

Robert KONIECZKA

ODLADZANIE LOTNISKOWE STATKÓW POWIETRZNYCH

Streszczenie. Artykuł stanowi syntetyczne omówienie zagadnień związanych z odladzaniem różnych typów statków powietrznych przed lotem. Przypomina podstawowe zagrożenia, wynikające z oblodzenia statku powietrznego i czynniki, które wpływają na jego intensywność. Wskazuje na metody i sposoby odladzania oraz zabezpieczania przeciwoblozeniowego małych statków powietrznych, w tym śmigłowców oraz dużych samolotów. Klasyfikuje stosowane do tych operacji płyny i inne, alternatywne metody, wskazując na ich właściwości i ograniczenia używania.

Słowa kluczowe: Odladzanie statków powietrznych, odśnieżanie, płyn odladzający, zagrożenie oblodzeniem, zabezpieczenie przeciwoblozeniowe

THE AIRPORT DE-ICING OF AIRCRAFTS

Summary. This article provides a summary of the issues involved in de-icing several kinds of aircrafts before flight. The basic risks of an iced aircraft and the factors that can influence its intensity are stated. It discusses the methods for de-icing and protecting against ice formation on small aircrafts, helicopters, and large aircrafts. It also classifies the fluids and other methods used for these de-icing operations, and explains the characteristics and limitations of their use.

Keywords: The de-icing of aircrafts, snow removal, de-icing fluid, risks of ice formation, protection against ice formation

1. ZAGROŻENIE OBLODZENIEM

Każda ilość lodu, śniegu lub szronu na zewnętrznych powierzchniach statku powietrznego może w istotny sposób ograniczyć jego osiągi z powodu zmniejszenia siły nośnej, zwiększenia oporu i masy statku powietrznego. Ponadto, może to spowodować zakleszczenia ruchomych mechanizmów, takich jak stery, lotki, mechanizm wypuszczania klap itp. Tym samym może spowodować utratę lub ograniczenie sterowności, a więc wprost zagrożenie lotu. Lód i śnieg mogą przerwać lub zakłócić pracę silników, powodując pompaż silnika, jego wyłączenie i zniszczenie łopatek sprężarki. Najbardziej krytyczny jest zakres

temperatur pomiędzy $+5^{\circ}\text{C}$ i -10°C . Jednak, w wyższym zakresie temperatur (możliwe jest to do $+15^{\circ}\text{C}$ lub wyżej), lód może się na przykład formować na górze lub spodzie zbiornika paliwa, zawierającego duże ilości zimnego paliwa.

Najogólniej oblodzenie zależne jest od wielu różnych czynników. Za najistotniejsze należy uznać:

- wartość temperatury powietrza,
- ilość zawartej wody w jednostce objętości powietrza (wilgotność, wodność),
- rozkład granulometryczny kropeł wody,
- kształt powierzchni płatowca,
- kąt wektora prędkości do powierzchni statku powietrznego,
- stan powierzchni statku powietrznego (czystość, chropowatość),
- wysokość lotu,
- prędkość lotu,
- zawartość aerozoli.

Dlatego też użytkownicy statków powietrznych zobowiązani są do zastosowania odpowiednich procedur odladzania i przeciwobladzeniowych, mających zapewnić, że płatowiec jest wolny od zanieczyszczeń i nie wystąpi żadne ograniczenie charakterystyk aerodynamicznych. Jednocześnie, zastosowane zabezpieczenie przeciw oblodzeniu ma utrzymać płatowiec w tych warunkach przez określony czas. Za powierzchnie krytyczne uważa się powierzchnie, które wg producenta statku powietrznego powinny być całkowicie wolne od śniegu, lodu lub szronu. Dotyczy to w szczególności powierzchni nośnych, mechanizacji skrzydła, powierzchni sterowych i ich mechanizmów, nadajników i odbiorników ciśnień, łopat śmigieł, podwozia oraz wlotów do silników.

2. ZAGROŻENIE OBLODZENIEM NA POSTOJU STATKU POWIETRZNEGO

Zjawisko oblodzenia i osiadania produktów opadów atmosferycznych może zachodzić nie tylko podczas lotu statku powietrznego, lecz również podczas jego postoju na wolnym powietrzu. W wyniku oddziaływania czynników zewnętrznych może dojść do powstawania różnych rodzajów osadów, takich jak: szron, aktywny szron, marznąca mgła, marznąca mżawka, lekki, marznący deszcz, śnieg, śnieg z deszczem, ślusz (rozmokły śnieg). Należy liczyć się także z występowaniem efektu wychłodzenia powierzchni skrzydeł, zawierających integralne zbiorniki paliwa. Powstaje on na skutek oddziaływania schłodzonego paliwa na strukturę powierzchni skrzydła, gdy tankowanie odbyło się bezpośrednio po poprzednim locie. W wyniku oddziaływania niskiej temperatury otoczenia i zawartej w otoczeniu wilgoci może dojść do oblodzenia powierzchni skrzydeł (zbiorników paliwa).

3. WYMAGANIA DOTYCZĄCE ODLADZANIA

Procedury odladzania, ze względu na mechanizm tych czynności, dzielimy na:

- mechaniczne,
- chemiczne (z wykorzystaniem odpowiednich substancji chemicznych),
- termiczne.

Ich zastosowanie zależne jest od wielu czynników, takich jak np.: typ i rozmiar statku powietrznego, czas niezbędny do odlodzenia, uwarunkowania lokalnych lotniska (lądowiska), koszty usługi, dostępność personelu obsługującego itp.

Procedury odladzające i przeciwooblodzeniowe dzielimy na:

- De-icing – usuwanie lodu, śniegu lub szronu.
- Anti-icing – zabezpieczanie powierzchni samolotu przed odkładaniem się na nich szronu, śniegu, lodu.

De-icing/anti-icing – procedura łącząca oba powyższe procesy, która może być przeprowadzona w jednej lub dwóch fazach.

Muszą one spełniać następujące wymagania i zawierać:

- sprawdzenie występowania zanieczyszczenia, łącznie z wykrywaniem czystego lodu i szronu,
- procedury odladzania i przeciwooblodzeniowe (zawierające odpowiednie wytyczne przypadku, gdy odladzanie i zabezpieczenie przeciwooblodzeniowe zostały przerwane lub są nieskuteczne),
- sprawdzenie przed startem,
- rejestr każdego zdarzenia związanego z odladzaniem i zabezpieczeniem przeciwooblodzeniowym,
- odpowiedzialność całego personelu zaangażowanego w odladzanie i zabezpieczenie przeciwooblodzeniowe.

4. ODLADZANIE MAŁYCH SAMOLOTÓW I ŚMIGŁOWCÓW

Do odladzania małych samolotów i śmigłowców najczęściej wykorzystywane są metody mechaniczne. Wynika to przede wszystkim z ich niskich kosztów, a także braku dostępności innych metod na małych lotniskach i lądowiskach. Warunkiem zastosowania tych metod jest luźne związanie osadów z płatowcem. W przeciwnym wypadku, istnieje konieczność zastosowania innych, bardziej radykalnych metod.

Odśnieżanie i odladzanie realizowane są z użyciem następujących prostych narzędzi:

- miękkiej liny o dostatecznej grubości,
- miękkiej szczotki (tzw. zmiotki) lub zgarniarki.

W trakcie tych czynności należy stosować się do poniższych zasad:

- odśnieżanie wykonywać jedynie za pomocą odpowiednich narzędzi,
- czynności odladzania zlecać jedynie wykwalifikowanym pracownikom,
- nie odbijać lodu i przymarzniętego śniegu w szczególności z powierzchni kompozytowych i klejonych (np. owiewek, łopat itp.),
- usuwać lód i śnieg z powierzchni postoju statku powietrznego po ich usunięciu z płatowca,

- zachować szczególną ostrożność podczas osuwania oblodzenia z delikatnych elementów, takich jak: osłony i anteny urządzeń radiowych, odbiorników ciśnień, rozładowywaczy ładunków elektrostatycznych, mechanizacji skrzydła i urządzeń sterujących,
- zachować zasady bezpieczeństwa przy korzystaniu z drabinek i podestów.

5. ODLADZANIE ZESPOŁÓW NAPĘDOWYCH

Głównymi elementami zespołu napędowego, wymagającymi bezwzględnego odlodzenia są wloty do silników. Najczęściej odladzanie wlotów wykonywane jest metodą mechaniczną, przez fizyczne usunięcie śniegu lub lodu. Jeśli metoda ta okaże się nieskuteczna, można wykorzystać podgrzanie wlotów ciepłym powietrzem ze specjalnych mobilnych pieców (spalinowych lub elektrycznych). Powietrze doprowadzane jest do silnika za pomocą elastycznego rękawa, umożliwiającego swobodne kierowanie jego strumieniem. Niewykonanie tej czynności może skutkować zassaniem osadów podczas uruchamiania i pracy silników (w szczególności bezpośrednio po uruchomieniu instalacji przeciwooblodzeniowej wlotu silnika), a w dalszej konsekwencji uszkodzeniem silnika i jego zatrzymaniem.

Kolejnym, istotnym elementem jest zapewnienie swobodnego obrotu turbiny silnika lotniczego podczas uruchamiania, albowiem może się zdarzyć przymarznięcie łopatek turbiny do jej korpusu. Nagłe uruchomienie silnika mogłoby spowodować uszkodzenie łopatek. Sprawdzenie czy nie ma miejsca przymarznięcie łopatek można dokonać przez ręczne przekręcenie turbiny, o ile silnik ma taką możliwość. Zasadne szczególnie podczas ekstremalnie niskich temperatur jest także podgrzanie traktu gazowego ciepłym powietrzem. Poza usunięciem ewentualnego oblodzenia, pozwoli to na wstępne podgrzanie oleju, zapewniając tym samym jego dobre właściwości smarne w momencie rozruchu.

Wielu producentów zespołów napędowych podobne czynności zaleca do wykonania w odniesieniu do zespołów przekładni i transmisji statków powietrznych (w szczególności śmigłowców). Zmniejszenie gęstości oleju poprawia smarowanie tych elementów, a tym samym podnosi ich żywotność przez minimalizację naprężeń. Ciepłe powietrze doprowadzane jest do przestrzeni podgrzewanych agregatów przez specjalnie w tym celu wykonane wzierniki w konstrukcji płatowca (rys. 1). Instrukcje statków powietrznych określają zazwyczaj maksymalną temperaturę powietrza, jaka może być podawana na wylocie z rękawa pieca ogrzewczego i należy ją bezwzględnie przestrzegać, w przeciwnym wypadku grozi to uszkodzeniem silnika.

Inną, czasami stosowaną, metodą odladzania za pomocą ciepłego powietrza jest wykorzystanie gorących gazów wylotowych z silników (przeważnie silników turbinowych wycofanych z eksploatacji) zabudowanych na pojazdach specjalnych. Dzięki takiemu rozwiązaniu gazy wylotowe z silnika kierowane są na kadłub samolotu, powodując jego odlodzenie.

Wszystkie wymienione tu metody pozwalają na usunięcie oblodzenia. Ich zastosowanie nie zapewnia jednak dalszego uniknięcia powstawania oblodzenia przed startem statku powietrznego i o ile zachodzi takie zagrożenie, konieczne jest uzupełnienie tej metody innymi.



Rys. 1. Podgrzewanie przedziału przekładni głównej śmigłowca PZL-KANIA z użyciem pieca podgrzewczego

Fig. 1. Heating of the main gearbox compartment of the PZL-KANIA helicopter using a heating oven
Źródło: ze zbiorów autora.

6. WYMAGANIA FORMALNE DOTYCZĄCE ODLADZANIA STATKÓW POWIETRZNYCH

Zagadnienia związane z przygotowaniem procedur odladzania określone są w następujących dokumentach i unormowaniach:

- ICAO DOC 9640-AN/940 „Manual of aircraft ground de-icing/anti-icing operations”.
- ISO 11075) ISO Płyny I rodzaju.
- ISO 11076) – Metody odladzania i zabezpieczania przeciwołodziennego statków powietrznych za pomocą płynów.
- ISO 11077) – Pojazdy do odladzania i zabezpieczania przeciwołodziennego – wymagania funkcjonalne.
- ISO 11078) ISO Płyny II rodzaju.
- AEA „Recommendations for De-icing/Anti-icing of aircraft on the ground”.
- SEA ARP 4737 Metody odladzania i zabezpieczania przeciwołodziennego statków powietrznych za pomocą płynów.
- SEA AMS 1428 Dawkowanie płynów przeciwołodziennych.
- SEA AMS 1424 Płyny I rodzaju.
- SAE ARP 5149 Szkolenie w odladzaniu/zabezpieczaniu statku powietrznego na ziemi (po opublikowaniu).

Na podstawie powyższych norm i dokumentów należy stwierdzić, że odladzanie statków powietrznych wykonywane jest przez następujące płyny odladzające:

- gorąca woda,
- płyn I rodzaju,
- mieszanka wody i płynu I rodzaju,
- płyny II i IV rodzaju,
- mieszanka wody i płynów II i IV rodzaju.

Płyny odladzające podawane są po podgrzaniu do temperatury minimum 60°C na wylocie dyszy w celu uzyskania skutecznego działania.

7. ODLADZANIE STATKÓW POWIETRZNYCH Z UŻYCIEM PŁYNÓW

Odladzanie i zabezpieczenie przeciwołodziwne przeprowadzane są jedno- lub dwustopniowo. Jednostopniowe odladzanie oznacza, że odladzanie i zabezpieczenie przeciw ołodziwieniu są przeprowadzane w tym samym czasie, przy użyciu mieszanki płynu przeciwołodziwieniowego i wody. Dwustopniowe odladzanie oznacza, że odladzanie i zabezpieczenie przeciwołodziwne przeprowadzane są osobno. Statek powietrzny początkowo jest odladzany za pomocą gorącej wody lub mieszanki płynu odladzającego i wody. Po zakończeniu operacji odladzania na powierzchnię statku powietrznego nanosi się mieszankę płynu przeciwołodziwieniowego i wody lub tylko płyn przeciwołodziwiwy. Drugi stopień musi być podany zanim płyn podany w pierwszym stopniu zamroźnie, zazwyczaj w ciągu kilku minut – jeśli to konieczne – obszar po obszarze.

Czas zabezpieczenia przeciwołodziwieniowego to przewidywany okres, w którym płyn przeciwołodziwiwy będzie zapobiegał formowaniu się szronu lub lodu i narastaniu warstwy śniegu na zabezpieczonych powierzchniach na ziemi. Sprawdzenie przed startem statku powietrznego ma zapewnić, że jego powierzchnie są wolne od lodu, śniegu i szronu. Sprawdzenie to ma być przeprowadzone tak krótko przed startem, jak to możliwe. Zazwyczaj robione jest z wnętrza statku powietrznego przez kontrolę wzrokową skrzydeł i innych krytycznych powierzchni, określonych przez producenta samolotu.

Za przeprowadzenie sprawdzenia i jego jakość odpowiada, poza bezpośrednim wykonawcą, dowódca statku powietrznego. W uzasadnionych przypadkach, np. występowania marzących opadów, na żądanie dowódcy załogi sprawdzenie przed startem przeprowadzane jest przez przeszkolone i wykwalifikowane osoby, tuż przed wjazdem samolotu na drogę startową, będącą w użyciu lub rozpoczęciem rozbiegu do startu, w celu potwierdzenia, że samolot jest wolny od zanieczyszczeń.

Charakterystyki płynów odladzających:

1. Płyn I rodzaju tworzy rzadką, płynną powłokę na powierzchni, na którą jest podawany. Daje ograniczony czas zabezpieczenia, uzależniony od warunków pogodowych. Można go stosować do temperatury – 25°C. Przy zastosowaniu płynu I rodzaju, wg ISO, zwiększenie zawartości płynu w mieszaninie płyn/woda nie powoduje zwiększenia czasu zabezpieczenia.

2. Płyn II rodzaju jest gęściejszy i tworzy gęściejszą powłokę na powierzchni, na którą jest podawany. Zazwyczaj płyn ten zapewnia dłuższy czas zabezpieczenia niż płyn I rodzaju, w podobnych warunkach. Przy tym rodzaju płynu czas zabezpieczenia może być zwiększony przez zwiększenie zawartości płynu w mieszaninie płyn/woda. Maksymalny czas zabezpieczenia uzyskuje się stosując płyn nierozcieńczony. Można go używać do temperatury – 25°C.
3. Płyn typu IV to płyn spełniający wymagania osiągow aerodynamicznych stosowanych do małych statków powietrznych. Umożliwia więc zabezpieczenie powierzchni statku powietrznego na dłuższy okres. Może być rozcieńczany z płynem typu I lub II.

Płyny odladzające produkowane są na bazie glikolu. Podczas operacji odladzania zużywa się średnio 100-120 l glikoli w pierwszym etapie i 25-30 l w drugim etapie odladzania.

8. GŁÓWNE ZASADY ODLADZANIA

Jeśli statek powietrzny ma być poddany odladzaniu z załogą na pokładzie, to służby naziemne i załoga muszą potwierdzić typ użytego płynu, zakres zabiegu oraz zastosowanie specyficznych dla danego typu statku powietrznego procedur. Przed zmianą konfiguracji statku powietrznego lub kołowaniem załoga powinna otrzymać potwierdzenie od personelu naziemnego, że operacja odladzania/zabezpieczenia została zakończona, a cały personel i sprzęt znajdują się w bezpiecznej odległości, umożliwiającej kołowanie.

Przedłużone zabezpieczenie jest osiąganę przez naniesienie warstwy płynu przeciwoblodzeniowego, która zapewnia ochronę powierzchni statku powietrznego na określony czas. W jednostopniowym odladzaniu/zabezpieczeniu przeciwoblodzeniowym, czas zabezpieczenia rozpoczyna się z chwilą odladzania/zabezpieczenia przeciwoblodzeniowego. W dwustopniowej procedurze, czas zabezpieczenia rozpoczyna się z chwilą rozpoczęcia drugiego kroku zabezpieczenia przeciwoblodzeniowego. Czas przedłużonego działania jest uzależniony od wielu czynników takich jak:

- czasu rozpoczęcia rozbiegu do startu,
- chwili, kiedy zamarzający osad rozpocznie formowanie się na powierzchni samolotu,
- warunków atmosferycznych (np. rodzaj i stopień opadu, siła wiatru, wilgotność i promieniowanie słoneczne),
- charakterystyki konstrukcji statku powietrznego (np. kąty, kontury i powierzchnie szorstkie itp.).

Czas zabezpieczenia nie oznacza, że lot jest bezpieczny w każdych warunkach, jeśli określony czas zabezpieczenia nie został przekroczony. Pewne warunki meteorologiczne jak marznąca mżawka lub deszcz mogą powodować jego skrócenie. Dlatego czasy zabezpieczenia można traktować tylko jako przybliżone.



Rys. 2. Odladzanie samolotu za pomocą pojazdu specjalnego z wysięgnikiem operatora w odkrytej kabinie

Fig. 2. Aircraft de-icing with the help of a special vehicle with a boom operator in the opened cabin

Źródło: zdjęcie Paweł Kłosiński.

9. METODY ODLADZANIA

Podstawową metodą odladzania dużych statków powietrznych jest nanoszenie płynów za pomocą pojazdów specjalnych (rys. 2). Zaopatrzone są one w instalację rozlewczą na sterowanych hydraulicznie wysięgnikach. Płyn lub jego mieszanina pobierana jest ze zbiornika umieszczonego na pojeździe. Pojazd ma jeden lub dwa wysięgniki zakończone koszem operatora urządzenia.

Takie rozwiązanie pozwala w krótkim czasie dokonać operacji odladzania na całej, w tym górnej powierzchni statku powietrznego (w tym skrzydeł). Metoda ta zapewnia dużą mobilność zespołu odladzającego, dokładność wykonania tej operacji oraz racjonalne wykorzystanie środka odladzającego. Jednocześnie odladzanie można realizować za pomocą kilku pojazdów, co dodatkowo skraca czas operacji.

Stosowanie płynów z użyciem pojazdów specjalnych ma jednak wiele zakazów w zakresie spryskiwania takich elementów statku powietrznego, jak:

- wloty i wyloty z silnika,
- oszklenia kabiny załogi,
- czujniki i odbiorniki powietrza,
- hamulce i opony,
- wloty i wyloty instalacji klimatyzacji.



Rys. 3. Samolot podczas odladzania we wnętrzu hangaru przy użyciu promienników podczerwieni
Fig. 3. An airplane in the hangar during the proces of de-icing using infrared heaters

Źródło: <http://systemyogrzewania.pl/Wiadomo%C5%9Bci/Promienniki-podczerwieni-kontra-oblodzenie-samolot%C3%B3w-19939.html>.

Drugą, rzadziej stosowaną metodą jest zainstalowanie na drodze kołowania aparatury rozlewczej, która swym wyglądem i zasadą działania podobna jest do instalacji ogrodowych zraszania trawnika. Płyn odladzający przez sieć rurociągów dostarczany jest ze zbiornika do instalacji rozlewczej. Dysze wylotowe umieszczone po obu stronach drogi kołowania lub wyodrębnionego stanowiska skierowane są w miejsce, w którym zatrzymuje się statek powietrzny. Metoda ta minimalizuje zaangażowanie personelu obsługującego, lecz stwarza konieczność częstego usuwania produktów odladzania z drogi kołowania. Jest nieprecyzyjna w zakresie wykonania odlodzenia, co dodatkowo powodują nadmierne zużycie drogiego płynu odladzającego. Lokalizacja dysz wylotowych jest niezależna od wielkości odladzanego statku powietrznego i jego typu.

Od kilku lat na niektórych lotniskach stosuje się z powodzeniem odladzanie samolotu za pomocą promienników podczerwieni, umieszczonych pod stropem specjalnego hangaru (rys. 3). Metoda ta pozwala na rezygnację z pierwszego etapu odladzania (usuwania) lodu i śniegu. Powoduje to znaczne oszczędności w zużywaniu glikolu i obniżenie skażenia ekologicznego, pomimo wysokiego, jednorazowego kosztu, niezbędnego do budowy hangaru. Dodatkowo, wymaga to zmiany organizacji ruchu statków powietrznych na lotnisku przed startem. Metoda ta nie zapewnia jednak zabezpieczenia przeciwołodziennego statku powietrznego, co w uzasadnionych przypadkach musi być zrealizowane osobno w innym miejscu.

10. PODSUMOWANIE

Jak wynika z treści artykułu, istnieje cała gama metod i sposobów, które pozwalają na skuteczne odlodzenie statku powietrznego przed lotem. Jednocześnie są to metody zapewniające skuteczne zabezpieczenie przeciwołodziowe statku powietrznego podczas operacji startu. Metody te muszą być właściwie dobrane do typu statku powietrznego i ryzyka powstania oblodzenia. Jednocześnie od użytkowników wymagają odpowiednich kwalifikacji i stosowania się do obowiązujących procedur w celu zapewnienia bezpieczeństwa na poziomie akceptowalnym przez użytkownika.

Bibliografia

1. Kozuba J., H. Jaferniki. 2011. „Obłodzenie samolotu – Przyczyny, wpływ na wykonywanie operacji powietrznych. Cz. I”. [In Polish: „Icing aircraft - Causes, effects on air operations. Part I”]. *Logistyka* 3: 1300-1312.
2. Kozuba J., H. Jaferniki. 2011. „Obłodzenie samolotu – Sposoby przeciwdziałania. Cz. II. [In Polish: „Icing aircraft – Countermeasures. Part II]. *Logistyka* 3: 1313-1322.
3. Rajchel J., E. Zabłocki. 2009. *Port lotniczy*. [In Polish: *Airport*]. Dęblin: WSOSP.
4. Praca zbiorowa. [Collective work]. 2000. *Aircraft Icing Handbook*. Lower Hutt: Civil Aviation Authority.
5. Praca zbiorowa. [Collective work]. *A Pilot's Guide to In-Flight Icing*. NASA
6. Praca zbiorowa. [Collective work]. 2009. *Podręcznik Procedur Operatora - Procedura odladzania i zabezpieczania przed oblodzeniem samolotów*. [In Polish: *Operator's Manual of Procedures - Procedure for de-icing and protecting against icing of aircraft*]. PLL LOT S.A.
7. Praca zbiorowa. [Collective work]. 2005. *Odladzanie statków powietrznych*. [In Polish: *De-icing of aircraft*]. Warszawa: Wydawnictwo ITWL.
8. Praca zbiorowa. [Collective work]. *Odladzanie statków powietrznych*. [In Polish: *De-icing of aircraft*]. DWL 688/76. DWL Poznań.
9. Praca zbiorowa. [Collective work]. *Taniec na cienkim lodzie, Informacje dla pilotów*. [In Polish: *Dancing on thin ice, information for pilots*]. PLL-LOT Warszawa.
10. <http://www.airport-int.com/>
11. <http://www.boschung.com/>
12. <http://aviationglossary.com/aviation-terms/pilot-report-pirep/>
13. <http://systemyogrzewania.pl/Wiadomo%C5%9Bci/Promienniki-podczerwieni-kontra-oblodzenie-samolot%C3%B3w-19939.html>