



Article citation info:

Jafernik, H., Sklorz, R. Initiatives to reduce fuel consumption and CO₂ emissions during ground operations. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2015, **89**, 47-55. ISSN: 0209-3324. DOI: 10.20858/sjsutst.2015.89.5.

Henryk JAFERNIK¹, Robert SKLORZ²

INITIATIVES TO REDUCE FUEL CONSUMPTION AND CO₂ EMISSIONS DURING GROUND OPERATIONS

Summary. This article outlines initiatives leading to reduction of fuel consumption and emissions of carbon dioxide by civil passenger aircrafts during ground operations. Airbus A320, one of the most popular nowadays airliners serves as an example. The article refers to initiatives related to operators, manufacturers as well as Air Traffic Control units. Detailed analysis of specific fuel efficiency initiative has been limited to one exemplary flight. Results of analysis can be used as a basis to calculation of gross savings in relation to specific airport.

Keywords: Air Traffic Control, airport, savings, operations

PROPOZYCJE OGRANICZEŃ ZUŻYCIA PALIWA I EMISJI DWUTLENKU WĘGLA PODCZAS OPERACJI NAZIEMNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono możliwości ograniczenia zużycia paliwa oraz emisji dwutlenku węgla przez cywilne samoloty pasażerskie podczas operacji naziemnych. Za przykład wykorzystano samolot Airbus A320, jeden z najbardziej popularnych cywilnych samolotów pasażerskich obecnego wieku. Artykuł odnosi się zarówno do inicjatyw powiązanych z operatorem, producentem, jak i służbą kontroli lotów ATC. Analiza poszczególnych inicjatyw

¹ Faculty of Transport, The Silesian University of Technology, Krasińskiego 8 Street, 40-019 Katowice, Poland.
E-mail: henryk.jafernik@polsl.pl

² Faculty of Transport, The Silesian University of Technology, Krasińskiego 8 Street, 40-019 Katowice, Poland.
E-mail: rsklorz@nestmail.pl

została ograniczona do pojedynczego lotu, a jej wyniki stanowią podstawę do obliczeń całkowitych oszczędności w odniesieniu do operacji na danym lotnisku.

Słowa kluczowe: służba kontroli lotów, port lotniczy, oszczędności, operacje

1. WSTĘP

W zależności od lotnisk, do których operator wykonuje loty oraz pory roku, operacje naziemne stanowią od 5 do 40% całkowitego czasu blokowego. Szczególnie w przypadku linii lotniczych, posiadających bazy na największych lotniskach świata, czas blokowy na ziemi może wynosić średnio 30 minut.

W przedstawionym artykule zostały wymienione elementy operacji naziemnych, które mają wpływ na zużycie paliwa oraz emisję CO₂. Nawet jeżeli dana część operacji naziemnych ma stosunkowo mały wpływ na zużycie paliwa w porównaniu z innymi częściami, to należy zwrócić na nią uwagę. Jest to spowodowane głównie przez różny potencjał zastosowania poszczególnych inicjatyw oraz różny stopień ich złożoności. Stworzenie właściwych procedur i wyrobienie standardów pośród załóg latających oraz personelu naziemnego jest kluczowe w ograniczeniu zużycia paliwa.

2. KOŁOWANIE Z JEDNYM NIEPRACUJĄCYM SILNIKIEM

Większość samolotów pasażerskich posiada możliwość kołowania bądź z jednym silnikiem wyłączonym – samoloty dwusilnikowe lub z dwoma silnikami wyłączonymi – samoloty czterosilnikowe. Na dużych oraz zatłoczonych lotniskach czasy kołowania do startu oraz po lądowaniu często przekraczają 15 minut. Kołowanie na jednym silniku może zmniejszyć zużycie paliwa, ale także zwiększyć ryzyko uszkodzenia silnika pracującego przez wciągnięcie obiektów ze względu na jego wyższy ciąg. Przy niesprzyjających warunkach wymagany ciąg do rozpoczęcia lub kontynuowania kołowania na jednym silniku może być na tyle wysoki, że może stanowić zagrożenie w zatłoczonych miejscach, takich jak na przykład płyty postojowe lub drogi kołowania przy płytach postojowych. Należy zwrócić uwagę na utrudnienia związane ze sterowaniem samolotem, kołując z jednym silnikiem niepracującym.

Przed wprowadzeniem procedury kołowania na jednym silniku należy rozważyć następujące czynniki dla danego lotniska, dotyczące kołowania do startu i po lądowaniu:

- ograniczenia czasu rozgrzewania silnika do startu oraz chłodzenia po lądowaniu muszą być przestrzegane. W przypadku samolotu Airbus A320 z silnikami IAE-V2500 wynoszą one do startu 5 lub 2 minuty od uruchomienia, w zależności czy silnik pracował w ciągu ostatnich 2 godzin, a po lądowaniu 3 minuty po wykorzystaniu pełnego ciągu wstecznego lub 1 minutę przy wykorzystaniu ciągu jałowego;
- rodzaj nawierzchni. Niektóre nawierzchnie wykazują wysokie opory toczenia, co może uniemożliwić efektywne kołowanie na jednym silniku;
- nachylenie dróg kołowania może spowodować, iż samolot kołując na jednym silniku nie będzie mógł podjechać pod wzniesienie. Ma to szczególnie duże znaczenie przy wysokiej masie samolotu;
- zwiększone zużycie opon i dłuższy czas blokowy;
- zmniejszone zużycie hamulców.

Konsumpcja paliwa na ziemi przy ciągu jałowym zależy od temperatury zewnętrznej, wydatku instalacji pneumatycznej oraz wykorzystania systemów odladzania. Według instrukcji użytkowania samolotu Airbus A320, zużycie paliwa silnika typu IAE-2500-V5 na

ziemi w warunkach standardowych wynosi 400 kg/h, czyli 6,7 kg/min. Ze względu na nadwyżkę ciągu jałowego wspomnianego typu silników na ziemi można przyjąć, że po wyłączeniu jednego z nich nie będzie konieczne znaczne zwiększanie ciągu ponad wartość ciągu jałowego. Procedura kołowania z jednym silnikiem wyłączonym zakłada uruchomienie jednostki pomocniczej APU, której zużycie paliwa wynosi 1,2 kg/h.

Tabela 1

Całkowite zużycie paliwa przy dwóch lub jednym silniku pracującym

Procedura	Silnik nr 1	Silnik nr 2	APU	Suma
Standardowa	6,7kg/min	6,7kg/min	0	13,4kg/min
Kołowanie z jednym silnikiem	6,7kg/min	0	1,2kg/min	7,9kg/min
Różnica	0	-6,7kg/min	+1,2kg/min	5,5kg/min

Stosowanie tabeli 1 umożliwia obliczenie całkowitych oszczędności dla danej grupy lotnisko – droga startowa – stanowisko postojowe i ogranicza się do kalkulacji czasu kołowania z jednym silnikiem niepracującym.

Implementacja opisanego rozwiązania stwarza problem ze względu na dużą liczbę oraz subiektywny charakter powiązanych czynników. Trudnym zadaniem jest także identyfikacja dróg startowych do lub z których kołowanie z jednym silnikiem niepracującym jest ekonomicznie opłacalne. Istotne jest, aby przed implementacją procedury określić, jaki czas kołowania przy jednym silniku jest dla danego operatora ekonomicznie opłacalny, a następnie zidentyfikować lotniska, na których średni czas kołowania przekracza określoną wartość. Kolejnym krokiem jest implementacja procedury. Ze względu na liczbę powiązanych czynników i ich subiektywny charakter wdrożenie powinno odbyć się przy współpracy z doświadczonymi pilotami na danych trasach. Do monitorowania poziomu stosowności i opłacalności procedury należy zastosować metodę obserwacji z wykorzystaniem systemu monitorowania zużycia paliwa.

3. WYKORZYSTANIE JEDNOSTKI POMOCNICZEJ „APU”

W większości samolotów pasażerskich znajdują się jednostki pomocnicze APU. Stanowią one część systemu zasilania w energię elektryczną oraz część systemu pneumatyki. Jednostki APU są turbinami gazowymi i są zasilane paliwem lotniczym z tych samych zbiorników co silniki. Do ich funkcji należą:

- a) Uruchamianie silników na ziemi.
- b) Uruchamianie i wspomaganie uruchamiania silników w powietrzu.
- c) Zasilanie w energię elektryczną na ziemi.
- d) Zasilanie lub wspomaganie zasilania w powietrzu w przypadku awarii jednego z silników.
- e) Zasilanie systemu pneumatycznego utrzymującego pracę klimatyzacji przy silnikach wyłączonych lub wspomaganie w powietrzu w przypadku awarii jednego z silników.

Funkcje jednostki pomocniczej APU wykorzystywane na ziemi nie mają wpływu na bezpieczeństwo operacji lotniczej. Funkcje pełnione w powietrzu są ściśle powiązane z bezpieczeństwem oraz zapewnieniem odpowiedniego poziomu redundancji systemów samolotu.

3.1. Wykorzystanie jednostki pomocniczej na ziemi

Jednostka pomocnicza APU wykorzystywana jest na ziemi podczas postoju samolotu pomiędzy lotami. Jej najistotniejszą funkcją jest zasilanie statku powietrznego w energię elektryczną. Musi ono być nieprzerwane przy postojach krótszych od godziny, a powinno być zapewnione także przy dłuższych postojach pomiędzy lotami. Kolejną funkcją, do której wykorzystuje się jednostkę pomocniczą, jest zasilanie systemu pneumatyki, który to zapewnia działanie systemu klimatyzacji oraz uruchamiania silników. Przy uruchamianiu silników system pneumatyki pracuje tylko chwilowo, a w przypadku systemu klimatyzacji w sposób ciągły. Klimatyzacja w samolocie poprawia komfort pasażerów, a w razie postoju w ekstremalnych warunkach (przy bardzo niskich lub wysokich temperaturach) zapewnia temperaturę odpowiednią dla życia pasażerów oraz załogi.

Podczas postoju na ziemi zużycie paliwa danej jednostki pomocniczej APU zależy od jej typu, rodzaju wybranego obciążenia oraz warunków zewnętrznych. Zużycie będzie minimalne, gdy jednostka pomocnicza pracuje bez obciążenia i maksymalne, gdy jednostka pomocnicza zasila samolot zarówno w energię elektryczną „EL”, jak i pneumatykę „PN”.

Tabela zaprezentowana poniżej przedstawia zużycie paliwa dla różnych obciążeń i typów APU w kilogramach na godzinę pracy według firmy Airbus [1].

Tabela 2

Zużycie paliwa przez APU przy wybranym obciążeniu

Typ APU	Bieg jałowy	Maks. „EL”.	Min. „PN”; Maks. „EL”.	Maks. „PN”; Maks. „EL”.
GTC 36-300	70 kg/h	85 kg/h	105 kg/h	125 kg/h
Honeywell 191-9A	75 kg/h	95 kg/h	115 kg/h	125 kg/h

Ponadto, według innej publikacji firmy Airbus, przy każdych 5 minutach pracy jednostki pomocniczej powstaje 35 kg dwutlenku węgla [2].

Ze względu na duże zużycie paliwa przez jednostki pomocnicze APU należy ograniczyć do minimum ich wykorzystanie podczas postoju na ziemi. Istnieją alternatywne możliwości zasilania samolotu w energię elektryczną, klimatyzację oraz pneumatykę. Szczególnie istotna jest kwestia energii elektrycznej. Wykorzystanie naziemnych agregatów prądowców pozwala znacznie ograniczyć zużycie paliwa. W przypadku gdy jest to konieczne, do samolotu można doprowadzić także klimatyzowane powietrze z zewnątrz, co ogranicza zużycie paliwa, gdy normalnie załoga korzystałaby z jednostki pomocniczej w celu nagrzania lub chłodzenia kabiny pasażerskiej. Użytkowanie agregatów naziemnych jednak również wiąże się z kosztami. Niejednokrotnie są to koszty wysokie, które stawiają pod znakiem zapytania bilans ekonomiczny ich wykorzystania.

W związku z tym operator musi określić politykę wykorzystania agregatów naziemnych na danym lotnisku. Polityka powinna uwzględniać przewidywaną długość postoju, warunki zewnętrzne, koszt agregatów naziemnych, czas utracony na ich podłączenie, ich niezawodność i jakość, liczbę pasażerów oraz ograniczenia związane z hałasem.

W przypadku wykorzystania jednostek pomocniczych APU, poza zużyciem paliwa należy uwzględnić koszty obsługi, napraw oraz ich wymiany. Należy zwrócić uwagę na resurs, ale także ograniczenia cykliczne i średni czas, po którym następowała konieczność naprawy lub dokonania wymiany jednostki pomocniczej.

Potencjał możliwego ograniczenia zużycia paliwa przy wykorzystaniu agregatów naziemnych jest równy iloczynowi czasu, kiedy jednostka pomocnicza nie pracuje oraz chwilowego zużycia paliwa.

Uwzględniając 40-minutowy postój bez konieczności wykorzystania systemu klimatyzacji, można założyć, że jednostka APU nie będzie pracowała przez 30 minut. Zgodnie z tabelą opisującą zużycie paliwa, przewidywany spadek zużycia wyniesie 42,5 kg.

Warto zaznaczyć, że zmienny charakter niektórych wymienionych czynników powoduje konieczność weryfikowania bilansu ekonomicznego inicjatywy przy renowacji kontraktu na dostarczanie usług lotniskowych lub nie rzadziej niż co kwartał.

3.2. Wykorzystanie jednostki pomocniczej w powietrzu

Wykorzystanie jednostki pomocniczej podczas aktualnej operacji lotniczej może wynikać z konieczności zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa. W sytuacjach niepowiązanych z bezpieczeństwem lotu wykorzystanie jednostki pomocniczej nie ma sensu, gdyż zarówno systemy elektryczny, jak i pneumatyczny są zasilane przez silniki.

4. WYKORZYSTANIE SYSTEMU KLIMATYZACJI

Na działanie systemu klimatyzacji składa się wiele elementów, spośród których można wyróżnić dwa niezależne agregaty klimatyzacyjne, składające się z turbiny oraz wymienników ciepła. Mają one za zadanie utrzymanie odpowiedniego ciśnienia w kabinie podczas lotu, ale także temperatury i wilgotności zarówno podczas lotu, jak i postoju na ziemi. Zasilanie agregatów odbywa się za pomocą systemu pneumatycznego. System pneumatyczny może być zasilany z silników, jednostki pomocniczej APU lub niezależnego naziemnego agregatu pneumatycznego. Podczas postojów na ziemi ciśnienie w systemie pneumatycznym pochodzi z jednostki pomocniczej, a po uruchomieniu silników przełącza się je na zasilanie z silników. W każdym przypadku standardowo pracują dwa agregaty klimatyzacyjne. Przy takiej konfiguracji obciążenie jednostki pomocniczej podczas postoju na ziemi jest nominalne. Po uruchomieniu silników każdy z nich zasila system pneumatyczny niezależnie.

Wykorzystanie dwóch agregatów wiąże się z koniecznością zapewnienia odpowiedniego poziomu redundancji ze względów bezpieczeństwa podczas lotu. W przypadku awarii jednego agregatu klimatyzacji podczas lotu, drugi jest w stanie utrzymać zadane warunki. Awaria dwóch agregatów klimatyzacyjnych wiąże się z brakiem możliwości utrzymania hermetyzacji kabiny i koniecznością zniżania do wysokości bezpiecznej dla życia.

W przypadku operacji naziemnych – zarówno podczas kołowania, jak i postoju – agregaty klimatyzacyjne zapewniają jedynie funkcję utrzymania temperatury w kabinie. W związku z tym nie ma potrzeby korzystania z dwóch agregatów naraz, jeżeli temperatura zewnętrzna nie jest zbyt wysoka, by jeden agregat nie był w stanie utrzymać temperatury w kabinie.

Użytkowanie jednego agregatu wiąże się ze zwiększeniem zapotrzebowania na sprężone powietrze pracującego agregatu. W przypadku gdy zasilanie pochodzi z silników, spowoduje to wzrost ciągu silnika, który zasila system pneumatyczny powiązany z agregatem klimatyzacyjnym, oraz zmniejszenie zapotrzebowania na sprężone powietrze do zera w silniku odpowiadającym za zasilanie niepracującego agregatu.

Zużycie paliwa zależy między innymi od zapotrzebowania na sprężone powietrze. W rozpatrywanym przypadku bilans zużycia paliwa jest pozytywny w przypadku operacji z jednym agregatem. W przypadku zasilania systemu pneumatycznego z jednostki pomocniczej nie dowiedziono, czy wpływ zwiększonego zapotrzebowania jednego agregatu będzie większy czy mniejszy od dwóch jednocześnie. W związku z tym nie da się określić, jaki będzie bilans zużycia paliwa. Warto zwrócić uwagę na możliwość przyspieszonego zużycia włączonego agregatu. Do tej pory nie wykluczono tej hipotezy.

Obliczenie przewidywanego zmniejszenia zużycia paliwa przez wyłączenie jednego agregatu klimatyzacji podczas operacji naziemnych jest niemożliwe za pomocą opisanych metod badawczych. Powodem jest bardzo niewielka zmiana zużycia paliwa oraz brak możliwości symulacji takiego zachowania systemu.

Firma Airbus dokonała oceny takiego rozwiązania i opublikowała dane, według których spadek zużycia paliwa przy wykorzystaniu tylko jednego agregatu klimatyzacji wynosi od 10 do 20 kg na godzinę [3].

Kolejnym istotnym momentem w pracy systemu klimatyzacji jest start samolotu. Podczas startu silniki wytwarzają wysoki ciąg. W związku z tym zapotrzebowanie na sprężone powietrze, które pochodzi ze sprężarki silnika, ma negatywny wpływ na ciąg silnika. Aby uzyskać ten sam ciąg do startu z włączonymi agregatami klimatyzacyjnymi, trzeba odpowiednio zwiększyć wydatek paliwa. Wyjątek stanowi start z ciągiem maksymalnym, przy którym system klimatyzacji będzie pogarszał osiągi samolotu. Procedury standardowe samolotu Airbus A320 zakładają możliwość startu z zupełnie wyłączonym systemem klimatyzacji, a następnie jego uruchomienie po zmniejszeniu ciągu silników z ciągu do startu.

W publikacjach firmy Airbus podkreśla się konieczność dokonania oceny spadku komfortu w kabinie, gdyż nie będzie ona klimatyzowana przez około 3 minuty. W przypadku operacji w Europie, większość operatorów ocenia ten wpływ jako pomijalny. Poza mniejszym zużyciem silników, efektem pochodnym opisanego rozwiązania jest mniejsze zużycie paliwa. Opisane metody badawcze nie są w stanie jednoznacznie wyznaczyć zmiany zużycia paliwa przy starcie z wyłączonymi agregatami klimatyzacji. Firma Airbus opublikowała dane, według których zużycie paliwa spada o 2-3 kg na start w samolocie Airbus A320 [3].

5. SŁUŻBA KONTROLI RUCHU LOTNICZEGO

Służby kontroli ruchu lotniczego mają bardzo duży wpływ na zużycie paliwa. Począwszy od tworzenia procedur, które nie tylko są bezpieczne, ale także ograniczają zużycie paliwa przez właściwą koordynację pomiędzy poszczególnymi służbami oraz pilotami, na własnych inicjatywach kończąc.

5.1. Procedury służb ruchu lotniczego

Z punktu widzenia zużycia paliwa procedury służb ruchu lotniczego powinny być możliwie jak najkrótsze i umożliwiać lot po optymalnym profilu pionowym. Zależność pomiędzy zużyciem paliwa a procedurami ATC tkwi w dystansie, który samolot musi przelecieć. Drugim równie ważnym elementem, który ma znaczny wpływ na zużycie paliwa, jest możliwość lotu po optymalnym profilu, tj.:

- nieprzerwane wznoszenie do poziomu optymalnego z optymalną prędkością,
- przelot na poziomie optymalnym z optymalną prędkością,
- rozpoczęcie zniżania w optymalnym punkcie i zniżanie z optymalną prędkością.

Uzyskanie wyżej wymienionych założeń jest zazwyczaj wynikiem kompromisu:

- ze strukturą przestrzeni powietrznej,
- z procedurami przylotów oraz odlotów innych lotnisk,
- z przeszkodami terenowymi,
- z dostępnością pomocy nawigacyjnych,
- z ułożeniem korytarzy powietrznych,
- z procedurami antyhałasowymi.

Procedury odlotu, przylotu oraz podejścia początkowego wykorzystujące nawigację obszarową RNAV znacznie skracają długość lotu. Nie mniej jednak w wielu państwach wykorzystanie procedur RNAV jest małe. Przykładem takiego państwa jest Polska, gdzie procedury przylotu oraz podejścia początkowego za pomocą nawigacji obszarowej działają jedynie w Warszawie.

W przypadku proceduralnej kontroli ruchu lotniczego różnica zużycia paliwa dla procedury RNAV i procedury opartej na klasycznych pomocach nawigacyjnych wynosi od 0 do 600 kg w zależności od kierunku podejścia oraz techniki pilotażu. To ogromne różnice, które mogą pochłonąć wszystkie opisywane wcześniej oszczędności.

5.2. Koordynacja służb ruchu lotniczego

Koordynacja służb ruchu lotniczego pomiędzy sobą, ale także pilotami i służbami naziemnymi jest kluczowa dla osiągnięcia niskiego zużycia paliwa. Należy podkreślić, że często rozwiązania nieoptymalne wynikają z konieczności zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa. Niemniej jednak równie często paliwo jest marnowane ze względu na brak właściwej koordynacji lub też procedur, czy wyposażenia ułatwiających kontrolerom podejmowanie decyzji.

Począwszy od zgody na uruchamianie silników służba kontroli ruchu lotniczego ma wpływ na zużycie paliwa. Na większości lotnisk w Europie brak jest koordynacji przy wydawaniu zgód na uruchomienie silników z punktu widzenia zużycia paliwa. W przypadku Polski taka koordynacja wynika albo z dobrej woli kontrolera, lub też z inicjatywy pilotów. Istnieje potrzeba wprowadzenia procedur, które pomogą kontrolerom wydawać zgody na uruchomienie silników, w momencie gdy można zapewnić, że załoga samolotu otrzyma zgodę na możliwie nieprzerwane kołowanie, a następnie start. W przypadku samolotu Airbus A320 zużycie paliwa na ziemi wynosi średnio 800 kilogramów na godzinę, co daje 13 kg na minutę. W przypadku braku innych ograniczeń, gdy samolot musi oczekiwać przed drogą startową na jeden lądujący samolot 3 minuty, zużyje niepotrzebnie 39 kg paliwa. Gdy w kolejce do startu i lądowania czeka kilka samolotów, czas oczekiwania na ziemi może wydłużyć się nawet do 30 minut, co powoduje niepotrzebne zużycie 400 kg paliwa.

Odpowiednie sekwencjonowanie ruchu, koordynacja z organami zbliżania lub obszaru, czy odpowiedni system informacji prezentujący oczekujący ruch do lądowania i startu może pozwolić kontrolerowi opóźnić zgodę na uruchomienie silników oraz przydzielić numer do startu, co zapewni nieprzerwane kołowanie oraz start.

Pełna optymalizacja ścieżki samolotu w locie zazwyczaj nie jest możliwa, ze względu na natężenie ruchu lotniczego i konieczność zachowania odpowiedniej separacji między samolotami. Jednak, wciąż nie wszędzie zostały zaimplementowane odpowiednie rozwiązania proceduralne, dotyczące koordynacji przydzielania skrótów oraz poziomów przelotowych. Samolot Airbus A320 zużywa podczas przelotu średnio 2300 kg paliwa na 450 przebytych mil morskich. Każdy skrót pozwalający zaoszczędzić jedną milę morską to przynajmniej 5 kg paliwa oszczędności. Niejednokrotnie jest możliwe przydzielanie skrótów wynoszących 50 mil i więcej. System przydzielania skrótów bardzo dobrze funkcjonuje w Europie Zachodniej, poza Hiszpanią czy Włochami. W przypadku Europy Środkowej i Wschodniej przydzielanie skrótów odbywa się zazwyczaj tylko wewnątrz danego rejonu informacji lotniczej lub sektora kontroli lotów. W przypadku organów kontroli zbliżania ruchu lotniczego, poszukiwanie możliwości przydzielenia skrótów jest dobrą wolą kontrolera lub inicjatywą pilota. W większości przypadków brak jest rozwiązań systemowych.

Koordynacja ruchu dolatującego do lotnisk docelowych jest istotnym elementem, który może funkcjonować lepiej w przypadku większości służb kontroli ruchu lotniczego. Typowym przykładem mogą być dwa samoloty, mające wylądować na tym samym lotnisku,

w tym samym czasie. Optymalnym rozwiązaniem jest przydzielenie ograniczeń prędkości, tak wcześnie jak to możliwe, aby zachować właściwą separację samolotów podczas podejścia do lądowania. Niestety, zazwyczaj fakt powstania konfliktu jest wykryty dopiero przez służby zbliżania, krótko przed lądowaniem. W takiej sytuacji kontroler poza przydzieleniem znacznych ograniczeń prędkości, prawdopodobnie będzie musiał wydłużyć drogę jednego z samolotów, aby zagwarantować odpowiednią separację. Skutkiem będzie znaczne odejście samolotu od wyliczonej optymalnej ścieżki zniżania i konieczność lotu w poziomie na małej wysokości, co powoduje znaczne zużycie paliwa. W przypadku Airbusa A320 przelecenie jednej mili na wysokości przelotowej to średnio 5 kg zużytego paliwa, a na wysokości 1000 m to 12 kg na milę.

Warto zwrócić uwagę, iż wektorowanie radarowe jest stosowane nie tylko w celu zapewnienia separacji, ale także umożliwia znaczne skracanie procedur ruchu lotniczego. W takiej sytuacji wektorowanie radarowe może w znaczny sposób przyczynić się do zmniejszenia zużycia paliwa.

6. WYBÓR DROGI STARTOWEJ

Wybór drogi startowej ma wpływ na całkowite zużycie paliwa. Droga startowa w użyciu zależy głównie od aktualnego wiatru, ale także dostępności pomocy radionawigacyjnych i procedur antyhałasowych. W przypadku gdy planowana trasa lotu samolotu przebiega równoległe do osi drogi startowej, preferowanym kierunkiem startu jest kierunek, z którego samolot wyleci bezpośrednio na trasę przelotu.

Wyjątkiem może być sytuacja, w której miejsce postoju samolotu jest odległe od preferowanej drogi startowej lub inne czynniki, takie jak:

- burza,
- przewidywane lub raportowane uskoki wiatru,
- mgła w części drogi startowej,
- zanieczyszczenie drogi startowej (śnieg, błoto pośniegowe, kałuże).

Należy podkreślić, że przy doborze drogi startowej bezpieczeństwo musi być na pierwszym miejscu, a następnie można rozważyć możliwości oszczędzania paliwa. W przypadku samolotu Airbus A320 minuta kołowania pochłania średnio 13 kg paliwa. Minuta lotu, uwzględniając wszystkie jego fazy, pochłania średnio 50 kg paliwa. W związku z tym należy rozważyć kilka przypadków:

- a) Położenie samolotu umożliwia mu dotarcie do dostępnych dróg startowych w tym samym czasie. W takiej sytuacji, jeżeli trasa lotu przebiega równoległe do osi drogi startowej, preferuje się start umożliwiający bezpośredni wlot na trasę przelotu. Przy wykorzystaniu standardowych procedur odlotu wybór kierunku przeciwnego do trasy lotu spowoduje zwiększenie czasu lotu o 3 minuty i zużycia paliwa o 150 kg.
- b) Samolot znajduje się przy progu drogi startowej, której kierunek jest przeciwny do trasy lotu. Kołowanie do progu dogodnej drogi startowej zajmie średnio 4 minuty, co daje 52 kg paliwa. W przypadku startu z drogi startowej o kierunku przeciwnym do trasy lotu, czas lotu zwiększy się średnio o 3 minuty, a zużycie o 150 kg. W związku z powyższym bilans zużycia paliwa obu rozwiązań jest neutralny, gdy dodatkowe kołowanie do drogi startowej o kierunku zbieżnym do trasy lotu wynosi 12 minut. W przypadku dłuższego kołowania preferowany jest odlot w kierunku przeciwnym do planowanej trasy.
- c) Wiatr bliski limitacji samolotu wiejący w kierunku zbieżnym do trasy lotu oraz oś drogi startowej równoległa do planowanej trasy lotu. Ze względu na wiatr wiejący z prędkością bliską limitacji samolotu rozważyć należy:

- wpływ wiatru na osiągnięcie do startu z jednej i drugiej drogi startowej,
- ewentualną konieczność zmiany ciągu startowego,
- ryzyko przyrostu prędkości wiatru poza limitację i konieczność zawrócenia.

Bilans ekonomiczny startu pod wiatr, gdy droga startowa jest krótka lub posiada przeszkody w strefie odlotu, może okazać się nieekonomiczny, ze względu na konieczność zastosowania wysokiego ciągu do startu lub ciągu maksymalnego, co skraca żywotność silników. Z tego względu oraz faktu, że wybór drogi startowej jest mocno uzależniony od warunków lokalnych oraz chwilowych, rekomendacje co do wyboru drogi startowej powinny być zapisane w części instrukcji operacyjnej związanej z danym lotniskiem. Dowódca statku powietrznego pozostaje odpowiedzialny za ostateczną decyzję.

7. WNIOSKI

Przedstawione propozycje ograniczenia zużycia paliwa nie stanowią dużej wartości w obliczu pojedynczej operacji lotniczej, jednak biorąc pod uwagę całkowitą liczbę lotów wykonywanych w ciągu roku, suma oszczędności wynikających z poszczególnych propozycji jest znaczna. Każda z inicjatyw została opisana w sposób wyczerpujący, uwzględniając czynniki decydujące o jej zastosowaniu, powiązanych ograniczeniach i kosztach, mających wpływ na bilans ekonomiczny. Na podstawie wymienionych rozważań operator może podjąć się oceny determinującej zastosowanie danej inicjatywy w jego modelu operacyjnym i biznesowym.

Odnosząc się do obecnie wysokich cen paliwa oraz prognoz dalszych wzrostów cen, o przewadze nad konkurencją niejednokrotnie decydują koszty operacji. Zastosowanie opisanych inicjatyw obniża zużycie paliwa oraz emisję CO₂, co umożliwi zmniejszenie kosztów operacyjnych i przekłada się na zwiększenie konkurencyjności danego operatora.

References

1. Airbus: Getting to grips with fuel economy. Tuluza, 2004.
2. Airbus: Getting to grips with A320 family performance retention and fuel savings. Tuluza, 2008.
3. Airbus: Operating procedures for cost savings. Tuluza, 2009.

Received 19.04.2015; accepted in revised form 28.09.2015



Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License