



1. Dlaczego samolot lata?

Andrzej Łączek

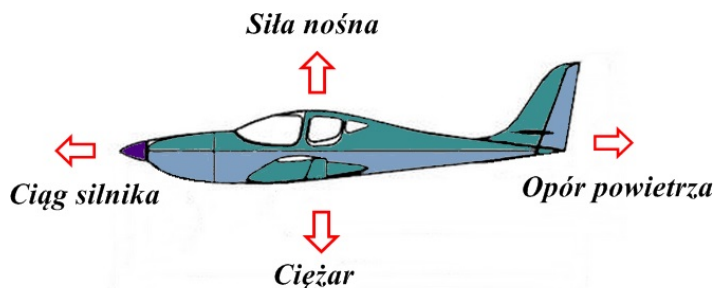
1.1 Wstęp

Skonstruowanie maszyny, która mogłaby wznieść się w powietrze było dla człowieka, od setek lat, czymś niemożliwym do wykonania. Pierwsze próby stworzenia maszyny latającej podejmował, już w XV wieku, znany wszystkim wynalazca i konstruktor Leonardo da Vinci. Wielu twierdziło, że zbudowanie maszyny latającej, cięższej od powietrza, jest sprzeczne z prawami fizyki. Po wielu latach okazało się, że nie trzeba łamać praw fizyki, tylko lepiej je poznać i odpowiednio wykorzystać. Udowodnili to w 1903 roku bracia Wright, którzy po raz pierwszy wzbili się swoim samolotem w powietrze i przelecieli dystans 37 metrów. Od tego momentu rozwój lotnictwa postępował niemalże z dnia na dzień. W Europie pionierem lotnictwa był Francuz Louis Bleriot. Przeleciał on w 1909 roku nad kanałem La Manche, pokonując dystans 41 km. Dziś nie dziwi już nikogo widok samolotu lecącego z prędkością prawie 1000 km/h, na wysokości kilku lub nawet kilkunastu kilometrów i pozostawiającego na niebie białe smugi. Jak to się dzieje, że samolot ważący nawet kilkaset ton (najcięższy samolot świata, Antonow An-225 Mrija, posiadał masę startową 640 ton) potrafi wzbić się w powietrze i przelecieć na inny kontynent w kilka godzin. Jak to jest możliwe?



1.2 Aerodynamika

Spójrzmy na to od strony fizyki i zastanówmy się, jakie siły działają na samolot? Po pierwsze, najbardziej niekorzystną siłą, jaka działa na samolot, jest **siła ciężkości** związana z grawitacją i ciężarem maszyny (rys. 1.1). Siła ta jest skierowana w dół i „ciągnie” samolot ku Ziemi.



Rysunek 1.1: Siły działające na samolot

Aby samolot unosił się w powietrzu musi działać na niego tak zwana **siła nośna**, zwrócona przeciwnie do siły ciężkości, czyli do góry. Siła ta musi przewyciężyć siłę ciężkości. Kluczową rolę odgrywają tu skrzydła samolotu, ich kształt i profil. Skrzydła stanowią główny element konstrukcyjny samolotu i to właśnie na nich wytwarzana jest siła nośna. Powstaje ona na skutek ruchu powietrza względem, odpowiednio wyprofilowanych, skrzydeł samolotu, nachylonych do kierunku lotu pod pewnym kątem, zwanym kątem natarcia (rys. 1.2).



Rysunek 1.2: Rozkład sił działających na skrzydło samolotu

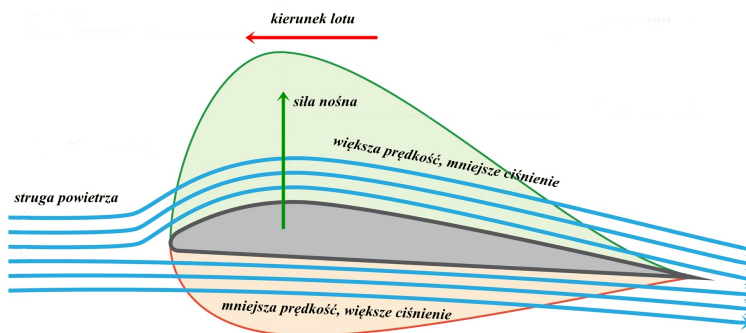
Chcąc stworzyć urządzenie, które wytworzy siłę nośną znacznie przewyższającą siły oporu, należy przede wszystkim odpowiednio ukształ-

tować opływającą powierzchnię. Kształty, które spełniają to wymaganie nazywa się **profilami aerodynamicznymi**. W przekroju, skrzydło ma kształt profilu lotniczego, pokazanego na rysunku 1.3.



Rysunek 1.3: Przykładowy profil skrzydła lotniczego

Z praw fizyki wiemy, że cząsteczki powietrza przemieszczają się zawsze z miejsca o wyższym ciśnieniu do miejsca o niższym ciśnieniu. Opływające skrzydło powietrze dzieli się na dwie strugi, z których jedna przepływa nad skrzydłem samolotu, a druga pod skrzydłem. Powietrze opływające skrzydło od góry przebywa dłuższą drogę, porusza się więc z większą prędkością, niż powietrze opływające skrzydło z dołu. Powietrze, które ma większą prędkość, czyli na górze skrzydła, będzie wytwarzało mniejsze ciśnienie statyczne, niż powietrze na dole. W związku z czym, ciśnienie u dołu skrzydła mocniej napiera na skrzydło, niż ciśnienie z góry skrzydła. W rezultacie otrzymujemy potrzebną do lotu siłę nośną, która jest bezpośrednio wynikiem ciśnień, występujących na i pod powierzchnią skrzydła (rys. 1.4).



Rysunek 1.4: Nad skrzydłem strumień powietrza porusza się szybciej niż pod skrzydłem

Aby wytworzyć taką siłę, konieczny jest więc ruch powietrza opływającego skrzydła. Dlatego samolot, aby wznieść się w powietrze, najpierw musi nabrać odpowiednio dużej prędkości. Jest to realizowane przy pomocy silników, które wytwarzają konieczną do napędu

samolotu siłę ciągu i napędzają samolot zarówno podczas startu, jak i całego lotu. Siła ciągu musi być na tyle duża, aby przewyciężyć siły oporu i rozpędzić samolot do odpowiedniej prędkości. Zatem zgodnie z zasadą względności ruchu, jeśli samolot porusza się w jednym kierunku, to powietrze przesuwa się w przeciwną stronę. Tak więc jednym z najważniejszych czynników, wpływających na siłę nośną jest ruch powietrza z obu stron skrzydeł. Zatem w największym uproszczeniu - powietrze opływające skrzydło dzieli się zasadniczo na dwa strumienie, z których jeden przepływa nad profilem, a drugi pod nim. Jeżeli powietrze na górze ma do przebycia inną drogę, niż na dole (z powodu różnicy geometrii), będzie to skutkowało występowaniem różnej prędkości powietrza w obu strumieniach. Różnica prędkości oznacza z kolei różnicę ciśnień, a ta powoduje wystąpienie siły nośnej, nazywanej też siłą aerodynamiczną.

Na podstawie znajomości tego zjawiska możemy wnioskować, iż siły aerodynamiczne, działające na skrzydła samolotu zależą od:

- kształtu profilu oraz jego ustawienia względem kierunku opływu,
- powierzchni skrzydła,
- gęstości powietrza,
- prędkości lotu.

Innym ważnym czynnikiem jest nachylenie skrzydeł w stosunku do opływającego je powietrza. Ponieważ skrzydła samolotu nachylone są do kierunku lotu pod pewnym kątem, zwanym kątem natarcia, to w wyniku tego, napływające powietrze zmienia swój pęd w kierunku prostopadłym do tego ruchu.

1.3 Ćwiczenia

W oparciu o powyższe informacje zrobimy kilka doświadczeń i zaobserwujemy, jak zachowują się kartki papieru, gdy wymusimy szybszy przepływ powietrza po jednej stronie kartki. Materiały potrzebne do wykonania ćwiczeń to dwie kartki papieru, kilka książek oraz suszarka do włosów, czyli przedmioty, które na pewno masz w swoim domu.

Ćwiczenie 1.1

Przebieg: lekko wygiętą kartkę papieru umieszczamy tak, aby większa jej część zwisała swobodnie w dół. Dmuchamy silnie wzdłuż górnej powierzchni kartki w kierunku poziomym i widzimy, że kartka unosi się w górę (rys. 1.5). Dlaczego tak się dzieje?

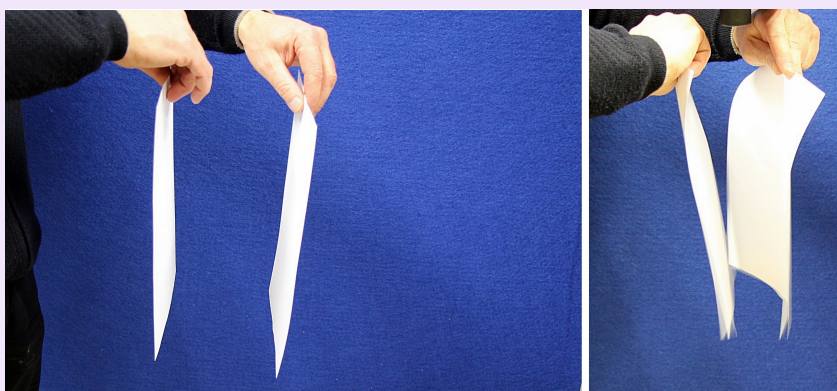


Rysunek 1.5: Ćwiczenie 1

Objaśnienie: jeśli dmuchamy na kartkę od góry poziomo to ciśnienie statyczne u góry jest małe i kartka podnosi się do góry. Między innymi ten efekt powoduje, że samolot unosi się do góry. ■

Ćwiczenie 1.2

Przebieg: dwie kartki papieru trzymamy obok siebie tak, aby zwiślały pionowo w dół. Silnie dmuchamy między kartki. Widzimy, że kartki zbliżają się do siebie (rys. 1.6). Dlaczego tak się dzieje?



Rysunek 1.6: Ćwiczenie 2

Objaśnienie: kiedy dmuchamy między dwie kartki to między nimi wytwarzane jest małe ciśnienie statyczne, a ciśnienie atmosferyczne z zewnętrznej strony ściska kartki do siebie. ■

Ćwiczenie 1.3

Przebieg: kartkę papieru kładziemy płasko na dwóch podporach. Dmuchaemy silnie pod kartkę i widzimy, że kartka wygina się do dołu (rys. 1.7). Dlaczego tak się dzieje?



Rysunek 1.7: Ćwiczenie 3

Objaśnienie: w momencie, gdy dmuchamy pod kartkę wytwarza się pod nią małe ciśnienie statyczne i kartka przyciskana jest do dołu, przez wyższe ciśnienie na górnej powierzchni kartki. ■

Doświadczenia te obrazują zjawisko występowania różnicy ciśnień po obu stronach kartki, spowodowane szybciej przepływającym powietrzem po jednej ze stron. Prawo fizyki, dzięki któremu tak się dzieje, to **prawo Bernoulliego**. Jest ono podstawowym prawem fizyki, które znajduje zastosowanie w lotnictwie.

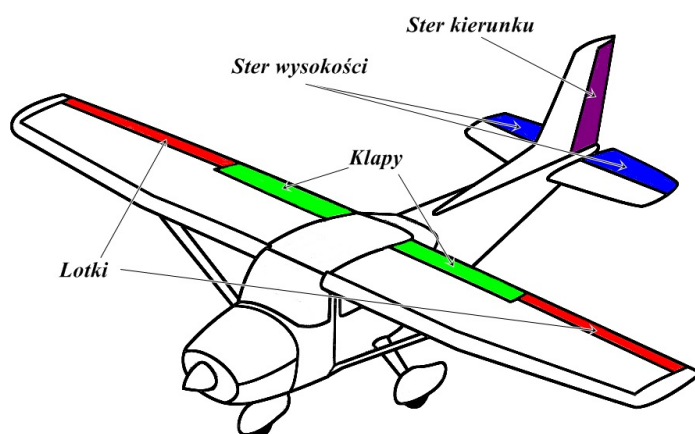
Definicja 1.1 — Prawo Bernoulliego. Mówi nam, że suma ciśnienia statycznego (zwykle ciśnienie) i dynamicznego w danej strudze płynu lub gazu jest stała.

Na przykład, gdy dmuchamy, to poruszające się powietrze wytwarza duże ciśnienie dynamiczne, w wyniku czego ciśnienie statyczne w okolicach poruszającego się powietrza jest małe. Siła nośna skrzydeł samolotów w rzeczywistości jest zależna od wielu różnych czynników, ale w każdym przypadku prawo Bernoulliego znajduje tu zastosowanie.

1.4 Sterowanie samolotem

Wiemy już, jak to się dzieje, że samoloty i inne statki powietrzne, cięższe od powietrza, potrafią latać. Jednak lot samolotu nie może się odbywać bez nadzoru, a pilot, który steruje maszyną musi mieć wpływ na wszystkie jego parametry, tzn. na kierunek lotu, wysokość,

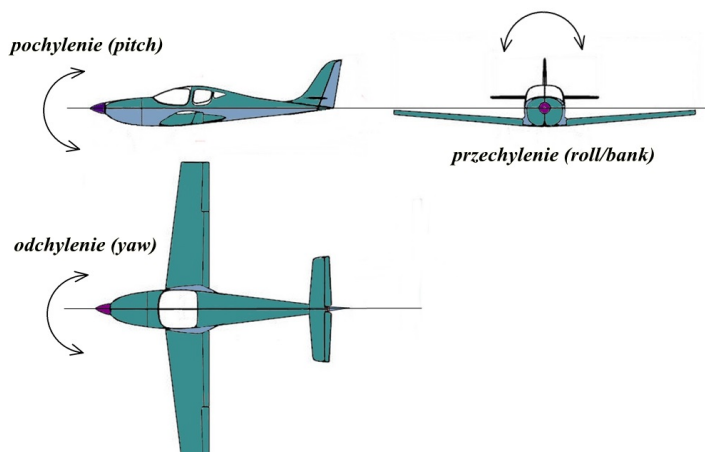
prędkość itp. Do sterowania lotem samolotu służą tzw. powierzchnie sterowe, umieszczone na zewnątrz maszyny (rys. 1.8). Odpowiednie ustawienie tych części, umożliwia obrót samolotu wokół dowolnej osi współrzędnych. Do głównych powierzchni sterowych zaliczamy: ster wysokości, ster kierunku - znajdujące się w części ogonowej samolotu - oraz lotki i klapy, które znajdują się na skrzydłach. Zmieniając położenie powierzchni sterowych (sterów), zmieniamy kierunek i prędkość opływu powietrza tych elementów, a tym samym zmieniamy ich siłę nośną. Powoduje to, że samolot zmienia swoje położenie w przestrzeni.



Rysunek 1.8: Główne powierzchnie sterowe samolotu

Zanim jednak dowiemy się, jak działają stery samolotu, musimy zapoznać się z kilkoma podstawowymi pojęciami, takimi jak:

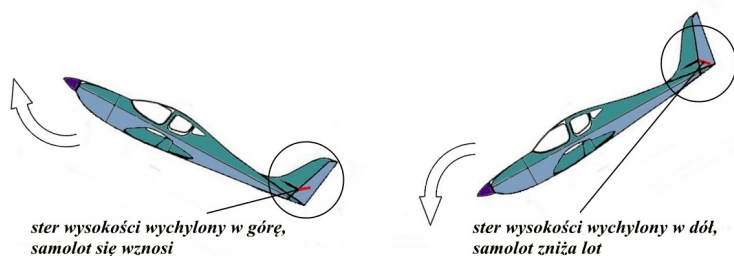
- pochylenie – jest to obrót wokół osi poprzecznej. Kiedy odchylamy ster wysokości do góry, wówczas część ogonowa samolotu ulega obniżeniu, co powoduje ustawienie samolotu w pozycję wznoszenia (rys. 1.9 i 1.10);
- odchylenie – obrót wokół osi pionowej. Pozycję samolotu w tej osi zmieniamy przy pomocy steru kierunku (rys. 1.9 i 1.11);
- przechylenie – jest to obrót wokół osi biegnącej wzdłuż samolotu, ruch ten realizowany jest głównie za pomocą lotek (rys. 1.9 i 1.12). Przechylenie następuje na skutek zwiększenia siły nośnej na jednym ze skrzydeł, a zmniejszenia jej na drugim.



Rysunek 1.9: Ruch kątowe samolotu

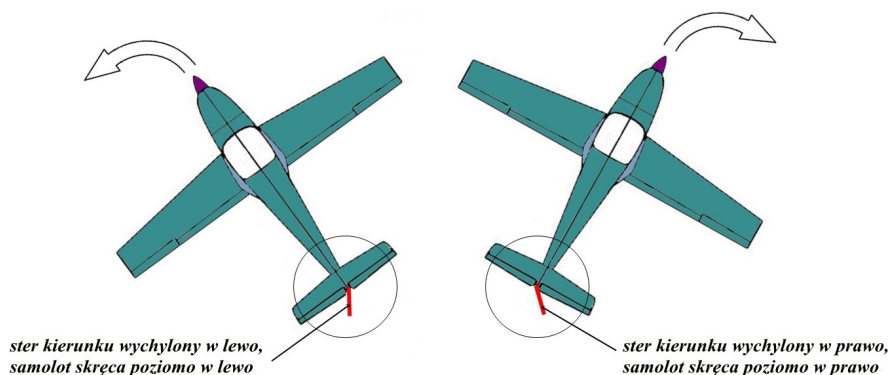
Teraz, kiedy już wiemy na czym polega różnica pomiędzy pochyleciem, przechyleniem, a odchyleniem, przyjrzyjmy się bliżej, jak działają stery samolotu i jaki wpływ ma zmiana ich położenia na lot samolotu.

1. *Ster wysokości* - służy do zmiany wysokości lotu. Zmiana jego położenia powoduje pochylecie samolotu w górę lub w dół.



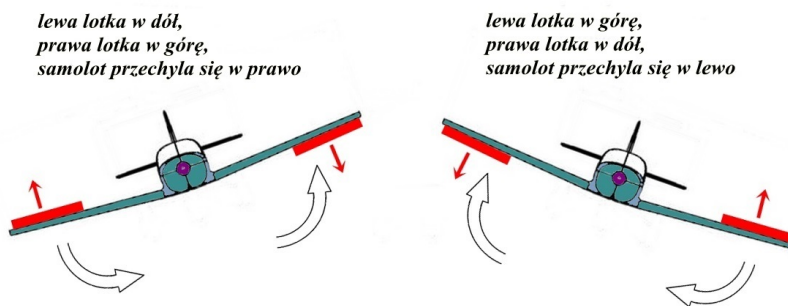
Rysunek 1.10: Działanie steru wysokości

2. *Ster kierunku* - służy do zmiany kierunku lotu. Wychylenie steru w lewo lub w prawo powoduje odchylenie samolotu od kierunku lotu.



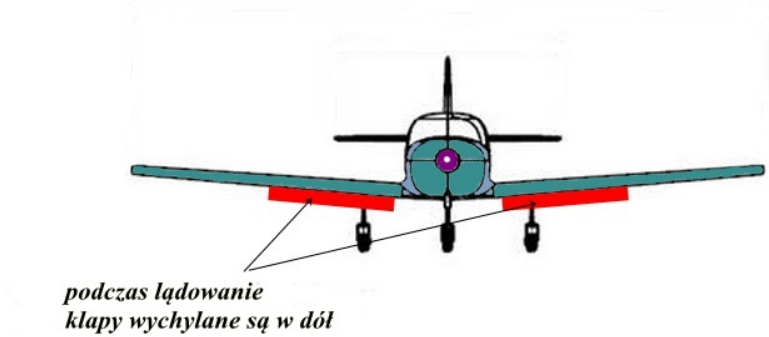
Rysunek 1.11: Działanie steru kierunku

3. *Lotki* - służą do przechylenia samolotu w lewo lub w prawo i umożliwiają wprowadzenie samolotu w zakręt. Lotki działają naprzemiennie. Podczas, gdy prawa lotka wychyla się w górę, to lewa wychyla się w dół i odwrotnie.



Rysunek 1.12: Sposób działania lotek

4. *Kłapy* - umieszczone są na skrzydłach między lotkami, a kadłubem samolotu (rys. 1.13). Wykorzystuje się je do wytworzenia dodatkowej siły nośnej w czasie, gdy samolot leci ze zmniejszoną prędkością, np. podczas lądowania. W przeciwieństwie do lotek, kłapy wychylają się w tę samą stronę, dokładnie o ten sam kąt i w tym samym czasie, by nie powodować obrotu samolotu.



Rysunek 1.13: Widok wychylonych klap

1.5 Co to jest awionika pokładowa i do czego służy?

Aby pilot miał podgląd na aktualne parametry lotu oraz na stan działania wszystkich urządzeń pokładowych, współczesne samoloty są wyposażone komputery pokładowe, a kokpit w różnego rodzaju wskaźniki, przełączniki i kontrolki (rys. 1.14).



Rysunek 1.14: Kokpit nowoczesnego samolotu

Zespół przyrządów i wskaźników elektronicznych w kokpicie samolotu nazywamy awioniką. Samo słowo AWIONIKA posiada kilka definicji. Może to być:

- ogół urządzeń elektronicznych w samolocie,

- nauka zajmująca się zastosowaniem elektroniki w lotnictwie i astronautyce,
- dział lotnictwa,
- elektronika lotnicza,
- lotnicze oprzyrządowanie elektroniczne,
- wyposażenie elektroniczne samolotu.

Podstawowe przyrządy (niezbędne w każdych warunkach), jakie możemy spotkać w kokpicie samolotu to przede wszystkim: sztuczny horyzont, prędkościomierz, wariometr, wysokościomierz i wskaźnik kursu. Przyjrzyjmy się bliżej co to za instrumenty.

Sztuczny horyzont jest to lotniczy przyrząd, służący do określenia orientacji przestrzennej statku powietrznego względem płaszczyzny horyzontu lokalnego. Pokazuje kąt pochylenia i przechylenia samolotu (rys. 1.15). Dzięki temu przyrządowi możemy poznać położenie przestrzenne maszyny.



Rysunek 1.15: Sztuczny horyzont

W sztucznym horyzoncie niebieskie tło symbolizuje niebo, natomiast brązowy obszar oznacza Ziemię. Wskazówka pozwala na odczyt kąta pochylenia, oznaczonego poziomymi kreskami na wskaźniku oraz kąta przechylenia, możliwego do odczytania dzięki kreskom umieszczonym na okręgu tarczy.

Wysokościomierz jest to przyrząd pokładowy, stosowany w praktycznie wszystkich rodzajach statków powietrznych, a także w sportach uprawianych w zróżnicowanym terenie. Jest to czuły manometr wskazujący wysokość, dzięki pomiarowi ciśnienia powietrza i wyskalowany w metrach, stopach lub kilometrach (rys. 1.16).



Rysunek 1.16: Wysokościomierz

Prędkościomierz to urządzenie, pozwalające określić prędkość statku powietrznego poprzez pomiar różnicy ciśnienia statycznego i całkowitego (rys. 1.17). Często na prędkościomierzu zaznaczone są zakresy prędkości według odpowiedniego klucza kolorów:

- kolor biały to zakres prędkości, w którym używa się klap;
- kolor zielony to standardowe prędkości przelotowe (użytkowe);
- kolor żółty to prędkości dopuszczalne, powyżej prędkości przelotowych;
- kolor czerwony to maksymalna dopuszczalna prędkość.



Rysunek 1.17: Prędkościomierz

Wariometr to, obok wysokościomierza i prędkościomierza, jeden z podstawowych przyrządów pokładowych, wykorzystywanych na wszystkich typach statków powietrznych - od lotni i parolotni do samolotów pasażerskich (rys. 1.18). Służy do wskazywania prędkości

pionowej statku, czyli prędkości wznoszenia się lub opadania. Działa na zasadzie pomiaru zmieniającego się ciśnienia statycznego.



Rysunek 1.18: Wariometr

Wskaźnik kursu to przyrząd, pozwalający określić kierunek, w którym zmierza samolot. Najczęściej ma on postać okrągłej tarczy, na której widnieją oznaczenia kursu samolotu oraz wskaźnik, który często ma postać sylwetki samolotu (rys. 1.19).



Rysunek 1.19: Wskaźnik kursu lotu

Aby ograniczyć miejsce zajmowane na tablicy przyrządów i ułatwić pilotowi odczyt parametrów lotu, często wykorzystuje się zintegrowane systemy wskaźników, tzn. takie, gdzie kilka informacji można odczytać z jednego urządzenia. Często stosuje się je w postaci instrumentów pilotażowych przedstawionym na rysunku 1.20.



Rysunek 1.20: Zintegrowany system wskaźników

Na przedstawionym instrumencie centralne miejsce zajmuje sztuczny horyzont. Pozostałe elementy to np. po prawej stronie wysokościomierz, na którym możemy odczytać informację o aktualnej wysokości lotu, po lewej natomiast prędkościomierz, wraz z informacją dotyczącą zakresów dopuszczalnych prędkości.

1.6 Podsumowanie

Wiemy już teraz jak i dlaczego samoloty latają, a wsiadając do nich nie będziemy się dziwić, że mimo swojego dużego ciężaru potrafią wzbąć się w powietrze i przelecieć na inny kontynent, pokonując tysiące kilometrów. To dzięki zastosowaniu praw fizyki i osiągnięć współczesnej inżynierii możemy latać po całym świecie i cieszyć się możliwością wygodnego podróżowania.