

WLOTY TURBINOWYCH SILNIKÓW ODRZUTOWYCH – – ZAGROŻENIA WIREM WLOTOWYM

W. Balicki, K. Kawalec, Z. Pągowski, S. Szczeciński

Instytut Lotnictwa

R. Chachurski, A. Kozakiewicz

Wojskowa Akademia Techniczna

P. Głowacki

Central European Engine Services

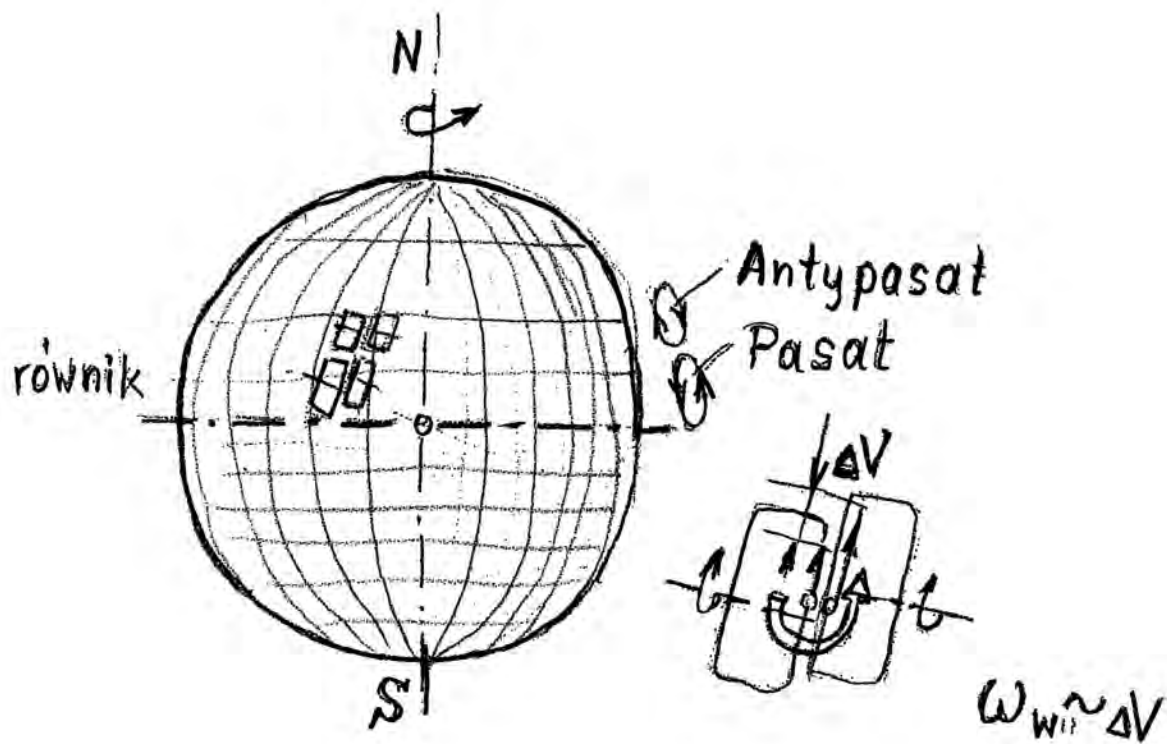
Streszczenie

W artykule przedstawiono warunki otoczenia wlotów silników odrzutowych sprzyjające powstaniu wiru wlotowego i jego zagrożeniach polegających na poderwaniu z ziemi tzw. „ciał obcych” i ich wrzuceniu do kanału przepływowego silnika. Znalezione podobieństwo powstania wiru wlotowego do powstania trąb powietrznych w atmosferze ziemskiej. Przedstawiono sposoby „lotniskowe” ograniczające możliwość powstania wiru oraz przez odpowiednie kształtowanie wlotów. Przy okazji zwrócono uwagę na możliwość kształtowania samolotowych kanałów dolotowych do silników samolotów bojowych tak aby ograniczyć skutki zderzenia z ptactwem oraz namiarów radarowych nieprzyjaciela. Przytoczono charakterystyki stopnia wykorzystania ciśnienia spiętrzenia we wlotach współczesnych samolotów bojowych. Zwracano uwagę na obraz fizyczny zjawisk zachodzących we wlotach i przed nimi.

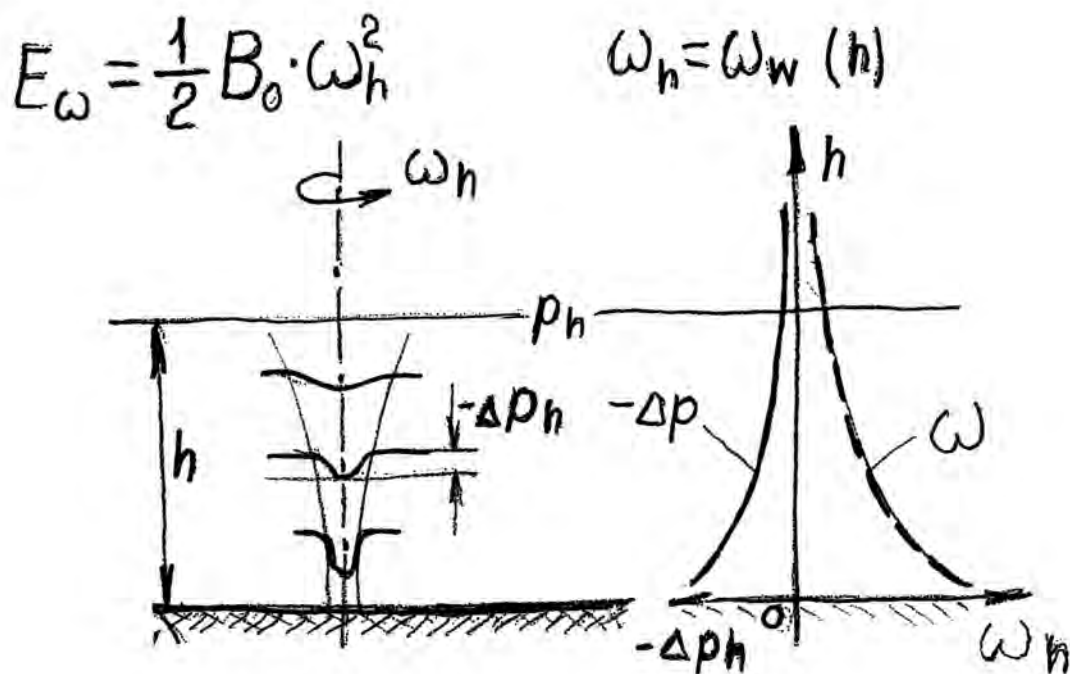
Słowa kluczowe: wir wlotowy, trąba powietrzna, wloty naddźwiękowe, próba zderzenia z ptakiem

Silniki odrzutowe współczesnych samolotów bojowych pobierają z atmosfery powietrze w ilości 70...150 kg/s, a samolotów transportowych: 100...1200 kg/s (Trent 1000). Dolne krawędzie wlotów silnikowych samolotów bojowych i podskrzydłowych wentylatorowych silników samolotów transportowych znajdują się ok. 1m nad powierzchnią ziemi, strumień powietrza we wlocie ma prędkości bliskie 200 m/s, co wskazuje na ogromną energię strumienia w obszarze przestrzennym wokół wlotów silników pracujących na zakresie startowym. Pojawiające się sporadycznie wiry wlotowe silników nasuwają nieodparcie wnioski porównywania ich z naturalnie powstającymi trąbami powietrznymi w atmosferze ziemskiej.

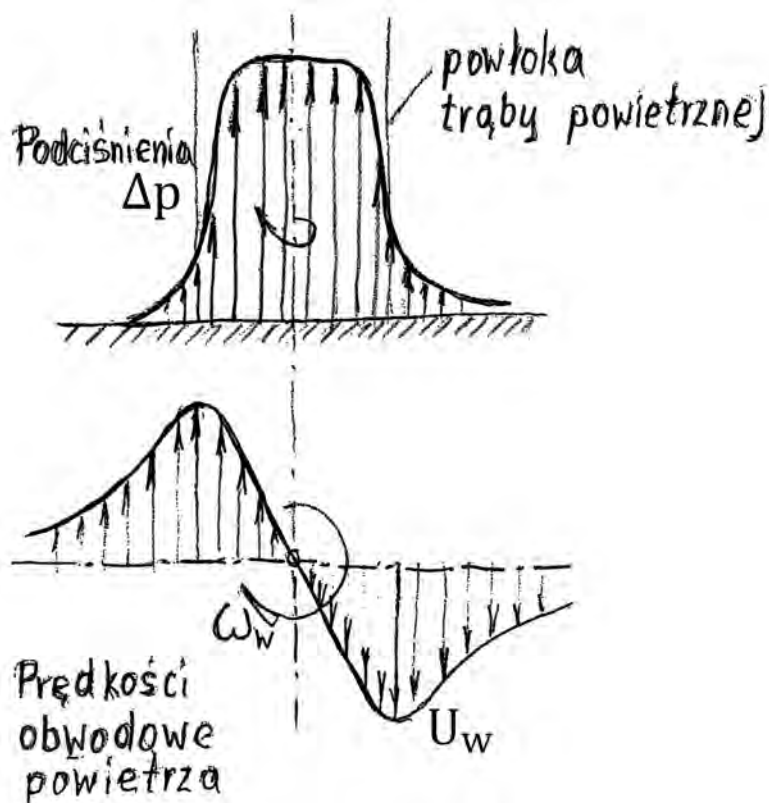
Na rys.1 pokazano charakterystyczne przepływy mas powietrza w obszarze przyrównikowym występowania pasatów i antypasatów. Różnice prędkości ruchu mas powietrza w górnych obszarach atmosfery z odchyleniem od linii południkowych wywołanych przyspieszeniem Coriolisa stanowią przyczynę powstania wiru i niżu w jego strefie. Wnikający wir w przyziemny obszar atmosfery zmniejsza swą średnicę i zwiększa prędkość wirowania (zgodnie z prawem zachowania energii), co powoduje, że przy ziemi prędkość obwodowa powłoki powstałego wiru sięga 300...400 km/h, a podciśnienie w jądrze wiru nawet 100 hPa. Charakterystyczne rozkłady tych parametrów przedstawiono na rys. 2 oraz rys. 3. Natomiast na rys. 4 pokazano ukształtowanie trąby powietrznej, widok przepływów powietrza w obszarze stopy wiru oraz tor jej niszczącego przemieszczenia przy ziemi.



Rys. 1. Charakterystyczne przepływy mas powietrza w strefie przyrównikowej sprzyjające powstaniu trąb powietrznych

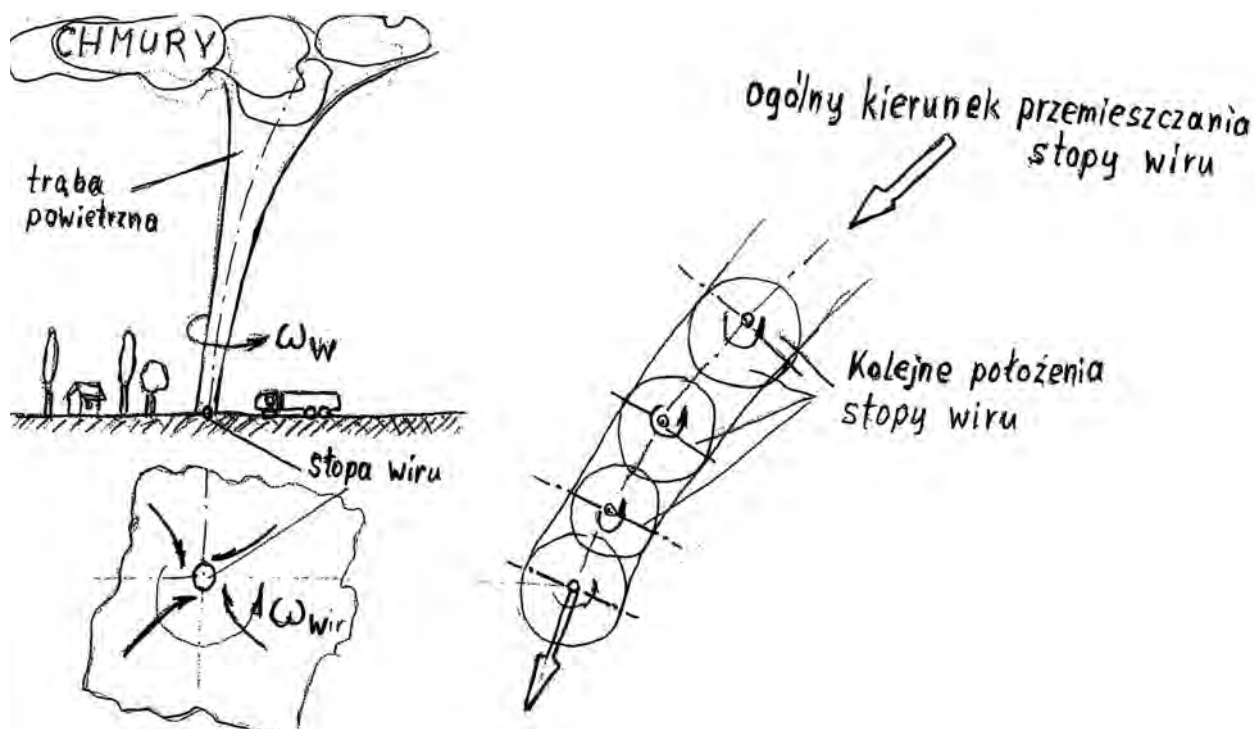


Rys. 2. Charakterystyczne rozkłady podciśnienia Δp_h i prędkości wirowania ω_h powietrza w trąbie powietrznej; h - wysokość nad ziemią, B_0 - masowy biegunowy moment bezwładności wirującej masy powietrza, E_{ω} - energia kinetyczna wirującej masy powietrza



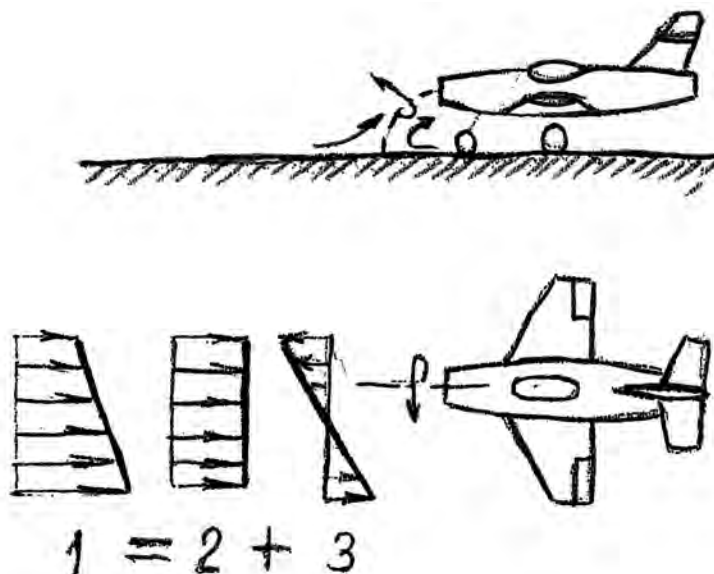
Rys. 3. Charakterystyczne rozkłady podciśnienia Δp i prędkości obwodowej U_w masy powietrza w obszarze wiru

Należy przypuszczać, że wiry wlotowe do podskrzydłowych silników wentylatorowych wywołane są ruchem obrotowym i działaniem ssącym wentylatorów pracujących silników - utrzymują kierunki obrotów powstałych wirów zawsze zgodnie z kierunkiem obrotów wentylatora. Przebieg powstania tego zjawiska (od „góry”) stanowi więc analogię powstawania naturalnej trąby powietrznej w atmosferze ziemskiej.



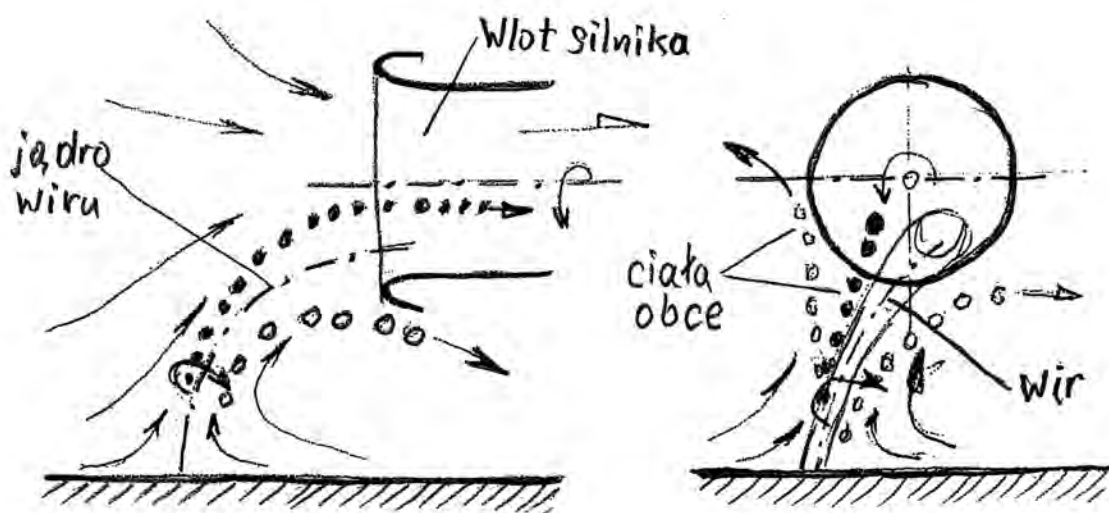
Rys. 4. Schematy ruchu powietrza wirującego w trąbie powietrznej i przemieszczania się stopy wiru po powierzchni ziemi

Wir powstający przed wlotami długich, esowo ukształtowanych kanałów dolotowych silników (co jest charakterystyczne dla samolotów bojowych i szkolno-bojowych) uzyskuje przypadkowy kierunek obrotów – zależny od składowej obrotowej napływającego powietrza od „dołu” co wyjaśnia rys. 5.



Rys. 5. Rozkład prędkości powietrza przy ziemi podczas podmuchu skośnego względem samolotu

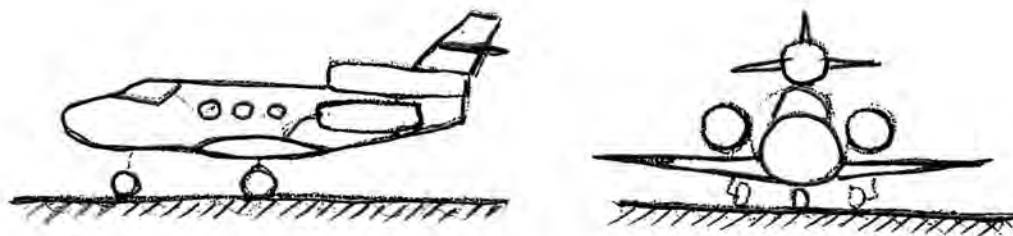
W zależności od intensywności wiru (jego prędkości i średnicy stopy przy ziemi) wir porywa z powierzchni ziemi: wodę, śnieg, grudki lodu, ziarna piachu, żwiru, okruchy betonu czy „zgubione” nakrętki, śruby, zawleczki ... których część – w zależności od początkowego ich położenia względem osi wiru – może trafić do wnętrza kanału dolotowego silnika.



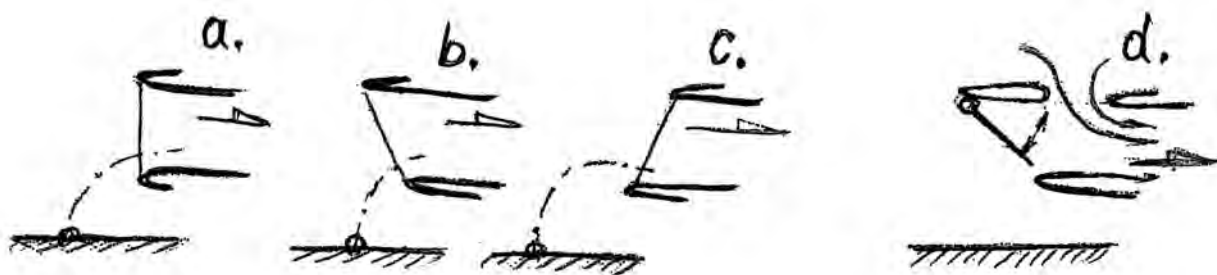
Rys. 6. Przepływ powietrza i ruchu „ciał obcych” podczas powstałego wiru wlotowego

Na rys.6 przedstawiono charakterystyczny kształt osi wiru i jego powłoki z zaznaczeniem torów poderwanych „ciał obcych” z powierzchni ziemi. Użytkownicy samolotów są głęboko zainteresowani w ograniczeniu możliwości zassania przez silniki tzw. „ciał obcych”. Najskuteczniejszym sposobem jest takie usytuowanie i ukształtowanie wlotów, aby stopa ewentualnego wiru znajdowała się na powierzchni skrzydła lub była bardzo odległa od wlotu – por. rys. 7, lub przynajmniej krawędzie dolne wlotów „wyprzedzały” krawędzie górne – rys. 8.c, albo zastosować mechanizację wlotu – jak na rys. 8.d.

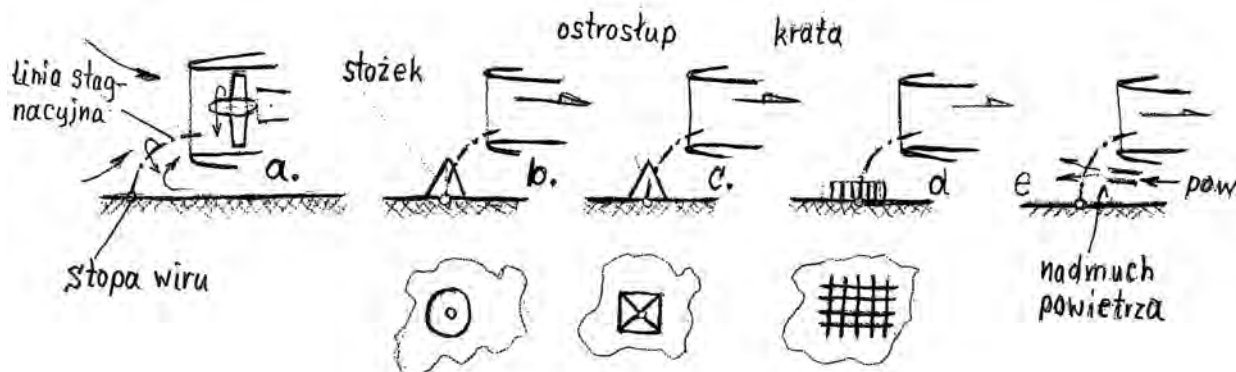
Wielu użytkowników, w miejscach stacjonarnego uruchamiania i pracy silników podstawią w przewidywanym miejscu usytuowania stopy wiru przeszkody stałe w postaci stożków, ostrosłupów, kratownic lub sztucznego ścierniska o wielkości i masie zależnej od natężenia przepływu powietrza przez dany silnik. Czynione są próby „zdmuchiwania” wirów. Wymienione sposoby przedstawiono na rys. 9. Brak wiarygodnej teorii umożliwiającej obliczeniową ocenę energii wiru i sił działających na „ciała obce” powoduje, że wymiary i masy przeszkód są dobierane intuicyjnie i korygowane doświadczalnie do każdego typu silnika i samolotu.



Rys. 7. Wloty silników samolotowych (nadkadłubowych) o utrudnionych możliwościach powstawania wiru ze stopą na powierzchni ziemi

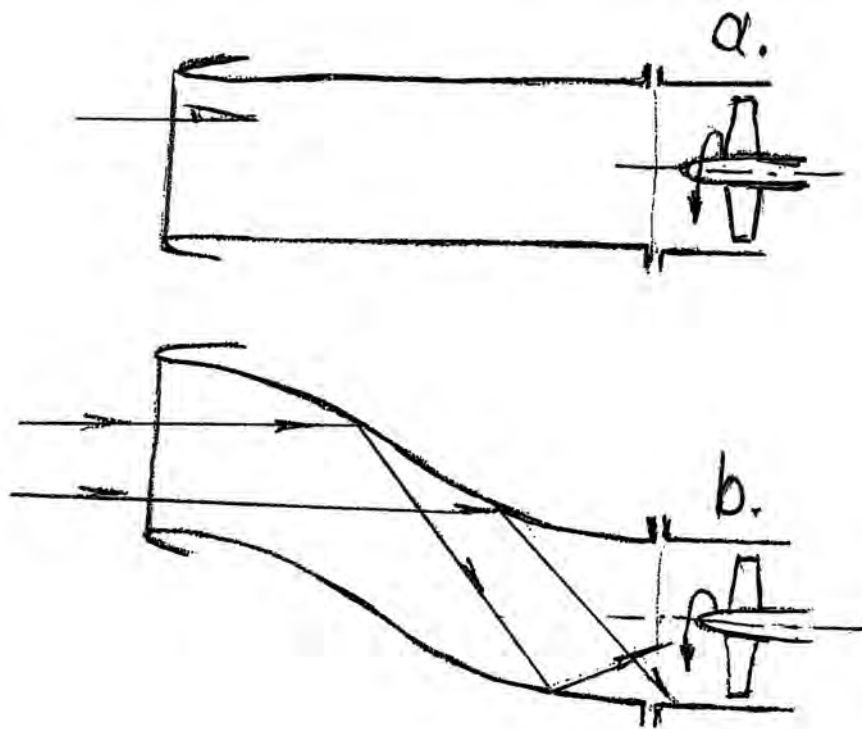


Rys. 8. Usytuowanie krawędzi wlotów, a ich skłonność do powstawania wirów wlotowych; a - symetryczny, b - ze skosem dolnym, c - ze skosem górnym, d - z klapką osłonową



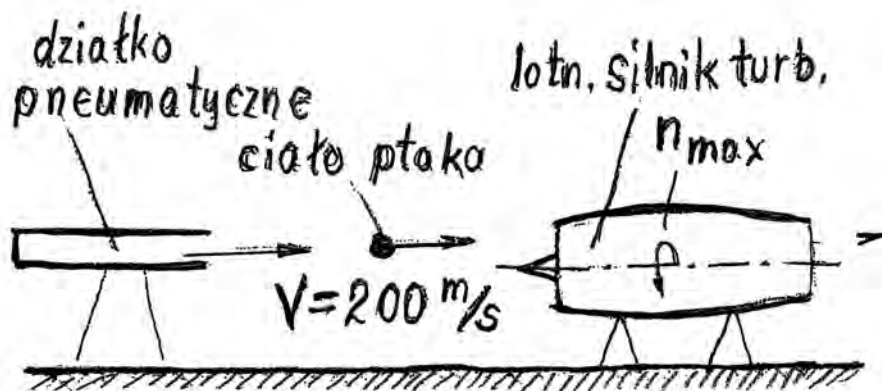
Rys. 9. Sposoby ograniczające możliwość wiru wlotowego; a - stan wyjściowy, b,c,d - przeszkody ustawiane na ziemi, e - „zdmuchiwanie” stagnacyjnej linii strumienia powietrza

Zagrożenia stanowią duże ptaki wpadające we wloty silników odrzutowych (najczęściej podczas startu samolotu lub lądowania). W tym przypadku są korzystnie uprzywilejowane wloty z „esowymi” kanałami dolotowymi samolotów bojowych. Kościec ptaka który wpadł do płatowcowego kanału dolotowego silnika zostanie pogruchołotany – nie grożąc już awarią silnika. Tory lotu ciał ptaków zaznaczono schematycznie na rys.10. Taki kształt kanału dolotowego ogranicza także możliwości odbicia radarowego od zespołu wirujących łopatek sprężarki lub wentylatora.



Rys. 10. Płatowcowe kanały powietrza wlotowego silników; a - prosty, charakterystyczny dla silników podskrzydłowych i przykadłubowych, b - wewnątrzkadłubowy „antyradarowy” i „antyptasi”

W silnikach wentylatorowych pozostaje sposób wymiany uszkodzonej łopaty (i znajdującej się naprzeciwko niej) z pakietu 2-óch łopat przechowywanych na lotnisku. Przepisy międzynarodowe nakazują producentom silników przeprowadzić dowodowy eksperyment wstrzelenia bezpośrednio do wlotu pracującego silnika ciała ptaka (obecnie o masie do 1,5 kg). Odbywa się to za pomocą pneumatycznego działka, z prędkością 200 m/s (por. rys.11). Po takiej próbie silnik może zostać zniszczony, ale „bez prawa” przebicia ścian kadłuba przez odrywające się części wirników.

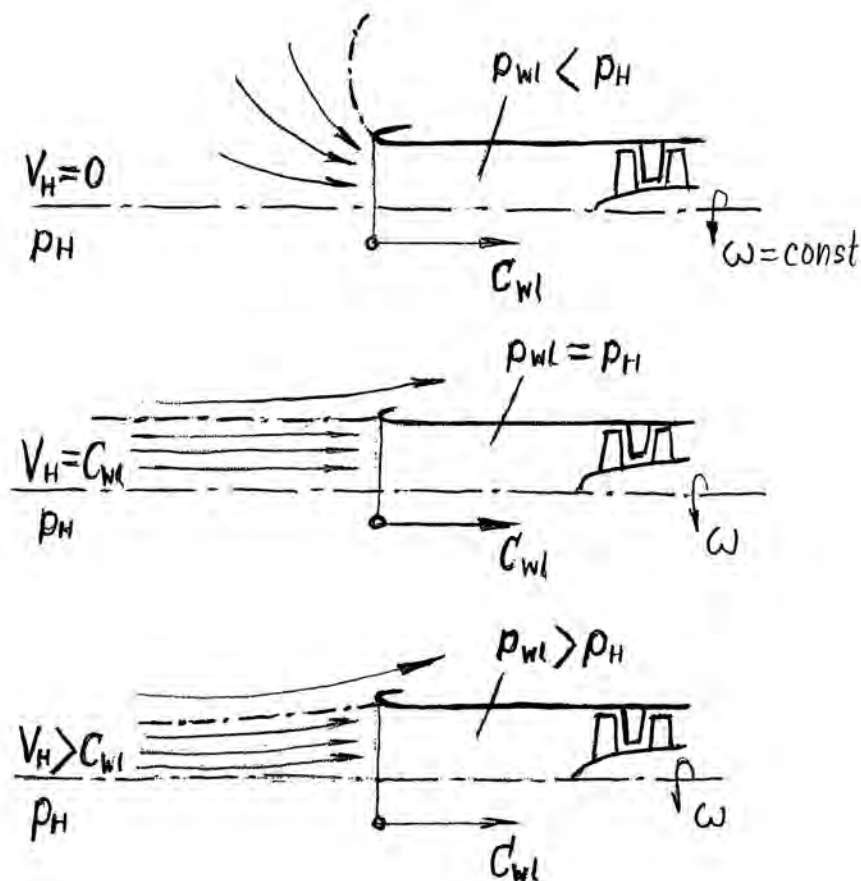


Rys. 11 Schemat stanowiska do próby zderzenia z ptakiem

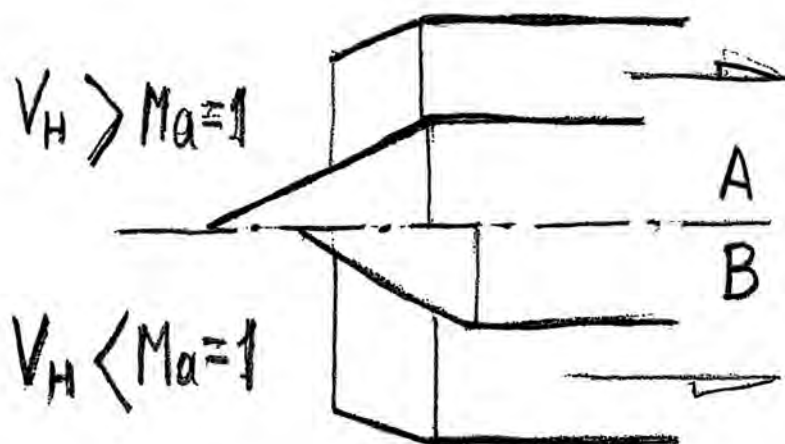
Efektywność wlotów, w aspekcie wykorzystywania ciśnienia spiętrzenia podczas lotu (co wpływa na gęstość i masowe natężenie przepływu powietrza przez silniki) wyjaśnia rys.12.

Efekt spiętrzenia uzyskuje się gdy prędkość lotu przekracza wartość prędkości przepływu w kanale wlotowym do silnika. Problem efektywności wlotu komplikuje się gdy prędkość lotu samolotu zbliża się do prędkości dźwięku i ją przekracza. W starszych bojowych samolotach naddźwiękowych stosowano powszechnie mechanizację wlotów – dostosowując ich kształt oraz pola przekrojów do aktualnych (naddźwiękowych) prędkości lotu, co przedstawiono na rys.13.

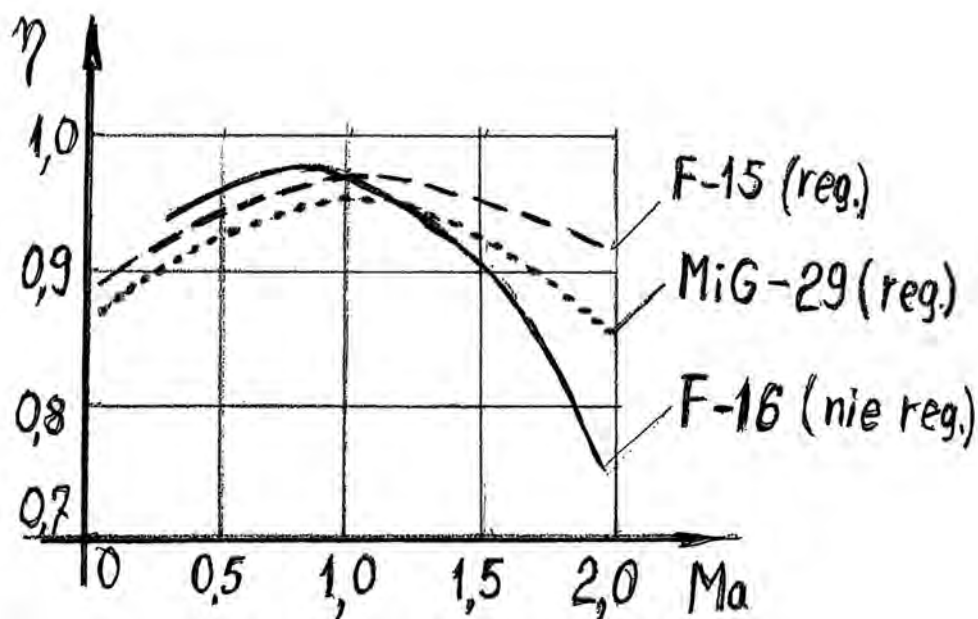
Jednak wkrótce przekonano się, że przewidywane pola walki rzadko wymagają osiągnięcia prędkości naddźwiękowych – i to nie większych niż $Ma=1,5$. W naszych F-16 już nie zastosowano nastawnych wlotów naddźwiękowych, a przytoczone na rys.14 zależności dowodzą, że wlot silnikowy tego samolotu, przy prędkości $Ma=1,5$ ma efektywność gorszą (o ok. 3%) od nastawnego wlotu samolotu Mig-29 i ok. 5% od wlotu samolotu F-15. W każdym przypadku nastawność wlotu zwiększa masę samolotu o kilkadziesiąt kilogramów – wpływając negatywnie na jego osiągi.



Rys. 12. Wpływ prędkości lotu na stopień wykorzystania ciśnienia spiętrzenia na osiagi silnika odrzutowego



Rys. 13 Nastawny wlot silnika samolotu naddźwiękowego; A – podczas lotu naddźwiękowego, B – podczas lotu poddźwiękowego



Rys. 14. Zależność stopnia wykorzystania ciśnienia całkowitego we wlotach samolotów naddźwiękowych

Sam fakt obecności wlotów powietrza i ich usytuowania na płatowcu i ukształtowania kanałów dolotowych do silników wnosi co najmniej trzy poważne zagrożenia: Podczas pracy silnika na ziemi (na postoju i pierwszej fazie toczenia startującego samolotu) powstanie wiru wlotowego i zassanie z powierzchni lotniska tzw. „ciał obcych” zagrażających uszkodzeniem łopatek zespołów wirnikowych silnika. Podczas lotu zagrożenie uszkodzeniem kawałkami lodu odpadającego z krawędzi wlotu płatowcowego (po zbyt późnym włączeniu systemu odladzającego), a nade wszystko – wpadnięcie stada ptaków. Ostatni przypadek jest szczególnie niebezpieczny - grozi bowiem natychmiastowym wyłączeniem silnika i katastrofą samolotu.

LITERATURA

- [1] Balicki W., Głowacki P., Szczeciński S., *Uszkodzenia turbinowych silników odrzutowych*, Przegląd Sił Powietrznych, nr 2 (008), Warszawa, 2008
- [2] Cheda W., Malski M., *Techniczny poradnik lotniczy. Silniki*, WKiŁ, Warszawa, 1984
- [3] Cichosz E., Kordziński W., Łyżwiński M., Szczeciński S., *Napędy lotnicze. Charakterystyka i zastosowanie napędów*, WKiŁ, Warszawa, 1980
- [4] Dzierżanowski P., Kordziński W., Łyżwiński M., Otyś J., Szczeciński S., Wiatrek R., *Napędy lotnicze. Turbinowe silniki odrzutowe*, WKiŁ, Warszawa, 1983
- [5] Dzierżanowski P., Kordziński W., Otyś J., Szczeciński S., Wiatrek R., *Napędy lotnicze. Turbinowe silniki śmigłowe i śmigłowcowe*, WKiŁ, Warszawa, 1985
- [6] Gajewski T., *Analiza zgodności współpracy turbinowego silnika odrzutowego z jego wlotem*, Technika Lotnicza i Astronautyczna, 9/75, WKiŁ, Warszawa, 1975
- [7] Gajewski T., *Turbinowe Napędy Lotnicze. Podstawy teorii i eksploatacji dla pilota. Podręcznik*, DWL, Poznań, 1984
- [8] Głowacki P., *GENx. Nowe technologie i ich wpływ na obsługę techniczną*, seminarium Lotnicze silniki odrzutowe.
- [9] Kazimierski Z., *Ruch wirowy płynów w przyrodzie oraz w maszynach i urządzeniach*. Wyd. Politechnika Łódzka, Łódź, 2007.