dzierżanowski P., Łyżwiński M., Szczeciński S.: Napędy lotnicze – silniki tłokowe. WKŁ, Warszawa 1981
- [5] Pudlik W.: Termodynamika. Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1998
- [6] Kneba Z., Makowski S.: Zasilanie i sterownie silników. WKŁ, Warszawa 2004
- [7] Praca zbiorowa pod redakcją Z. Boncy: Czynniki chłodnicze i nośniki ciepła - własności cieplne, chemiczne i eksploatacyjne. Poradnik, Wyd. MA-STA, Gdańsk 1998
- [8] Krawcewicz K.: Lód nie zwlekać, uciekać! Przegląd lotniczy, 02/2004, str.16-21
- [9] <http://www.aopa.org/asf/publications/sa11.pdf>
- [10] <http://www.sacskyranch.com/crbice.htm>
- [11] [http://www.kellyaerospace.com/articles/Accessory\\_AMT.pdf](http://www.kellyaerospace.com/articles/Accessory_AMT.pdf)
- [12] Instrukcja użytkowania samolotu Cessna FA 150 K, 1969