

Słyszac „samolot”, wszyscy wyobrazamy go sobie mniej więcej tak samo – nawet jeśli pozornie wydaje nam się, że jest inaczej. No bo przecież niektórzy oczami wyobraźni zobaczą małą, turystyczną Cessnę, inni – wielki samolot pasażerski, jeszcze inni – myśliwiec z czasów II wojny światowej albo nowoczesny samolot militarny (rysunek 1). Nie zmienia to jednak faktu, że wszystkie te samoloty opierają się na tym samym, znanym każdemu założeniu: samolot lata, bo ma skrzydła. Lub też odwrotnie – samolot nie latałby, gdyby skrzydeł nie miał. Stąd wynika, że choć samoloty należące do tych wymienionych (i niewymienionych) kategorii będą od siebie znacząco inne, to wbrew pozorom mają one więcej podobieństw niż różnic.



Rysunek 1. Różne kategorie samolotów. Źródło: [1-4].

Osoba niezwiązana z lotnictwem nie odróżnia samolotu pasażerskiego Airbusa od Boeinga – i nie ma się co dziwić. W końcu zdecydowana większość samolotów latających nad naszymi głowami budowana jest w tzw. konfiguracji konwencjonalnej. Oznacza to, że samolot ma skrzydło, dzięki któremu wytwarza siłę potrzebną do latania (nazywaną siłą nośną), oraz usterzenie poziome, czyli niejako drugie, małe skrzydełko umieszczone z tyłu samolotu (rysunek 2). Celem usterzenia nie jest wytwarzanie siły potrzebnej do przewyciężenia grawitacji, lecz zapewnienie, że samolot będzie zmieniał wysokość tak, jak chce tego pilot. Usterzenie znajduje się w tak dużej odległości od skrzydła, że wpływ tego drugiego na pierwsze można albo pominąć w obliczeniach, albo uwzględnić z wykorzystaniem prostych wzorów.



Rysunek 2. Samolot w konfiguracji konwencjonalnej – Airbus czy Boeing? Źródło: opracowanie własne na podstawie [5].

Stosowanie utartego schematu układu samolotu ze skrzydłem z przodu i usterzeniem z tyłu daje wiele korzyści. Dzięki temu projektowanie samolotów jest łatwiejsze, a przede wszystkim bezpieczniejsze, ponieważ korzystamy z dobrze znanych i wiarygodnych metod obliczeniowych oraz rozwiązań konstrukcyjnych. W skrócie można powiedzieć, że taki samolot jest dla wszystkich – konstruktorów, mechaników, pilotów czy pasażerów – przewidywalny.

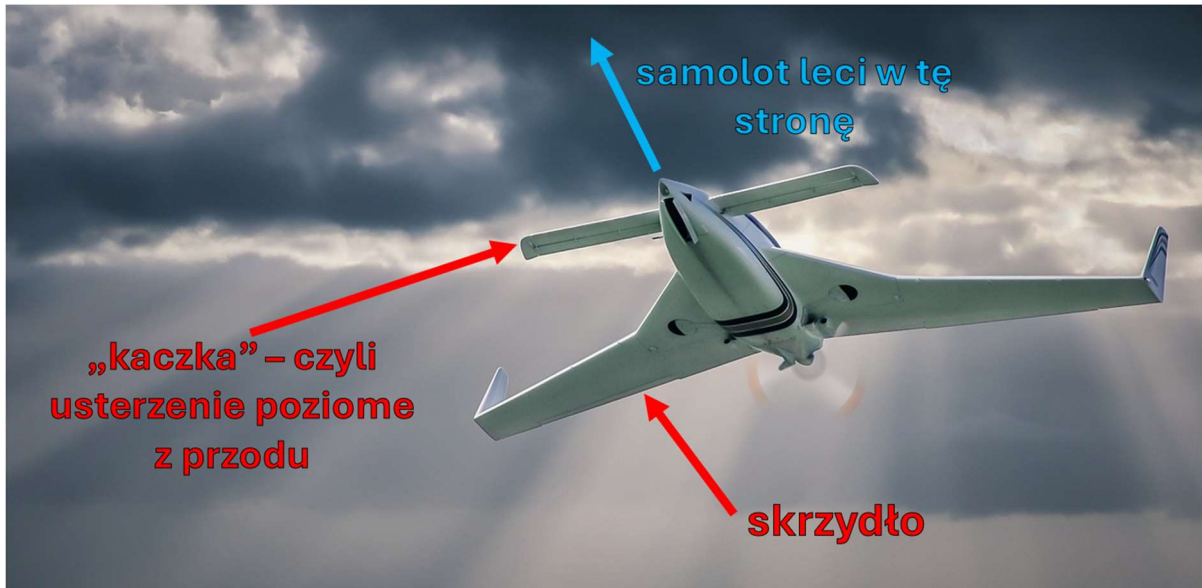
Ale to, co jest największą zaletą konfiguracji konwencjonalnej, na dłuższą metę może okazać się jej największą wadą. To prawda, że zjawiska w locie czy zachowanie takiego samolotu są już dobrze poznane – ale właśnie dlatego wiemy też, że ta konfiguracja ma swoje ograniczenia. Przykładowo, samoloty wojskowe latające z prędkościami większymi od prędkości dźwięku wyglądają zupełnie inaczej od pasażerskich, ponieważ konwencjonalna konfiguracja nie jest w stanie zapewnić wymaganej manewrowości dla prędkości naddźwiękowych. Poza tym muszą być one projektowane tak, by poprzez sam kształt samolotu zmniejszyć ich wykrywalność przez radar. Ale nawet w zakresie samolotów pasażerskich możemy spodziewać się, że nadejdzie taki moment, gdy nie będzie już możliwe dalsze jego ulepszenia bez wyjścia poza ramy konfiguracji konwencjonalnej. Pytanie brzmi, czy mamy jakieś inne opcje, a jeśli tak, to jakie?

Tu w grę wkraczają konfiguracje niekonwencjonalne, czyli – krótko mówiąc – samoloty inne niż „zwykłe”. Przykładem może być obecnie szeroko komentowana idea samolotu w konfiguracji „blended wing body” (rysunek 3). Lecz konfiguracje niekonwencjonalne nie są niczym nowym. Wszyscy słyszeli o tym, że pierwszy samolot został zbudowany przez braci Wright, ale zaskakująco niewiele wie, że samolot ten nie należy do konfiguracji konwencjonalnej, lecz był budowany w tzw. układzie „kaczki”, w którym usterzenie zamiast na końcu samolotu umieszczone jest z przodu, jeszcze przed skrzydłem (rysunek 4). Co ciekawe, początkowo niemalże równoległe z układem „kaczki” rozwijany był pomysł innego, dzisiaj niemalże nieznanego układu – a mianowicie układu tandem wing, czyli samolotu z dwoma skrzydłami. Czy też, jeśli uznawać skrzydło prawe i lewe za osobne skrzydła, można by go nazwać samolotem z czterema skrzydłami. Na potrzeby dalszej analizy trzymajmy się jednak nazewnictwa, w którym „zwykły” samolot ma jedno skrzydło składające się z dwóch części – prawej i lewej. Zresztą, nie jest ważne, jak to nazwiemy – najważniejsze, że tandem wing ma dwa razy więcej skrzydeł niż konwencjonalny samolot.



Rysunek 3. Samolot w konfiguracji blended wing body – X-48B. Źródło: [6]





Rysunek 4. Układ „kaczki” – podobnie zbudowany był samolot braci Wright. Źródło: opracowanie własne na podstawie [7].

Samolot z dwoma skrzydłami może w pierwszym momencie nie brzmieć jak coś nietypowego. Znane są obrazki z czasów pierwszej wojny światowej, kiedy to służbę pełniły dwupłaty, czyli samoloty ze skrzydłami umieszczonymi nad sobą (rysunek 5). Koncepcja tandem wing opiera się jednak na zgoła innym założeniu – zamiast umieszczać skrzydła jedno nad drugim, umieszczamy je jedno ZA drugim. Taki samolot będzie zatem wyglądał jak samolot w konfiguracji konwencjonalnej, tyle że „usterzenie” będzie tej samej wielkości co skrzydło i oba będą się znajdować blisko siebie (rysunek 6). W tandem wingu skrzydła mogą być położone na innej wysokości tak samo jak w dwupłacie, jednak nie jest to warunek konieczny.



Rysunek 5. Dwupłat – samolot z dwoma skrzydłami jedno nad drugim. Źródło: [8].



Rysunek 6. Przykładowe samoloty w konfiguracji tandem wing. Źródło: [9-11].

Skoro tandem wing to „trochę konwencjonalny samolot”, to na czym polega różnica? Otóż połączenie faktów, że dwa skrzydła są tak blisko siebie i że są mniej więcej tej samej wielkości sprawia, że zaczynają one w znaczącym stopniu wpływać na siebie nawzajem, co w diametralny sposób zmienia to, jak działają. To prowadzi do wielu potencjalnych zalet tandem winga, jak:

- zmniejszenie oporu (czyli zmniejszenie zużycia paliwa),
- zmniejszenie rozpiętości skrzydeł (czyli samolot jest bardziej zwarty i struktura skrzydeł może być lżejsza),
- opóźnienie zjawiska przeciągnięcia (co – w wielkim skrócie – zwiększa bezpieczeństwo),
- skrócenie drogi startu (co pozwala na zmniejszenie rozmiaru lotnisk i zmniejsza zużycie opon samolotu).

Co jednak dokładnie kryje się za stwierdzeniem, że tandem wing „działa inaczej” niż konwencjonalny samolot? Najprościej można powiedzieć, że skoro ma on dwa razy więcej skrzydeł, to też lata on „dwa razy bardziej”. Dwa razy bardziej – bo zjawiska, które w zwykłym samolocie pojawiają się na jednym skrzydle, tu będą występować dwukrotnie. A to ma swoje odzwierciedlenie we wspomnianym już wzajemnym wpływie skrzydeł na siebie.

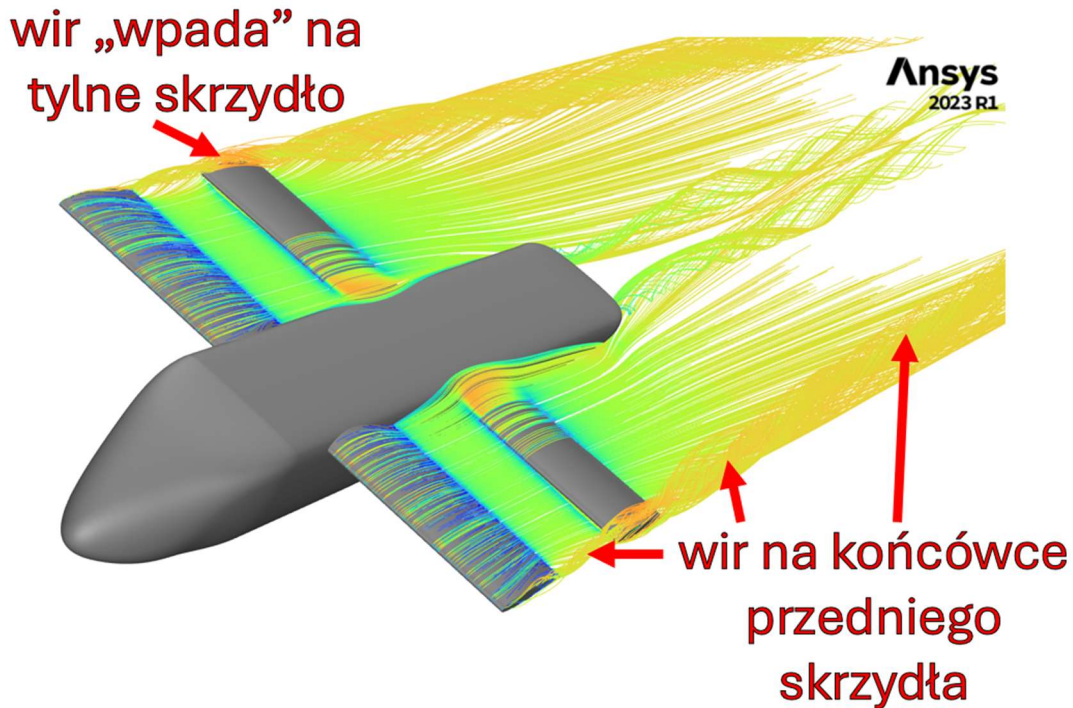
Dobrym przykładem jest znane w lotnictwie zjawisko powstawania wirów na końcówkach skrzydeł, które potem ciągną się za samolotem (rysunek 7). Jest to jeden z powodów, czemu samoloty nie mogą lądować za sobą w zbyt małym odstępie czasowym – wiry te bowiem mogą zaburzać przepływ powietrza na kolejnym samolocie, co już w historii lotnictwa doprowadzało do katastrof [12-14]. Warto o tym pamiętać, gdy następnym razem będziemy narzekać na to, dlaczego nasz samolot krąży nad lotniskiem zamiast od razu wylądować.



Rysunek 7. Przykład wizualizacji wirów za samolotem z wykorzystaniem dymu. Źródło: [12].

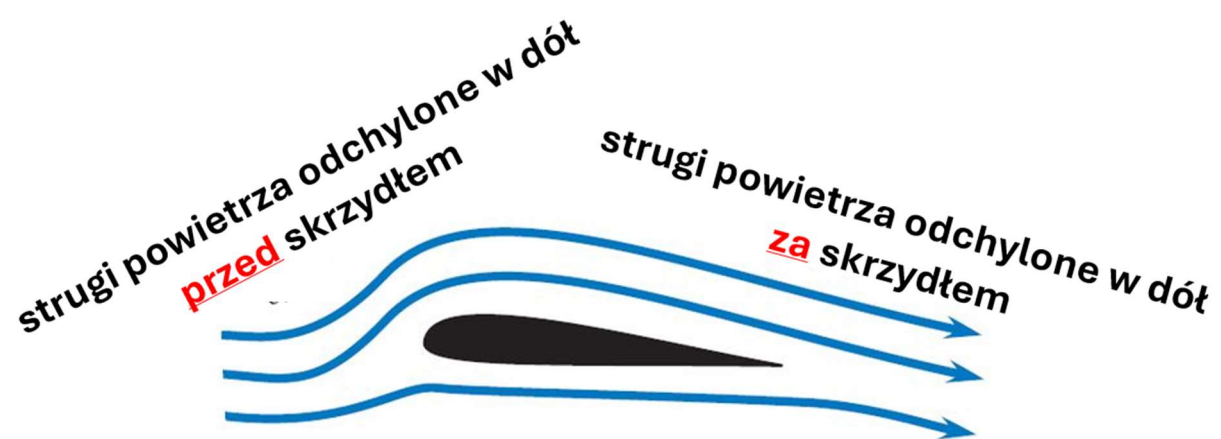
Wracając jednak do tematu tandem winga – niewielka odległość między skrzydłami oraz ich podobny rozmiar sprawiają, że wiry sphywające z końcówek przedniego skrzydła wpływają na opływ drugiego, tylnego skrzydła (rysunek 8). Jest to sztandarowy przykład tego, jak skrzydła wpływają na siebie w tandem wingu. Takiego wpływu nie można pominąć w obliczeniach ani uwzględnić w żaden prosty sposób, tak jak robi się to w przypadku wpływu skrzydła na usterzenie w konfiguracji konwencjonalnej. Zamiast tego konieczne są skomplikowane obliczenia w specjalistycznych programach komputerowych lub – a nawet przede wszystkim – wykonanie badań na fizycznie zbudowanym obiekcie.





Rysunek 8. Wir na końcówce za przednim skrzydłem (z lewej i z prawej strony) w tandem wingu. Rysunek wygenerowany w programie Ansys Fluent, służącym do zaawansowanych obliczeń przepływowych. Źródło: opracowanie własne.

Wyjaśnienie kolejnej kwestii dotyczącej tandem winga wymaga wpierv odpowiedzi na podstawowe pytanie: dlaczego samolot lata? Sprawa ta nie jest błaha, istnieje bowiem wiele różnych podejść do opisu zjawisk pozwalających na lot maszyny cięższej od powietrza. Nie wdając się przesadnie w szczegóły, opis ten można oprzeć na przykład o III zasadę dynamiki Newtona. Dla tego konkretnego przypadku znaczy to tyle: samolot lata, bo „naciska” na powietrze pod sobą, a w odpowiedzi powietrze „naciska” na samolot. Choć każdy znawca skrytykuje tak uproszczone podejście, na potrzeby naszej analizy jest ono wystarczające. Wynika z tego istotny fakt: skoro samolot „naciska” na powietrze, to strugi powietrza muszą zostać przez niego odchylone w dół. Co więcej, strugi te będą odchylone nie tylko za skrzydłem, ale również przed nim (rysunek 9). Mamy tu zatem sytuację, którą w pierwszym momencie trudno sobie wyobrazić: skrzydło wpływa na to, co się dzieje PRZED nim – czyli wpływa na zachowanie cząsteczek powietrza w miejscu, do którego samolot jeszcze nie zdążył dolecieć! A co to oznacza w kontekście tandem winga?



Rysunek 9. Widok na skrzydło od boku i strugi powietrza opływające skrzydło. Źródło: opracowanie własne na podstawie [15].

Po pierwsze – i bardziej oczywiste – przednie skrzydło odchyła w dół strugi powietrza za sobą, co wpływa na tylne skrzydło. Ale po drugie – tylne skrzydło odchyła w dół strugi powietrza przed sobą, co wpływa na przednie skrzydło. Mamy tu więc sytuację wysoce skomplikowaną – dwa obiekty równocześnie wpływają na siebie nawzajem. Dla bardziej dociekliwych, możemy ten wpływ rozbić na etapy:

- 1) Powietrze najpierw trafia na przednie skrzydło.
- 2) Przednie skrzydło odchyła za sobą strugi powietrza w dół.
- 3) Powietrze dociera do tylnego skrzydła i opływa je inaczej niż przednie.
- 4) Tylne skrzydło odchyła przed sobą strugi powietrza w dół.
- 5) Opływ wokół przedniego skrzydła się zmienia.
- 6) Przednie skrzydło odchyła za sobą strugi powietrza trochę mniej niż w punkcie 2.
- 7) Powietrze zaczyna inaczej opływać tylne skrzydło.
- 8) Tylne skrzydło odchyła przed sobą strugi powietrza trochę bardziej niż w punkcie 4.
- 9) Opływ wokół przedniego skrzydła się zmienia.
- 10) Przednie skrzydło odchyła za sobą strugi powietrza trochę bardziej niż w punkcie 6.
- 11) Powietrze zaczyna inaczej opływać tylne skrzydło.
- 12) Tylne skrzydło odchyła przed sobą strugi powietrza trochę mniej niż w punkcie 8.
- 13) Opływ wokół przedniego skrzydła się zmienia.
- 14) Przednie skrzydło odchyła za sobą strugi powietrza trochę mniej niż w punkcie 10.
- 15) Powtórz punkty 7-14 – i tak w nieskończoność... a może kiedyś to się skończy?

Mówiąc w skrócie: w tandem wingu skrzydła wpływają na siebie w bardzo skomplikowany sposób. A przecież to, co zostało opisane powyżej, to tylko jeden przykład z wielu. I tu dochodzimy do sedna sprawy, czyli do odpowiedzi na pytanie: dlaczego nad naszymi głowami nie latają hordy tandem wingów?

Mimo wymienionych wcześniej zalet, tandem wingi mają oczywiście swoje wady. Ale niezaprzeczalnie największym ze wszystkich problemów jest to, że wciąż bardzo niewiele o nich wiemy. Badania na temat tandem wingów pozostają skromne z powodu skomplikowanej analizy tej niekonwencjonalnej konfiguracji. Praca, którą należałoby włożyć w zbadanie, czy sugerowane zalety tandem winga są w praktyce osiągalne, jest olbrzymia. A trudno jest na tym etapie ocenić, czy jest to praca opłacalna.

Lecz na pewno nie jest to praca niewykonalna. Dawniej konstruktorzy musieli borykać się z wieloma problemami wynikającymi z niezrozumienia tego, jak tandem wing działa, bo nie mieli możliwości szczegółowego zbadania, jak skrzydła wpływają na siebie. W dzisiejszych czasach mamy dostęp do zaawansowanych metod obliczeniowych wykorzystujących projektowanie komputerowe. Nie musimy koniecznie badać fizycznego obiektu, by dowiedzieć się, jak on działa.

Pozostaje jednak pytanie: czy tandem wing, w którym zachodzą zjawiska bardziej skomplikowane niż w konwencjonalnym samolocie, jest analizowany poprawnie przez programy komputerowe? Czy jesteśmy w stanie poprawnie zbadać tandem winga, w którym skrzydeł jest dwa razy więcej i zjawiska są „podwójne”? Pewne jest, że konfiguracja konwencjonalna w którymś momencie stanie się niewystarczająca. A co ją zastąpi? Czy może to być samolot, który „lata dwa razy bardziej”? Czas pokaże...

## Bibliografia

1. *Cessna, 172, Nature Image*, <https://pixabay.com/photos/cessna-172-landing-pilot-aircraft-5331171/>.
2. *Plane, Land, Approach image*, <https://pixabay.com/photos/plane-land-approach-travel-3524387/>.
3. *Spitfire, Air show, Plan image*, <https://pixabay.com/photos/spitfire-air-show-plan-2206592/>.
4. *Aircraft, Fighter jet, Flying image*, <https://pixabay.com/photos/aircraft-fighter-jet-flying-flight-63028/>.
5. *Plane, Engine, Passengers image*, <https://pixabay.com/photos/plane-engine-passengers-turbine-1327820/>.
6. Gelzer C., *X-48B Blended Wing Body*, <https://www.nasa.gov/aeronautics/x-48b/>.
7. *Plane, Velocity, Experimental image*, <https://pixabay.com/photos/plane-velocity-experimental-canard-3401189/>.
8. *Biplane, Airplane, Plane image*, <https://pixabay.com/photos/biplane-airplane-plane-oldtimer-74557/>.
9. Bowman C., *Top Five Tandem-Wing Aircraft*, [https://www.jetsprops.com/prototype/top-five-tandem-wing-aircraft.html?expand\\_article=1&utm\\_content=cmp-true](https://www.jetsprops.com/prototype/top-five-tandem-wing-aircraft.html?expand_article=1&utm_content=cmp-true).
10. Pou du Ciel HM-14, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pou\\_du\\_Ciel\\_HM-14.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pou_du_Ciel_HM-14.jpg).
11. Couche D., *Rutan Quickie*, [https://www.hyperscale.com/2020/reviews/kits/brengunbrs48012reviewdc\\_1.htm](https://www.hyperscale.com/2020/reviews/kits/brengunbrs48012reviewdc_1.htm).
12. Schwarz C., Fischenberg D., *Wake turbulence hazard analysis for a general aviation incident*, <https://www.dglr.de/publikationen/2014/340177.pdf>.
13. Beresnevičius R., *Wake Turbulence From Airbus A320 Caused A Fatal Light Aircraft Crash*, <https://simpleflying.com/fatal-light-aircraft-crash-caused-by-airbus-a320-wake-turbulence/>.
14. Gosai H., *30 Years Later: In-N-Out Burger and Boeing 757 Wake Turbulence*, <https://airlinegeeks.com/2023/12/15/in-n-out-and-boeing-757-wake-turbulence/>.
15. Saleem S., *Let's talk about Upwash*, [https://www.linkedin.com/posts/sarah-mirza123\\_lets-talk-about-upwash-and-downwash-and-activity-7116630648039124992-YJku](https://www.linkedin.com/posts/sarah-mirza123_lets-talk-about-upwash-and-downwash-and-activity-7116630648039124992-YJku).