

PRZYRZĄDY POKŁADOWE

Radosław Górzeński 2003

Podstawową funkcją przyrządów pokładowych jest dostarczanie pilotowi niezbędnych informacji na temat prędkości lotu, kursu, wysokości, wznoszenia, położenia w przestrzeni oraz informacji pozwalających na prowadzenie nawigacji i bezpiecznego pilotażu statku powietrznego a także ułatwianie podejmowania decyzji taktycznych.

W latach 20'tych w lataniu bazowano wyłącznie na odczuciach pilota, radzono sobie bez przyrządów pokładowych. Prędkość powietrza oceniano po wrażeniach słuchowych – śpiewie stalowych linek, trzepotaniu spodni itp. Wysokość oceniano wzrokowo, a wznoszenie po wciskaniu w siodełko.

Z czasem zaczęto wprowadzać pierwsze prymitywne przyrządy. Początkowo szybowce wyposażane były w prędkościomierz i wysokościomierz, z czasem także w wariometr. Przyrządy ułatwiały pilotaż zwłaszcza ze względu na zastosowanie zamkniętych kabin z celuloidowymi osłonkami i izolację od wpływów zewnętrznych, co powodowało znaczne utrudnienia w odbiorze wrażeń dźwiękowych. Pod koniec lat 30'tych w szybowcach instalowano także busolę, zakrętomierz i chyłomierz.



Wanda Modlibowska w szybowcu CWJ 1933r.

Podstawowy zestaw przyrządów wykorzystywany w szybowcu szkolno-treningowym to wysokościomierz, prędkościomierz, wariometr/-y, zakrętomierz, chyłomierz poprzeczny oraz busola. W szybowcach ultralekkich niekiedy ogranicza się go do trzech przyrządów: wysokościomierza, prędkościomierza, wariometru. Przyrządem, często traktowanym przez teoretyków z przymrużeniem oka jest ickę, tak doceniany na zawodach przez pilotów szybowcowych.

Od lat 40'tych trwały prace mające na celu udoskonalenie metod kompensacji wariometru energii całkowitej, który w lotach szybowcowych jest praktycznie podstawowym, obok prędkościomierza, wysokościomierza i icki, przyrządem.

Zderzenia szybowców podczas krążenia we wspólnych kominach termicznych były przyczynkiem skonstruowania wariometrów akustycznych, które w powiązaniu z ickiem – nitką przyczepioną do owiewki kabiny zastępującą chyłomierz – pozwalają na oderwanie wzroku od przyrządów w krążeniu i skierowanie uwagi na otaczające szybowce. Prędkość szybowca pilot ocenia po natężeniu szumu powietrza oraz położeniu maski względem horyzontu.

Skonstruowanie wariometrów elektrycznych z wyjściem analogowym pozwoliło na stworzenie szerokiej gamy komputerów pokładowych i elektronicznych kalkulatorów dolotowych. Od kilkunastu lat piloci wykorzystują także odbiorniki GPS do prowadzenia nawigacji. Kolejnym krokiem było wprowadzenie elektronicznych metod dokumentacji przelotów w oparciu o rejestratory GPS i barograf elektroniczny eliminując w ten sposób erę klasycznych barografów i aparatów fotograficznych, czy jeszcze wcześniejszych metod: obserwatorów na ziemi, bramek i zrzuconych meldunków.

Obecnie w niemal każdym wyczynowym szybowcu można dostrzec komputery kieszonkowe Pocket PC wykorzystujące oprogramowanie współpracujące z odbiornikiem GPS i wariometrem elektrycznym, ułatwiające prowadzenie nawigacji i podejmowanie decyzji taktycznych. Często zdarza się, iż pilot latający wyczynowo na przeloty wozi ze sobą mapę lotniczą gdzieś za plecami w celu wykorzystania jej jedynie w razie awarii elektroniki.

Ja również latałem na żagielku i w pewnym momencie przelatujący w pobliżu SG-21 uderzył w skrzydło mojego CW-5. Zacząłem pikować. [...] Odrzuciłem limuzynę, wyrwałem



Tablica przyrządów szybowca Jantar std

tablicę przyrządów – która przedstawiała znaczną wartość – włożyłem ją ... pod pachę i odpiąłem pasy. „Poddusiłem” szybowiec, wyrwałem w górę, wykonałem półpętlę i gdy byłem na plecach – wyskoczyłem. Poczułem szarpnięcie linki wyzwalającej spadochron i po chwili zawisłem pod jego czaszą w powietrzu. [Bezmiechowa, 1939]

Błasiak S.: *Bolesław Kochanowski. Życie znaczy latać.* PLAR 10/98

W ofertach sprzedaży szybowców wymienia się kilka komponentów: sam szybowiec, wózek transportowy, spadochron i ... przyrządy. Choć prawdopodobnie nikt już dziś nie wyskoczy z szybowca z tablicą przyrządów pod pachą, niemniej zarówno ze względu na cenę jak i ich znaczenie, przyrządy są bardzo ważnym wyznacznikiem ogólnej klasy szybowca.

Skrypt omawia szczegółowo zagadnienia klasyfikacji, budowy i eksploatacji przyrządów pokładowych. Zakres skryptu jest znacznie szerszy od wymaganego na Teoretycznym Kursie Szybowcowym i może stanowić dodatkowe źródło informacji do nauki przed egzaminem PLKE na licencję szybowcową.

Dokumentacja

Nadzór nad eksploatacją statków powietrznych, a także przyrządów pokładowych sprawuje IKCSP – Inspektorat Kontroli Cywilnych Statków Powietrznych wchodzący w skład Urzędu Lotnictwa Cywilnego.

Przyrządy wykorzystywane w szybowcach powinny posiadać metryki określające typ, numer fabryczny, datę produkcji, resurs przyrządu, datę zabudowy do konkretnych szybowców i czasookresy pracy. Metryki przechowuje się wraz z pozostałą dokumentacją szybowca, instrukcją użytkowania w locie oraz książką płatowca, do której również wpisuje się typ i numery fabryczne zabudowanych przyrządów. W książce i metrykach dokonuje się wpisu o przeprowadzonym obowiązkowo co 18 miesięcy lub 300 godzin nalotu przeglądzie tablicy pokładowej i kontroli szczelności instalacji.

Całkowity okres eksploatacji przyrządu jest określany przez producenta jako tzw. resurs. Niekiedy przyrządy mogą być eksploatowane bez określonego ресурсu, na podstawie stanu technicznego.

W odróżnieniu od sytuacji panującej w krajach zachodnioeuropejskich, u naszych południowych sąsiadów czy też za oceanem, w Polsce dominuje rygorystyczne i

biurokratyczne podejście urzędników nadzoru do spraw związanych z montażem dodatkowych przyrządów. Powoduje to powstawanie absurdów, „partyzantki” i często patologicznych sytuacji zwłaszcza w przypadku tablic pokładowych szybowców wyczynowych.

Podział i błędy przyrządów

Klasyfikacji przyrządów pokładowych dokonuje się:

według przeznaczenia na:

- pilotażowo-nawigacyjne
- kontroli pracy silnika (np. obrotomierz, wskaźnik temperatur głowic lub oleju, ciśnienia oleju itp.),
- kontroli pracy płatowca (np. wskaźnik położenia klap, podwozia, ciśnienie powietrza itp.),
- specjalne,

według zasady działania na:

- manometryczne (barometryczne),
- żyroskopowe,
- magnetyczne,
- elektroniczne,

oraz według sposobu zasilania na:

- elektryczne,
- pneumatyczne.

Przyrządy podczas lotu podlegają działaniu otoczenia. Wpływ na dokładność wskazań mają m.in. temperatura, ciśnienie i wilgotność powietrza (a tym samym gęstość) oraz zmiany położenia, przyspieszenia, drgania płatowca itd. W celu eliminacji niekorzystnego wpływu otoczenia stosuje się różnorakie systemy zabezpieczeń: ze względu na ryzyko kondensacji pary wodnej elementy przyrządów są oksydowane lub lakierowane, stosuje się odstożniki wilgoci na przewodach ciśnieniowych. W celu eliminacji wpływu drgań przyrządy i tablice pokładowe montowane są na gumowych amortyzatorach. Dla kompensacji zmiennych temperatur wykorzystywane są wkładki termiczne o odpowiednim współczynniku wydłużalności liniowej.

Podstawowe problemy eksploatacyjne, które są typowe dla przyrządów zasilanych pneumatycznie to zatkanie oraz niewłaściwe ustawienie względem strug napływającego powietrza dajników ciśnienia, niedrożność lub nieszczelność przewodów ciśnienia, zawodnienie instalacji oraz oblodzenie dajników np. rurki Pitot’a (rozwiązaniem jest tu zwykle elektryczne podgrzewanie rurki).

Wskazania przyrządów są obarczone błędem stanowiącym różnicę pomiędzy wielkością rzeczywistą (mierzoną) a wskazywaną.

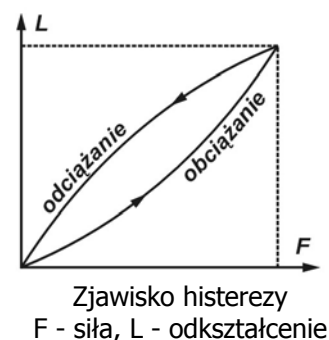
przyrząd	zakres	dokładność
W-10S-C	0÷10.000 m	±15 m dla 0 m, ±110 m dla 10.000 m
PR-250S-B	0÷250 km/h	±3 km/h w zakresie do 20 km/h, ±5 km/h w 20÷250 km/h
PR-400S-A	0÷400 km/h	±3 km/h w zakresie do 40 km/h, ±5 km/h w 40÷400 km/h
WRs-5E	±5 m/s	±7,5 % w temp. +20°C, ±15 % w temperaturze -30°C i +50°C
WRs-10	+10 m/s ÷ -6m/s	±0,2 m/s dla 0÷2m/s, ±0,4 m/s dla 2÷4 m/s ±0,9 m/s dla 4÷6 m/s, ±1,3 m/s dla 6÷10 m/s
WRs-30D	±30 m/s	±10 % dla 5 m/s, ±7 % dla 10 m/s, ±4 % dla 30 m/s

Rozróżniamy dwa rodzaje błędów przyrządów:

- **metodyczne**, wynikające z niedokładności w odtwarzaniu przez układ danego przyrządu zależności funkcjonalnej łączącej wielkość mierzoną z tą wielkością, na którą w rzeczywistości reaguje dany element pomiarowy. W przypadku wysokościomierza wielkością wskazywaną jest wysokość, wielkością mierzoną natomiast ciśnienie powietrza, które jest funkcją wysokości. Nieliniowość i nieproporcjonalność wielkości jest źródłem utrudnień przy konstruowaniu przyrządów,
- **instrumentalne**, pochodzące z niedoskonałości konstrukcji i technologii wytwarzania przyrządu oraz jego regulacji,
- **dynamiczne**, wynikające ze zmiennych obciążeń, przyspieszeń i drgań oddziałujących na przyrząd w czasie lotu,
- **odczytu**, np. błąd paralaksy wynikający z miejsca zabudowy w kabinie i obserwacji wskazówki względem tarczy pod różnym kątem, a także błędy wynikające z dokładności podziałki i kształtu wskaźnika oraz intensywności oświetlenia przyrządu.

Błędy instrumentalne dzielimy na:

- błąd **tarcia**, niemożliwy do wyeliminowania z mechanizmów ruchowych. Szczególnie widoczny błąd ten jest w wysokościomierzu szybowcowym, który ze względu na brak drgań płotowca (w odróżnieniu od drgań samolotów wyposażonych w silnik) wymaga częstego opukiwania z powodu znacznej złożoności mechanizmu przekazywania wielkości sygnału,
- **luzy**, związane z błędami tarcia jako ich antidotum; widoczne szczególnie w przypadku przyrządów żyroskopowych,
- **histereza**, występująca w urządzeniach z odkształcalnymi elementami sprężystymi (sprężyny, membrany). Histereza polega na odmiennym przebiegu odkształceń przy odciążeniu i obciążeniu elementu sprężystego. Histereza powiększa się po okresie dłuższego wyłączenia przyrządu z eksploatacji,
- błąd **termiczny**, wywołowany wpływem zmian temperatury otoczenia na wymiary części przyrządu, ich własności sprężyste oraz oporność cewek i przewodów elektrycznych,
- błąd **skalowania**, pojawiający się bądź to w zakładzie produkującym, bądź też podczas eksploatacji przyrządu na skutek zmian własności sprężystych elementów w wyniku starzenia się elementów lub wystawiania ich na duże przeciążenia w locie,
- błąd **położenia** wywołany nieodpowiednimi warunkami zabudowy samego przyrządu lub jego dajnika, np. nieodpowiednie ustawienie dajnika ciśnienia względem opływającej strugi powietrza bądź też niestaranny montaż chyłomierza lub zakrętomierza.

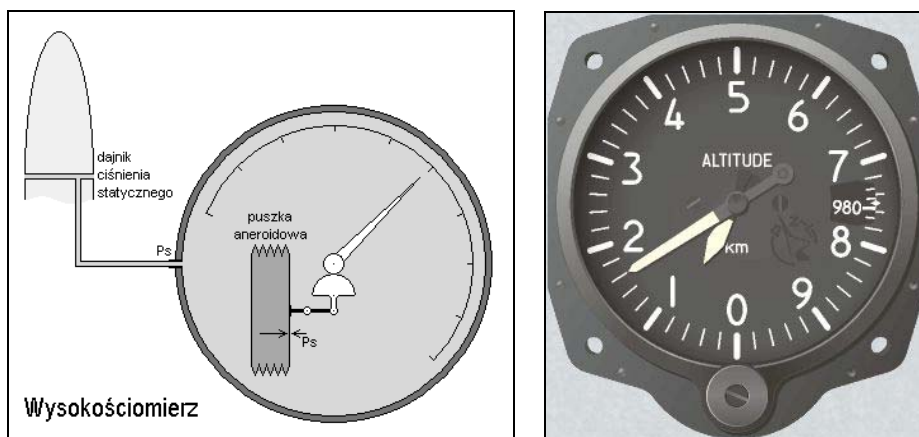


Wielkości poprawek dla błędów, których usunięcie jest niemożliwe, wykreśla się na specjalnych karteczkach, przyklejanych we wnętrzu kabiny. Dotyczy to prędkościomierza, wysokościomierza oraz busoli.

Wysokościomierz

Wysokościomierz barometryczny przeznaczony jest do wskazywania absolutnej lub względnej wysokości lotu szybowca. Serce przyrządu stanowi membranowa puszcza aneroidowa – szczelnie zamknięte elastyczne metalowe naczynie. Do obudowy przyrządu doprowadzane jest powietrze przewodem z dajnika ciśnienia statycznego. Wraz ze wzrostem wysokości maleje wielkość ciśnienia powietrza. Wskutek różnicy ciśnień –

powietrza zawartego w puszcze i otaczającego ciśnienia statycznego – następuje zwiększenie lub zmniejszenie objętości puszek i jej długości, co z wykorzystaniem przekładni jest przenoszone na ruch wskazówki. Bimetaliczny kompensator eliminuje wpływ zmian temperatury.



Wysokościomierz. Zasada działania [1]. Wysokościomierz W-10S-C [2].

Przykładem wysokościomierza wykorzystywanego w szybowcach jest W-10S-C. Wskazówka cieńsza i krótsza wskazuje liczbę kilometrów, wskazówka grubsza i dłuższa liczbę setek metrów. Na wysokości np. 1300 metrów wskazówka krótsza znajduje się pomiędzy cyfrą 1 a 2 (dokładnie w punkcie 1.3), natomiast wskazówka dłuższa przy cyfrze 3. Przyrząd pozwala na odczyt wysokości w zakresie 0÷10.000 m przy temperaturze od -55°C/+70°C. Podobnie jak większość polskich przyrządów szybowcowych produkowanych przez PZL Warszawa II (wariometrów, prędkościomierzy i wysokościomierzy) ma średnicę 80 mm.

Wysokość lotu jest pojęciem względnym. Wyróżniamy następujące rodzaje wysokości:

- wysokość względna, odległość od znajdującego się pod szybowcem podłoża,
- **QFE** (AGL – above ground level) wysokość mierzona względem ciśnienia lotniska,
- **QNH** (MSL – mean sea level) wysokość bezwzględna mierzona w stosunku do aktualnie panującego ciśnienia zredukowanego do poziomu morza,
- **QNE** (STD – standard) wysokość mierzona w stosunku do ciśnienia atmosfery standardowej (czyli do średniego ciśnienia na poziomie morza na 45° szerokości geograficznej przy 15°C wynoszącego 1013.25 hPa lub 760 mm Hg).

Należy pamiętać, iż wysokościomierz szybowcowy nie ma zalet radiowysokościomierza stosowanego np. na śmigłowcach i nie wskazuje dokładnej wysokości nad terenem, a jedynie wysokość względem ciśnienia panującego w danym momencie w danym punkcie o określonej wysokości. Często piloci wykonujące swoje pierwsze w życiu lądowanie w polu przypominają sobie o tym fakcie dopiero po przyziemieniu i ze zdziwieniem konstatują wskazanie wysokościomierza różne od zera.

Pokrętko usytuowane na spodzie przyrządu i widoczna w okienku podziałka wyskalowana w mm Hg lub hPa pozwalają na nastawę ciśnienia odniesienia w zakresie 980÷1050 hPa (670÷790 mm Hg) i dopasowanie wskazania wysokościomierza do wymaganego ciśnienia lub ciśnienia panującego aktualnie na poziomie interesującego nas lotniska.

Ze względu na wspomniane wcześniej błędy tarcia, luzu i złożoność mechanizmu przełożenia wielkości mierzonej na wskazywaną wskazówką wysokościomierza „zawiesza się” i przyrząd wskazuje wysokość różniącą się o kilkadziesiąt metrów od rzeczywistej (ok.

30m). W samolotach drgania silnika powodują automatycznie dopasowanie wskazówki, w szybowcach niezbędne jest „pukanie” palcem w szybkę wysokościomierza. Stosuje się to zwłaszcza na niższych wysokościach, np. na kręgu przed i po wprowadzeniu w zakręt.

Do dokumentacji przelotów stosuje się jeszcze ustępującą na rzecz rejestratora GPS metodę zapisu wysokości lotu z wykorzystaniem barografu, umieszczanego zwykle w bagażniku szybowca. Mechanizm przyrządu jest analogiczny jak w przypadku wysokościomierza. Na puszkę aneroidową oddziałuje ciśnienie otoczenia. Odształcenie puszki powoduje ruch wskazówki-igły poruszającej się po walcowym cylindrze, na który nawinięty jest okopcony sadzą papier. Cylinder napędzany mechanizmem zegarowym obraca się z prędkością np. 1 obrót na 6 godzin. Igła zapisuje na okopconym papierze wysokość lotu.



Barograf AD-2

Wysokość lotu może być mierzona także z wykorzystaniem elektronicznych czujników ciśnieniowych. Są one elementem wyposażenia m.in. elektronicznych przyrządów stosowanych do dokumentacji przelotów szybowcowych tzw. loggerów. W rejestratorze Volkslogger czujnik umożliwia pomiar w zakresie $-700/+13.000$ m, przy czym błąd np. na wysokości 11.000 m wynosi ± 60 m.

W odmienny sposób następuje pomiar wysokości w urządzeniach GPS (mierzony względem modelu ziemi – geoidy). Mapy cyfrowe terenu wykorzystywane w programach nawigacyjnych komputerów kieszonkowych Pocket PC współpracujących z odbiornikiem GPS umożliwiają wskazywanie wysokości względem poziomu terenu, nad którym znajduje się szybowiec.

Prędkościomierz

Upał był wtedy nieznośny. Lataliśmy rozebrani do pasa, lecz obowiązkowo w długich spodniach drelichowych. Nie wolno było latać w szortach. Długie spodnie, podobnie jak linki stalowe w konstrukcji szybowca, były prędkościomierzem. Gdy spodnie fruwały zbyt gwałtownie, a linki gwizdały przeraźliwie – znaczyło to zbyt dużą prędkość; gdy furkotanie było leniwe, a gwizdanie linek zanikało, to UWAGA - za chwilę stracisz prędkość i zwalisz się.

Buchwald B.: *Od Wrony do Spitfire'a*. Poznań 1999

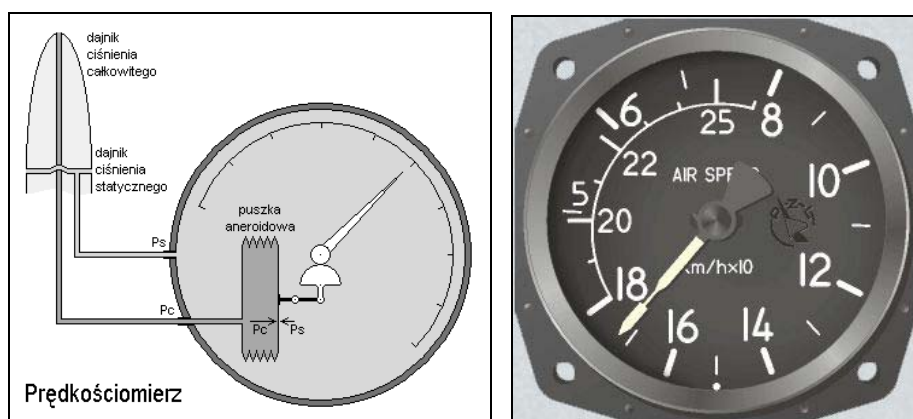
Informacja o prędkości jest niezbędna pilotowi z wielu względów, najważniejsze to utrzymywanie prędkości lotu powyżej prędkości przeciągnięcia typowej dla danego statku (ale uwaga, jej wielkość zmienia się, np. w funkcji przeciążenia występującego w zakręcie) oraz nie przekraczanie prędkości maksymalnych dla płatowca lub wykonywania określonych figur bądź zmiany konfiguracji statku (otwarcie hamulców, podwozia, klap, brutalnego sterowania).

Prędkościomierze wskazują tak zwaną "prędkość wskazywaną" (IAS – indicated air speed) względem powietrza o gęstości normalnej panującej na poziomie morza wg atmosfery

wzorcowej mierząc ciśnienie dynamiczne (p_d) różnicę między całkowitym ciśnieniem napływającego powietrza (p_c) a panującym ciśnieniem statycznym (p_s).

$$p_d = p_c - p_s \quad p_d = \frac{1}{2} \rho v^2$$

Ciśnienie całkowite doprowadzane jest do wnętrza puszek anerooidowej, natomiast ciśnienie statyczne do wnętrza obudowy prędkościomierza. W ten sposób odkształcenie puszek jest pochodną różnicy ciśnień całkowitego i statycznego, czyli ciśnienia dynamicznego będącego równoważnością iloczynu gęstości powietrza (ρ – w dużym przybliżeniu stałej) oraz kwadratu prędkości lotu (v). Różnica ciśnień odkształca membranę o odpowiednich i stabilizowanych charakterystykach sprężystości. To odkształcenie przez odpowiednią przekładnię powoduje wychylenie się wskazówki.



Prędkościomierz. Zasada działania [1]. Prędkościomierz PR-250S-B [2].

W szybowcach wykorzystywane są prędkościomierze PR-250S-B lub PR-400S-A o zakresach pomiarowych 0-250 km/h lub 400 km/h pracujące przy temperaturach $-55^{\circ}\text{C}/+70^{\circ}\text{C}$.

Skala prędkościomierza szybowcowego jest zwykle wyskalowana w dziesiątkach km/h i ma postać spirali (nieliniowy wygląd skali na tarczy prędkościomierza wynika z kwadratowej zależności pomiędzy ciśnieniem a prędkością). Zakresy prędkości na przyrządzie oznaczone są kolorami. Zielony obszar na skali oznacza normalne prędkości eksploatacyjne, żółty - prędkości dopuszczalne, czerwona kreska - prędkość maksymalną (VNE - never exceeded speed).

Prędkościomierz jest przyrządem sygnalizującym w najbardziej dostrzegalny sposób obecność wody w instalacji czy złącenie ciśnienia. Objawia się to zatrzymaniem wskazówki przyrządu lub jego bardzo spowolniona pracą.

W odróżnieniu od przyrządów GPS, które określając współrzędne położenia statku w założonych przedziałach czasowych wyznaczają prędkość przemieszczania się statku względem ziemi prędkościomierze pneumatyczne wskazują prędkość przemieszczania się statku względem otaczającego powietrza. Ma to swoje wady jak i zalety. Graniczne prędkości np. przeciągnięcia czy maksymalna określane są względem otaczającego powietrza, ale przy przelocie chcąc wyznaczyć prędkość podróżną musimy odejmować od prędkości przyrządowej poprawkę na wiatr.



Prędkościomierz PR-400S-A

Prędkość przyrządowa (IAS - indicated air speed) wskazywana przez prędkościomierz różni się od rzeczywistej prędkości powietrznej (TAS - true air speed). Jest to efektem błędu metodycznego wynoszącego około 2% na każde 300 metrów wysokości. Przy prędkościach powyżej 470 km/h należy także wziąć poprawkę na ściśliwość powietrza. Przykładowo na wysokości ok. 9500 m prędkości TAS wynoszącej 410 kts (węzłów) odpowiada prędkość IAS 260 kts.

Wariometr

Wariometr wskazuje prędkość przemieszczania się szybowca w płaszczyźnie pionowej, będącą wynikiem opadania własnego szybowca przy określonej prędkości, zmian energii kinetycznej w potencjalną i na odwrót (rozpędzania i zwalniania szybowca) oraz pionowych ruchów powietrza atmosferycznego. W przypadku powietrza znajdującego się w bezruchu wariometr wskazuje prędkość opadania własnego szybowca lub wartość chwilowego wznoszenia szybowca (lub dłuższego np. przy starcie za wyciągarką lub za samolotem). W przypadku gdy mamy do czynienia z występowaniem pionowych ruchów powietrza wariometr wskazuje prędkość wznoszenia się (opadania) masy powietrza pomniejszoną (powiększoną) o prędkość opadania własnego szybowca.

W szybowcach montuje się zwykle dwa wariometry, z których jeden dokładniejszy (± 5 m/s) jest wariometrem energii całkowitej, natomiast drugi o większym zakresie (± 10 -30 m/s) jest nieskompensowany.

Znaczenie wariometru w lotach szybowcowych jest zasadnicze. Historia początkowego wykorzystania wariometrów w szybownictwie jest bardzo ciekawa.

Pierwsze loty termiczne Kronfelda w 1928r. były wielką sensacją w świecie szybowcowym. Sam fakt nowych możliwości przelotowych i otwarcia dla szybowców słonecznych szlaków nad równinami był tak szokujący, że przyćmił taki „drobiazg”, jakim było zastosowanie wariometru. Od pierwszego lotu szybowca z wbudowanym wariometrem do upowszechnienia wariometru minęły aż 4 lata. Dziwić się należy dlaczego od początku nie stosowano tego przyrządu w szybownictwie. Przecież łatwiej byłoby wisieć na żaglu orientując się gdzie są zerka, a gdzie lekko nosi czy dusi. Nawet prof. Kurt Wegener, doświadczony pilot balonowy, który przecież stosował wariometry w balonach, nie proponował szybownikom ich stosowania.

Dopiero w 1928r. konstruktor Alexander Lippisch zakupił wariometr Badina do swego nowego szybowca typu Proffesor (prototyp nosił nazwę „Rhönggeist”) i odniósł sukces. Kronfeld wykorzystując wariometr bije rekord świata przelatując ponad 100 km i nie ma sobie równych w lotach termicznych. Alexander Lippisch buduje rozwojową wersję Proffesora o nazwie „Wien” (Wiedeń) i ten szybowiec również wyposaża w wariometr.

Drugim asem termiki staje się niezwykle utalentowany i odważny Günter Groenhoff. Tylko Kronfeld i Groenhoff mają wariometry. Wygrywając zawody i zdobywając nagrody za najlepsze wyczyny roczne zyskują sławę i niezłe utrzymanie z uprawiania sportu. Trudno się więc dziwić, że zasadnicze znaczenie wariometru dla wyszukiwania i centrowania noszeń trzymają w tajemnicy.

Trzeci as opanowania termiki, Wolf (Wolfgang) Hirth, w latach 1929-1931 szkoli pilotów szybowcowych w Elmira, USA, gdzie dysponuje niezłym szybowcem wyczynowym „Musterle” wyprodukowanym w Akademickim Klubie Lotniczym Darmstadt. Na tymże „Musterle” o rozpiętości 16 m i doskonałości 21 w 1930r. montuje Hirth aż dwa wariometry,

z których to pomocą szybko odkrywa zasadę centrowania komina i zdobywania wysokości w głębokim krążeniu.

Sposób wychodzenia w kominie w głębokim krążeniu podpatrzyło w Europie wielu szybowników w 1930r. kiedy to nad Kreuzberg rój szybowców, idąc w ślady Groenhoffa na „Fafnirze”, zdobył pod Cu 1700 m wysokości. Informowała zresztą o tym wydarzeniu prasa niemiecka, żywo interesująca się problematyką lotniczą. Wolf Hirth nie krył jednak wariometrów i nawet w sierpniowym numerze „Flugsportu” z 1930r. wszyscy mogli znaleźć rysunek tablicy przyrządów jego „Musterle” z dwoma wariometrami.

Jakże inna postawa. Kronfeld bowiem na pytanie co to nosi w torbie do swego szybowca, odpowiadał kolegom że dzbanek do kawy. Również Groenhoff żadnemu koledze nie zdradził, ile wart jest wariometr na termice. Cóż, że trzy lata szybownictwo poczekało na „wyjście szydła z worka” i od 1932r. większość szybowców wyczynowych posiada wariometry, mimo, że ceny przyrządów pokładowych były bardzo wysokie.

Na XIII Międzynarodowych Zawodach Szybowcowych Rhön na Wasserkuppe startują też Polacy. Łopatniuk na SG-21 „Lwów” i Grzeszczyk na SG-28. Tam też nasi pionierzy szybownictwa zapoznają się z problematyką wykorzystania wariometrów i przelotami szybowcowymi na termice. Grzeszczyk wykonuje nawet ponad 17 km przelot, a przeszło 9 godzinny lot Łopatniuka przynosi mu 3 miejsce za długotrwałość lotu w grupie treningowej. Wariometry stały się najważniejszymi pomocnikami szybowników w opanowaniu termiki i wyjściu na równiny.

Sikora A.: Koniec pionierskiego okresu rozwoju szybownictwa. BIIPS 3/1987

Wariometr membranowy

Podobnie jak w przypadku wysokościomierza i prędkościomierza głównym elementem wariometru membranowego jest puszka aneroidowa, do której wnętrza doprowadzane jest powietrze z dajnika ciśnienia statycznego. Z kolei puszka jest wyposażona w rurkę



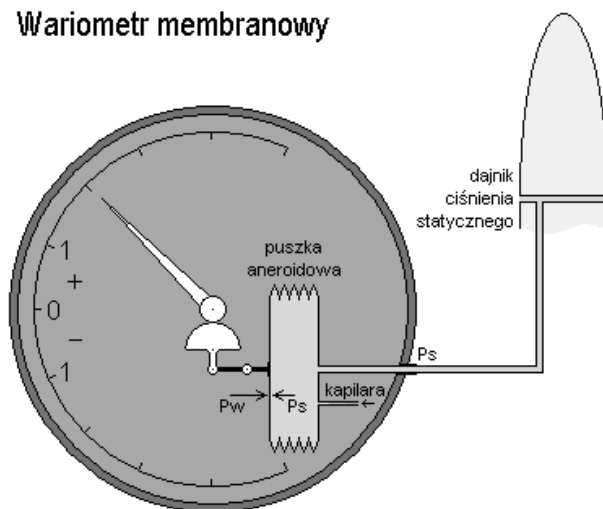
Termos

kapilarną (cieniutką rurkę włosowatą), przez którą powietrze przepływa do obudowy wariometru, stanowiącej szczelne naczynie.

Podczas lotu poziomego ciśnienie statyczne jest równe ciśnieniu w obudowie wariometru i tym samym nie występuje żadna różnica ciśnienia i przyrząd wskazuje 0 m/s. Zmiana ciśnienia statycznego wynikająca ze zmiany wysokości lotu (wznoszenia lub opadania) powoduje zmniejszenie lub zwiększenie ciśnienia w puszcze i jej odkształcenie, a tym samym wychylenie wskazówki. Wraz z

kontynuowaniem opadania ciśnienie stale by wzrastało, co prowadziłoby do coraz większych wskazań przyrządu. Powietrze jednak w wolnym tempie, ze względu na różnicę ciśnień, uchodzi przez kapilarę do obudowy wariometru (która pełni jak gdyby funkcję pamięci zachowując ciśnienie, które występowało w puszcze przed chwilą) i tym samym

Wariometr membranowy



Wariometr membranowy. Zasada działania [1]

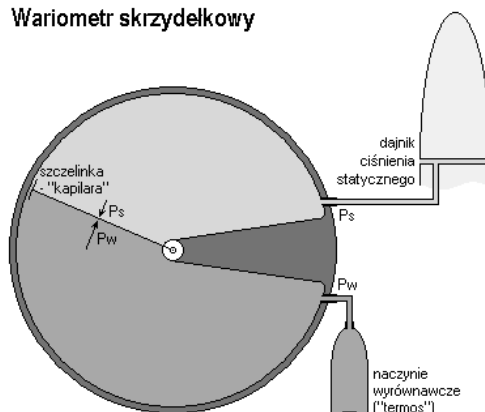
wariometr wskazuje wyłącznie wielkość wznoszenia lub opadania. Po ustaniu wznoszenia ciśnienia w puszcze i w obudowie wyrównują się i wariometr znów wskazuje 0 m/s.

Wariometr skrzydełkowy

Wariometr membranowy stosowany jest głównie w samolotach. W szybowcach dominują wariometry skrzydełkowe. Połowa komory wariometru membranowego jest połączona z czujnikiem ciśnienia statycznego. Druga połowa komory jest połączona przewodem (o długości nie większej niż 50cm) ze szklanym naczyniem wyrównawczym w metalowej obudowie, tzw. „termosem” TM-420, o pojemności $420 \text{ cm}^3 \pm 5 \text{ cm}^3$.

Komory rozdzielone są zawieszonym na łożyskowej ceramicznej osi i centrowanym przez sprężynę skrzydełkiem (blaszką), którego ruch powoduje ruch wskazówki wariometru. W przypadku wystąpienia różnicy ciśnień skrzydełko odchyła się w kierunku niższego ciśnienia w granicach, na które pozwala mu sprężynka. Jednocześnie następuje wyrównywanie ciśnień (przepływ powietrza z komory o wyższym ciśnieniu do komory o ciśnieniu niższym) poprzez szczelinę pomiędzy korpusem wariometru a skrzydełkiem (która spełnia analogiczną funkcję jak kapilara w wariometrze membranowym). Większa pojemność naczynia wyrównawczego (w stosunku do wariometru membranowego, w którym wystarczająca jest objętość samego korpusu) jest powodowana intensywniejszym przepływem powietrza przez szczelinę, która ma większe wymiary niż kapilara.

Wariometr skrzydełkowy



Wariometr skrzydełkowy. Zasada działania [1]

Wariometr skrzydełkowy jest odporny na przeciążenia. Jego słabymi punktami jest sprężyna oraz miejsce zgrzewu skrzydełka z osią. Ze względu na zmianę własności sprężyny dochodzi niekiedy do przesunięcia miejsca zerowego. Po uszkodzeniu termosu (np. zbitiu) wariometr wskazuje wartości maksymalne.



WRs-5E [2]



WRs-10 [2]



WRs-30D [2]

Podstawowymi wariometrami skrzydełkowymi wykorzystywanymi w Polsce są wariometry serii WRs o zakresach pomiarowych 5, 10 i 30 m/s. Dokładność zależna jest od wielkości wskazań i temperatury pracy i waha się w zakresie od : $\pm 4\%$ / $\pm 15\%$ w temperaturach – $30^\circ\text{C}/+50^\circ\text{C}$. Przyrząd wytrzymuje przeciążenia wynikające ze wznoszenia lub opadania w zakresie 30-75 m/sek w przeciągu 1.5 minuty.

Wariometry elektryczne i audiowariometry

Działanie wariometrów elektrycznych jest oparte na zasadzie mostku zrównoważonego Wheatstone'a. Strumień przepływającego powietrza (pomiędzy termosem - W, a rurką TE - S) ochładza termistory, co zostaje przetworzone w sygnał elektryczny. Wskaźnikiem jest przyrząd magnetoptyczny wyskalowany w m/s, w bloku audio modulowane są częstotliwości dźwięku: od ciągłego, budzącego grozę niskiego buczenia przy silnym opadaniu do radosnego, wysokiego popiskiwania dla silnego wznoszenia.

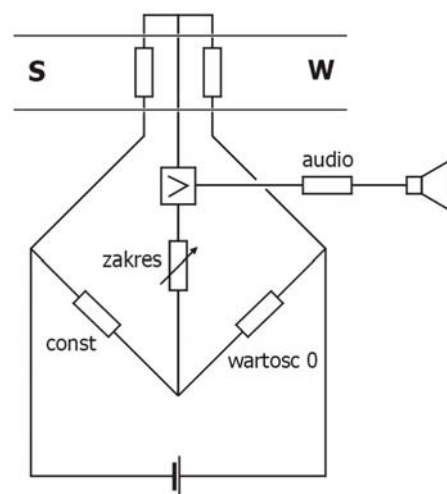


Wariometr WES-5

Nowoczesne wariometry elektryczne oprócz wskazań audio i wideo oferują również wyjście analogowe lub cyfrowe mierzonych wielkości ciśnienia. Pozwala to na wykorzystywanie w szybowcach współpracujących z wariometrami elektrycznymi komputerów pokładowych.

W polskich szybowcach klubowych wykorzystywane są najczęściej wariometry elektryczne WES 5 o zakresie wskazań ± 5 m/s i dokładności 5% przy 20°C, zasilane prądem stałym o napięciu 5V.

Cechą charakterystyczną jest długi, około 5 minutowy proces nagrzewania się sondy. Częstą usterką jest uszkodzenie sondy.



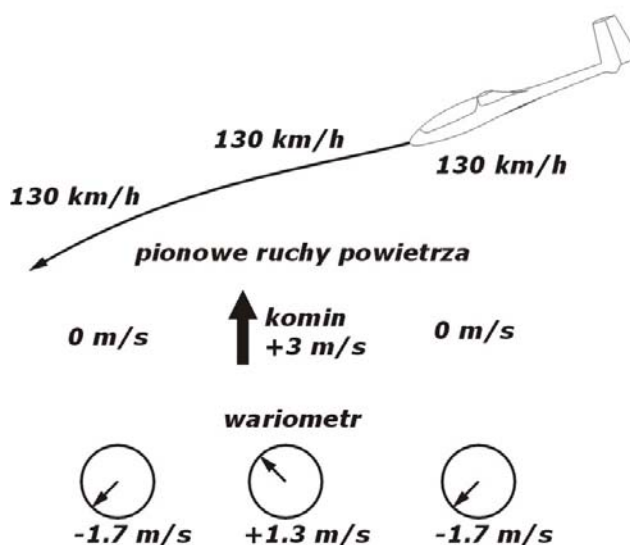
Zasada działania audiowariometru

Wariometr energii całkowitej

Energia całkowita jest sumą energii potencjalnej, proporcjonalnej do wysokości oraz energii kinetycznej, proporcjonalnej do kwadratu prędkości.

$$E_C = E_P + E_K \quad E_P = mgh \quad E_K = \frac{1}{2}mv^2$$

Rozpędzanie szybowca (np. w nurkowaniu) powoduje wzrost energii kinetycznej kosztem potencjalnej, zwalnianie (wznoszenie) powoduje spadek prędkości i energii kinetycznej oraz wzrost energii potencjalnej i wysokości. Dla lotu szybowca ze względu na opory niezbędne jest ciągle zamienianie energii potencjalnej w kinetyczną, czyli prędkość niezbędną do prawidłowego lotu. Aby lot mógł trwać dłużej niezbędne jest dostarczenie energii potencjalnej, czyli



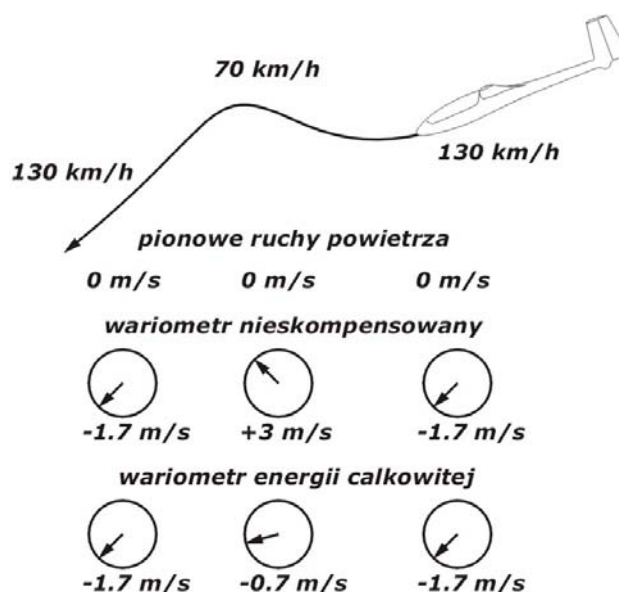
Lot ze stałą prędkością w niespokojnym powietrzu

wysokości, co następuje podczas krążenia w kominie termicznym wznoszącego się strumienia powietrza.

W praktyce szybownika nie interesuje więc chwilowa wielkość wznoszenia mogącego być wynikiem jedynie zamiany energii potencjalnej na kinetyczną (np. przy „wyciągnięciu” szybowca po wlocie do komina termicznego), lecz wielkość zmian energii całkowitej, a zatem wznoszenia lub opadania wynikającego z ruchów pionowych powietrza i opadania własnego szybowca, nie zaś ze zmian wysokości kosztem prędkości. W tym celu wykorzystywane są wariometry energii całkowitej.

W przypadku lotu ze stałą prędkością zarówno wariometr nieskompensowany jak i wariometr energii całkowitej będą wskazywać podobne wielkości, wynikające z sumy ruchów pionowych powietrza (tutaj od 0m/s do +3m/s) i opadania własnego szybowca (tutaj -1.7m/s przy prędkości 130km/h).

Z kolei w przypadku lotu w atmosferze spokojnej (tutaj stabilne 0m/s) z opadaniem własnym -1.7m/s (przy prędkości 130km/h) po ściągnięciu drążka i chwilowym locie na wznoszeniu (połączonym ze zwolnieniem do prędkości 70 km/h) nastąpi znaczny wzrost wskazań wariometru nieskompensowanego (tutaj przykładowo +3m/s). Wariometr energii całkowitej prawidłowo skompensowany powinien wskazać jedynie niewielki spadek opadania (w granicach zmian opadania własnego szybowca w zakresie prędkości 70-130km/h, np. z -1.7m/s przy 130km/h do -0.7m/s przy 70km/h).



Lot ze zmienną prędkością w spokojnym powietrzu

Oczywiście wielkości wskazań wariometrów będą w konkretnych przypadkach praktycznych nieco różne od przedstawionych na rysunkach powyżej (jak i rzeczywiste prędkości lotu i opadania), powyższe schematy ilustrują jedynie ideę kompensacji wariometru.

Wariometry można skompensować za pomocą sond pomiarowych, membran lub elektrycznie.

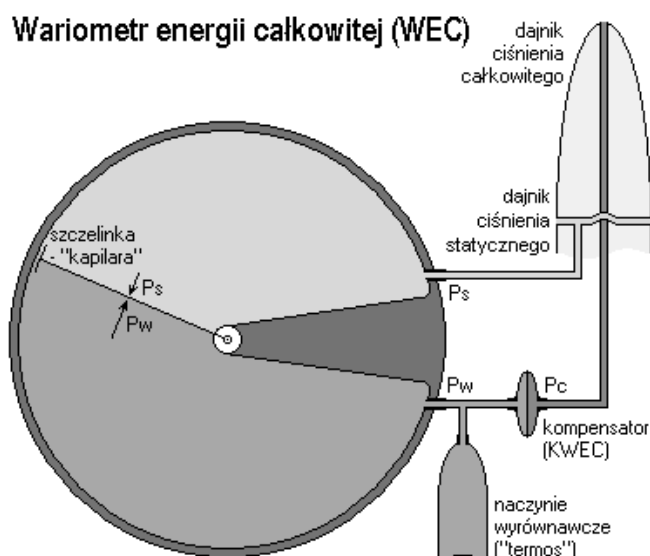
Kompensacja z wykorzystaniem KWEK

Wariometr energii całkowitej nie różni się budową od wariometru nieskompensowanego. Różnica tkwi w instalacji pneumatycznej. Jedna z komór jest podłączona zarówno do termosu (jak w wariometrze nieskompensowanym) jak i do kompensatora KWEK, a przez niego do dajnika ciśnienia całkowitego.



Kompensator KWEK

Pierwowzorem KVEC'a była puszką wyrównawcza Islera. Kompensator Schuemann'a KVEC (kompensator wariometru energii całkowitej) jest płaską, szczelną puszką, której dwie komory wyrównawcze, do których podłączone są dajniki, rozdziela membrana z gumy



Wariometr energii całkowitej. Zasada działania [1]

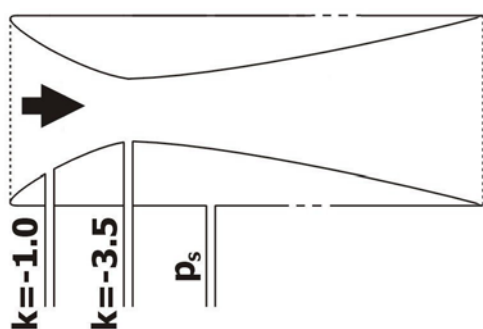
lateksowej zamocowana na sprężynie. Wskutek wzrostu prędkości lotu, wzrasta ciśnienie całkowite i tym samym przepona wybrzusza się zwiększając ciśnienie w termosie. Przy spadku prędkości występuje odwrotna sytuacja i ciśnienie w termosie maleje. W ten sposób następuje kompensacja zmian prędkości we wskazaniach wariometru.

KVEC winien być zlokalizowany w pionie (przepona w pionie), a także bokiem do kierunku lotu (przepona równoległa do kierunku lotu). Likwiduje to wpływ ciężaru i przyspieszeń.

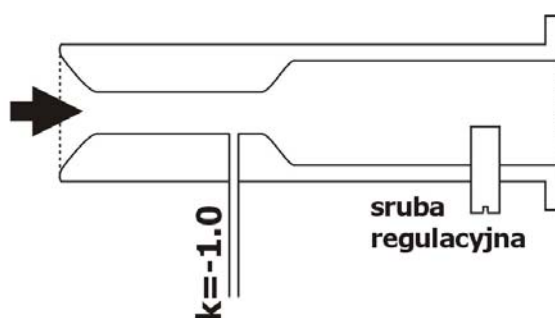
Wadą tego systemu kompensacji jest używanie się membrany gumowej KVEC'a, która po ok. 10.000 cyklach powinna być wymieniana. Trudno jest uzyskać dokładną kompensację. Dodatkowo na każdy wariometr musi być zastosowany jeden KVEC.

Kompensacja z wykorzystaniem rurek, dysz, dajników

Kompensacja z wykorzystaniem KVECA ma swoje zalety ale także wiele wad. Dlatego od lat '40-tych trwały prace mające na celu znalezienie lepszego rozwiązania, dajnika który dawałby ciśnienie idealnie skorygowane (kompensujące wpływ zmian dynamicznych energii kinetycznej). W roku 1940 Katrowitz podał w czasopiśmie „Journal of Aeronautical Science” teoretyczne podstawy zasilania wariometru ciśnieniem $k=-1$. W latach 1947-1952 dajniki bazujące na modyfikacjach dyszy Venturi'ego opracowali m.in. Hugh Kendall, Hütner, Irving, Althaus i Braunschweiger.



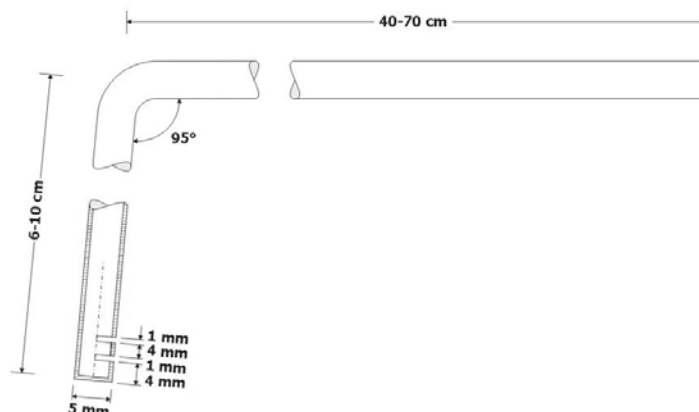
Dysza Venturi'ego



Dysza Kendall'a

Ostatecznie zwyciężyła jednak zwykła rurka TE (total energy - energii całkowitej): dwuszczelinowa Bardovick'a (ILEC Akeflig Brunschwig Hanover) oraz jednootworowa Orana Nicks'a.

Dajnik TE (zwany także $k=-1$) wykonany jest z rurki stalowej o średnicy ok. 4.6-6.35mm (5.56mm) wygiętej w kształcie litery L, przy czym dłuższa prosta (ok. 40-60cm) ustawiona jest równoległe do strug napływającego powietrza, a krótsza (ok. 10cm) w przybliżeniu prostopadłe. W krótszym odcinku rurki, od strony odwrotnej do napływającego powietrza wycięte są dwie równoległe szczelinki lub wywiercony otworek o średnicy ok. 1.59mm. Charakterystyczne wymiary rurki wynikają z wielkości kryterialnej, bezwymiarowej liczby Reynoldsa, która w użytecznym zakresie temperatur i prędkości lotu przy opływie podkrytycznym walca (jeszcze laminarnym) wynosi $Re=50.000$



$$Re=vd/\nu$$

Dwuszczelinowa rurka energii całkowitej TE $k=-1$ Bardovick'a

Zalety rurki TE to m.in. prosta konstrukcja dajnika, mała wrażliwość na ześlizgi boczne, szybkie działanie, dobra kompensacja w szerokim zakresie wysokości i prędkości, możliwość kompensacji kilku wariometrów. Do wariometru doprowadzany jest przewód z rurki TE (króciec S) oraz z termosu (króciec W).

Ciśnienie pobierane z rurki TE jest równe ciśnieniu statycznemu skorygowanemu o ujemną wartość ciśnienia dynamicznego (przypomnijmy, iż w rurce Pitot'a do ciśnienia statycznego dodawana jest wartość ciśnienia dynamicznego).

$$p_{TE}=p_s+p_{kor}$$

$$p_{kor}=-p_d$$

Zasada kompensacji jest bardzo prosta. Przy locie po prostej ciśnienie dynamiczne jest stałe, a ciśnienie statyczne maleje zgodnie z opadaniem własnym szybowca i wariometr wskazuje właśnie to opadanie. Podczas rozpędzania szybowca zaczyna szybciej wzrastać ciśnienie statyczne ale jednocześnie wzrost ten jest kompensowany wzrostem podciśnienia dynamicznego (wzrostem ciśnienia dynamicznego, w tym przypadku ze znakiem ujemnym). Odwrotnie przy zaciąganiu szybowca i lekkim zwalnianiu na chwilowym wznoszeniu występuje spadek ciśnienia statycznego kompensowany spadkiem podciśnienia dynamicznego. Wariometr kompensowany w ten sposób wskazuje opadanie własne szybowca nie reagując na chwilowe wznoszenie i nurkowanie wywoływane zmianami prędkości.

Rurka TE bywa także nazywana sondą $k=-1$. Wynika to z bezwymiarowego współczynnika ciśnienia, stosowanego przez aerodynamików, który dla sondy TE wynosi właśnie $k=-1$.

$$k=p_{kor}/p_d=-p_d/p_d=-1$$

W celu sprawdzenia poprawności działania dajnika w szybowcu montuje się dwa prędkościomierze. Jeden zasilany jest z dajników ciśnienia całkowitego i statycznego (odejmując otrzymujemy wartość ciśnienia dynamicznego), drugi z dajników ciśnienia statycznego oraz z rurki TE (odejmując otrzymujemy wartość ciśnienia ... no właśnie, także dynamicznego). Równe wskazania obu prędkościomierzy w zakresie $\pm 2.5\%$ świadczą o prawidłowej kompensacji rurki.

W przypadku montażu rurki ważne jest, aby kierunek napływu strug był ten sam co kierunek ustawienia rurki Pitota, niemniej wysoka wartość kompensacji występuje nawet dla odchyłeń $\pm 20^\circ$. Punkt poboru ciśnienia winien być oddalony od płaszczyzn szybowca zakłócających opływ strug. Rurka bywa montowana na dziobie, na kadłubie zaraz za krawędzią spływu skrzydeł lub w połowie kadłuba. Najpopularniejszym miejscem montażu jest jednak statecznik pionowy. Ze względu na opływ statecznika i zakłócenie ciśnienia statycznego otwór dajnika winien znajdować się w odległości 500-700mm od krawędzi statecznika.



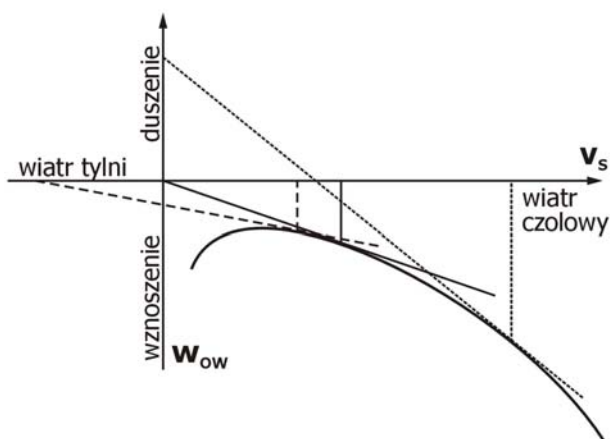
Miejsca montażu dajników energii całkowitej

Krażek MacCready'ego

Na wariometrze skompensowanym umieszcza się obrotowy pierścień kalkulatora krążkowego, zwany również krążkiem MacCready'ego. Szczegółowo wykorzystanie krążka MacCready'ego omawia teoria lotów wyczynowych, w skrócie można powiedzieć, iż pozwala na utrzymanie optymalnych prędkości lotu. Na



Krażek MacCready'ego



Określanie prędkości optymalnej z biegunowej w zależności od wielkości noszeń i siły wiatru

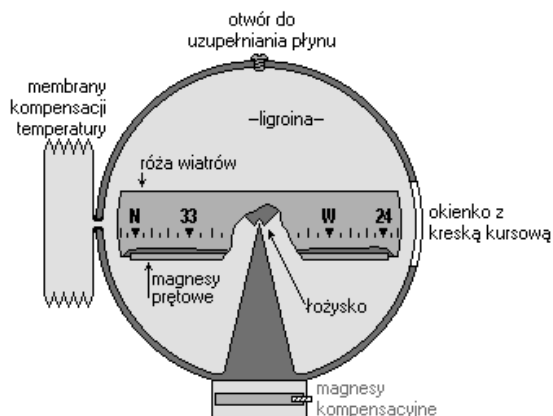
pierścieniu usytuowane są punkty odpowiadające

różnym prędkościom lotu. Ich położenie wynika z podziałki wskazań wariometru oraz przebiegu wykresu biegunowej danego szybowca przy założonym obciążeniu powierzchni. W zależności od sytuacji i warunków termicznych na trasie pilot ustawia krążek względem wariometru, a następnie stara się utrzymać prędkość lotu opisaną na krążku i wskazywaną przez wskazówkę wariometru.

Zależności powyższe oddaje wykres biegunowej szybowca (v_s – prędkość lotu, w_{ow} – opadanie własne szybowca). Optymalna prędkość przy stabilnej atmosferze różni się od prędkości optymalnej podczas lotu w duszeniu (noszeniu) bądź z tylnym (czołowym) wiatrem). W ten sposób można określić optymalne prędkości lotu dla różnych stanów atmosfery.

Busola

Busola jest wykorzystywana w lotach bez widoczności (np. w chmurach), jak i z widocznością (podczas przelotów). Zasada działania busoli opiera się na zjawiskach zachodzących w polu magnetycznym ziemi. Igła magnetyczna ustawia się wzdłuż linii działania sił ziemskiego pola magnetycznego (południków



Busola w przekroju - widok z boku

Busola. Zasada działania [1]

magnetycznych) i w efekcie busola magnetyczna wskazuje kąt zawarty pomiędzy podłużną osią szybowca a kierunkiem północy magnetycznej.

Busola zbudowana jest w postaci szczelnego naczynia wypełnionego cieczą (ligroiną [którą tworzy naftą z domieszkami], naftą lub alkoholem – stąd zwyczajowa angielska nazwa "whiskey compass"), wewnątrz którego zawieszony jest obrotowo i wahlwie pierścień z magnesami prętowymi i naniesioną na obwodzie podziałką wyskalowaną w dziesiątkach stopni. Jest to tzw. róża wiatrów, do której przytwierdzone są równolegle dwa magnesy, a cała róża ułożyskowana jest na jednym czopie (o promieniu 0.1-0.2mm) ze stopu kobaltowo-wolframowego i kamieniu agatowym (ew. szafirowym). Obudowa busoli połączona jest z membranowym naczyniem, zapewniającym kompensację rozszerzalności temperaturowej cieczy. Rozszerzalność może być także kompensowana przeponą w dolnej części róży wiatrów. Obrotowy krążek umocowany na busoli służy do ustawiania zadanego kursu w celu jego zapamiętania.

W polskich szybowcach wykorzystywane są busole BS-1 lub KI-13A.



Busola BS-1 [2]

Podstawowe cechy charakteryzujące busolę to współczynnik tłumienia, czas uspokojenia, kąt pociągania cieczy i zastój pływaka. **Współczynnikiem tłumienia** busoli nazywamy stosunek wychylenia poprzedniego do bezpośrednio następującego po wytrąceniu busoli z położenia równowagi. Pożądane jest, aby współczynnik tłumienia miał wartość jak największą, wtedy busola uspokaja się już po kilku wahnięciach. **Czas uspokojenia** busoli jest to czas potrzebny do pełnego uspokojenia pływaka wytrąconego z równowagi. Jeśli obrócimy busolę o 360°, wówczas ciecz, przenosząc ten ruch poprzez tłumiki na pływak, wychyla go o pewien kąt zwany **kątem**

pociągania cieczy. Pływak nie powraca jednak dokładnie do pierwotnego położenia. Istniejące tarcie zatrzymuje go wcześniej. Powstałe odchylenie nazywamy **zastojem pływaka**.

Wykorzystując wskazania busoli musimy zdać sobie także sprawę z błędów, które charakteryzują jej pracę. **Błąd ustawienia busoli** wynika ze zjawiska paralaksy, związanego z odchyleniem od płaszczyzny symetrii szybowca kreski kursowej umieszczonej pomiędzy szybką a pierścieniem podziałki. **Błąd północy** polega na tym, że na kursach północnych busola reaguje leniwie na zmiany kierunku, a na kursach południowych wykazuje dużą ruchliwość. Pochodzi to stąd, że płaszczyzna pływaka odchyła się w skrócie od poziomu wskutek powstałego przyspieszenia odśrodkowego i składowej pionowej działającej na koniec igły N (w zakręcie przesuwa się w stronę zakrętu). Odchylenie to jest tym większe, im głębsze jest pochylenie szybowca podczas wykonywanego skrótu. Stąd też stara lotnicza zasada mówi o sposobie wyprowadzania z zakrętów: „po południu, przed północą”.

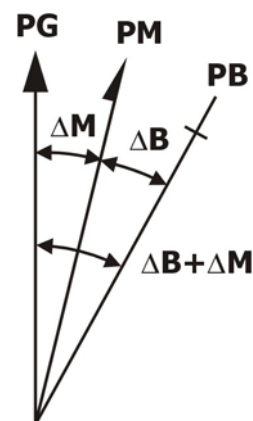
Kierunek południków magnetycznych nachylony jest do poziomu ziemi pod pewnym kątem zwanym **inklinacją** (φ). Kąt ten jest zmienny i zależy od szerokości geograficznej – w pobliżu równika inklinacja wynosi 0°, a w pobliżu biegunów osiąga swe maksimum 90°. Inklinacja w Polsce wynosi nawet 60°. W celu kompensacji wpływu inklinacji obciąża się południowy biegun igły magnetycznej ciężarkiem. W efekcie podczas zwalniania lub przyspieszania lotu daje o sobie znać **błąd kierunków wschodnich-zachodnich**: siła

bezwładności powodująca wychylanie się igły niezgodnie z kierunkami magnetycznymi. Należy pamiętać, iż ze względu na ciężarek zamocowany na jednym końcu igły, busolę można wykorzystywać tylko na półkuli dla której została ona wykonana.

Igła magnetyczna ustawia się wzdłuż południków magnetycznych, które nie pokrywają się z geograficznymi. Różnicę między północnym kierunkiem południka magnetycznego a geograficznego nazywamy **deklinacją** i oznaczamy przez M . Deklinacja zmienia się wraz ze zmianą położenia geograficznego. W Polsce izogony biegnące z północy na południe przybierają obecnie wartości od około -3° na zachodzie kraju do około $+2^\circ$ w dzielnicach wschodnich.

Błędy wskazań busoli powodowane są także zamontowaniem jej w otoczeniu metalowych części szybowca. Skutek jest taki, że oś igły magnetycznej nie ustawia się dokładnie wzdłuż południka magnetycznego, lecz wzdłuż tzw. południka busoli, który jest linią działania siły wypadkowego pola magnetycznego, pochodzącego od części stalowych i żelaznych szybowca, oraz ziemskiego pola magnetycznego. Różnicę między północnym kierunkiem południka magnetycznego a północnym kierunkiem południka busoli nazywamy **dewiacją** B . Dewiacja zmienia swój znak i wartość wraz ze zmianą kursu szybowca.

Oś igły magnetycznej busoli jest przesunięta o dwie odchyłki od południka geograficznego, mianowicie o **odchyłkę deklinacyjną**, zależną od położenia geograficznego oraz o **odchyłkę dewiacyjną**, zależną od kursu szybowca. Suma algebraiczna tych dwóch odchyłek daje zboczenie wypadkowe zwane **wariacją** i podające wartość odchylenia południka busoli od południka geograficznego i jest zależne od zmiany położenia geograficznego i kursu szybowca.



Omawiana powyżej dewiację można tylko częściowo **skompensować**. Nieusuwalne odchyłki nanosi się na **wykres dewiacyjny** (tzw. tabelka dewiacji), który powinien znajdować się w kabinie szybowca. Dewiację wywołaną magnesami stałymi nazywamy **półokrężną** lub półkołową, a dewiację spowodowaną częściami żelaznymi – dewiacją **ćwierćokrężną** lub ćwierćkołową. Nazwy dewiacji pochodzą od krotności zmian znaku odchyłek dewiacyjnych podczas obrotu o 360° . Kompensacji busoli dokonuje się poprzez odpowiednie ustawienie w puszcze kompensacyjnej specjalnie do tego celu przeznaczonych magnesów. Ich pola redukują częściowo wpływ poprzecznych i podłużnych biegunów magnetycznych szybowca na pływak busoli.

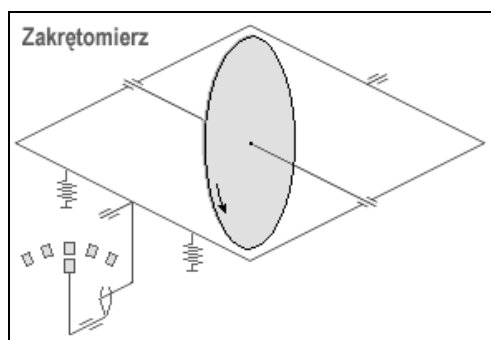
Dewiacja, deklinacja, wariacja

Szerzej zagadnienia związane z busolą omawiane są na nawigacji, warto jednak zaznaczyć pokrótce, iż w przypadku bocznego wiatru kąt drogi nie pokrywa się z kursem. Utrzymując zatem na busoli zadany kurs przesuwamy się zgodnie z kątem drogi (tzw. bearing). Busola magnetyczna wskazuje kierunek wyznaczany przez oś podłużną statku. Z kolei w przypadku przyrządu GPS (który nie jest zorientowany względem osi statku) otrzymujemy wskazanie dokładnie kąta drogi, po którym porusza się statek (tzw. track) .

Zakrętomierz

Zakrętomierz jest przyrządem żyroskopowym o dwóch stopniach swobody wskazującym kierunek i prędkość kątową obrotu szybowca względem jego osi pionowej wykorzystywanym w lotach bez widoczności (np. w chmurach).

W skrócie żyroskopem możemy nazwać "ciało sztywne o znacznym ciężarze obracające się z dużą prędkością kątową wokół osi symetrii". Chcąc przekonać się o istnieniu w rzeczywistości efektu żyroskopowego wystarczy chwycić za oba końce osi koło rowerowe i po jego rozkręceniu spróbować zmienić położenie osi.

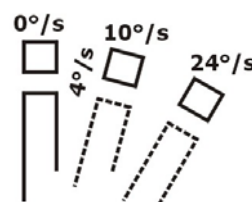


Zakrętomierz. Zasada działania [1]. Zakrętomierz EZS [2]

W zakrętomierzu na osi zamontowanej w ruchomej ramce wiruje z prędkością rzędu 20 tysięcy obr./min napędzany elektrycznym silniczkiem masywny krążek. Zmiana położenia osi głównej żyroskopu pod wpływem momentu sił zewnętrznych (czyli zakręcania szybowca) wywołuje precesję - powstanie momentu sił działającego wokół osi prostopadłej do osi wirowania krążka i osi zakrętu. To z kolei powoduje proporcjonalne do prędkości kątowej zakrętu wychylenie wspomnianej ramki w kierunku zależnym od kierunku wirowania krążka i kierunku zakrętu. Po przejściu do lotu prostego precesja ustaje, a ramka wraca do położenia neutralnego za sprawą dołączonych do niej sprężynek.

Wskazówka jest poruszana ruchem ramki poprzez specjalną przekładnię, a jej wychylenia koryguje specjalny tłumik i sprężyna centrująca.

Zakrętomierz wskazuje prędkość kątową obrotu względem osi pionowej szybowca. Przy niewielkich przechyleniach można przyjąć, iż jest ona zbliżona do prędkości kątowej zakrętu. Przy dużych przechyleniach $>30-40^\circ$ prędkość obrotu wokół osi pionowej szybowca maleje, co powoduje spadek wskazań prędkości kątowej pomimo głębokiego przechylenia i zakrętu.



Wychylenia wskazówki zakrętomierza

W polskich szybowcach wykorzystuje się zakrętomierze EZS-2,3,5 o napięciu zasilania 4.5-12V. Przy podłączaniu baterii należy zwrócić baczną uwagę na polaryzację zasilania – odwrotne podłączenie prowadzi do odwrotnych wskazań zakrętomierza.

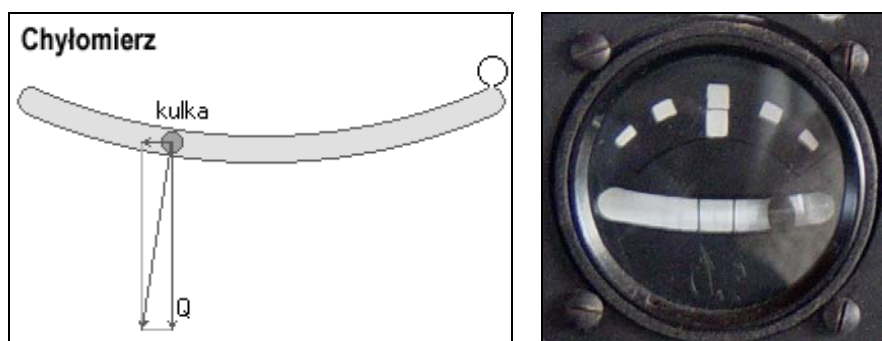
Wychylenie wskazówki pomiędzy wskaźnikiem środka a kolejnym oznacza prędkość kątową $4^\circ/s$, pierwszy wskaźnik $10^\circ/s$, skrajny wskaźnik $24^\circ/s$.

Rozwinięciem zakrętomierza jest wykorzystywany w samolotach sztuczny horyzont (stosowany niekiedy także w szybowcach dostosowanych do lotów falowych, które często odbywają się bez widzialności ziemi), żyroskop o trzech stopniach swobody (wskazujący także pochylenie statku). Przyrządy żyroskopowe wykorzystują zasilanie elektryczne lub/i zdwojone pneumatyczne (sprężarka, pompa próżniowa). Wynalazcą ideę żyroskopu i wykorzystania jej w lotnictwie w latach 1910-1918 był Elmer A. Sperry (Sperry Gyroscope Company). Obecnie do użycia wchodzi żyroskopy laserowe, jednak ich zastosowanie ogranicza się do przyrządów wykorzystywanych w samolotach.

Chyłomierz poprzeczny

Chyłomierz tworzy zakrzywiona szklana rurka wypełniona cieczą tłumiącą (ligroina), w której przemieszcza się metalowa kulka.

Chyłomierz jest przyrządem pomagającym utrzymać właściwą koordynację zakrętów. Kulka wskazuje kierunek wypadkowej siły przyciągania ziemskiego i przyspieszenia dośrodkowego w zakręcie. W przypadku wykonywania prawidłowo skoordynowanego zakrętu (która to prawidłowość wynika ze skoordynowanego wychylenia lotek, steru kierunku i wysokości), nawet bardzo ciasnego, kulka pozostaje w środku. Podczas wyslizgu (zbyt małe przechylenie szybowca) kulka przesuwa się na zewnątrz, podczas ześlizgu (zbyt duże przechylenie szybowca) do wewnątrz zakrętu. Dla skompensowania zmian objętości cieczy wywołanych zmianami temperatury, w zaułku rurki pozostawiono mały bąbelek powietrza, który ulega ściśnięciu w przypadku rozszerzenia się cieczy.



Chyłomierz. Zasada działania [1]. Chyłomierz w obudowie EZS [2]

Icek

Przyrządem niedocenianym przez teoretyków, a poważanym przez pilotów jest icko, czyli kawałek nitki przyklejony od zewnętrznej powierzchni przeszklenia kabiny. Podobnie jak w przypadku chyłomierza, icko wskazuje prawidłowość koordynacji w zakręcie, jednak wychylenie icka i kulki w chyłomierzu są dokładnie przeciwne.

Działanie icka polega na ustawianiu się zgodnie z kierunkiem strug opływającego powietrza. Wadą icka jest jego podatność na deszcz – mokry icko przykleja się do owiewki i przestaje wskazywać kierunek opływających strug. Jednak równie szybko co zamaka schnie i wraca do pełnienia swej ważnej misji. Przyrząd jest także podatny na złośliwe lub przypadkowe oderwania.

Icko i audiowariometr są najlepszymi przyjaciółmi szybownika w zatłoczonym kominie termicznym. Nie odrywając oczu od przelatujących blisko innych szybowców po pozycji icka koordynuje on wychylenie poszczególnych sterów, słuchem kontrolując siłę wznoszenia (audiowariometr) i prędkość szybowca (a także wzrokiem położenie maski nad horyzontem).

W anegdotach mówi się, iż najłatwiejszym sposobem na wyeliminowanie konkurencji jest niezauważalne oderwanie icka konkurentowi tuż przed startem. Pewna stara przypowieść mówi o pilocie, który zastosował na swej kabinie zbyt długą nitkę icka. Przy zamykaniu kabiny przytrzasnął on icka tak, że nie spełniał już swej roli. Nie chcąc tracić jednego startu ziemnego poleciał dalej na konkurencję, jednak po jakimś czasie brak icka zaczął mu silnie

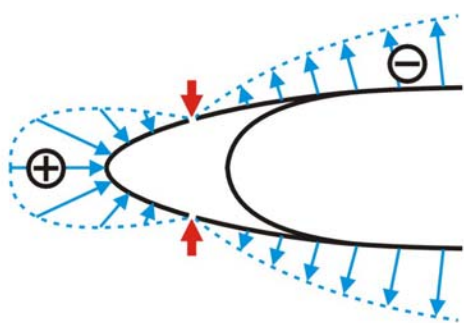
doskwierać. Delikatnie otworzył owiewkę kabiny i ickę wrócił na swoje miejsce. Jednocześnie jednak zza pleców wysunął mu się sweter, który uniemożliwił zamknięcie kabiny. W efekcie nieszczęśnik w tej konkurencji wylądował w polu. A wszystko przez zbyt długiego icka.

W praktyce chyłomierz poprzeczny wykorzystują piloci latający po kręgu bądź rzadziej, piloci latający często na przeloty i termikę preferują icka.

Icek był historycznie pierwszym przyrządem lotniczym na świecie zastosowanym w praktyce. Wynaleziony został nie przez kogo innego jak braci Wright i wykorzystany przez nich przy pierwszych na świecie lotach samolotowych, a wcześniej szybowcowych. Wskazywał nie tylko ślizg ale i kąt natarcia – tworzyły go dwie tasiemki przywiązane z przodu do statecznika poziomego. Właśnie dzięki ickowi bracia Wright zaobserwowali potrzebę zainstalowania steru kierunku dla zniwelowania efektu kierunkowego od lotek. Z angielskiego efekt kierunkowy – *adverse yaw*, stąd angielska nazwa icka to *yaw string*.

Dajniki ciśnienia

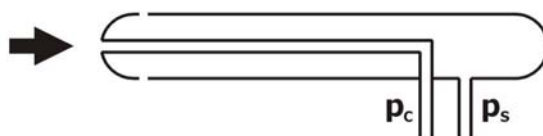
Dajnikami nazywamy punkty poboru (otwory w zwartej strukturze poszycia szybowca) ciśnienia. W znacznej większości szybowców szkolnych występują tylko dwa rodzaje dajników.



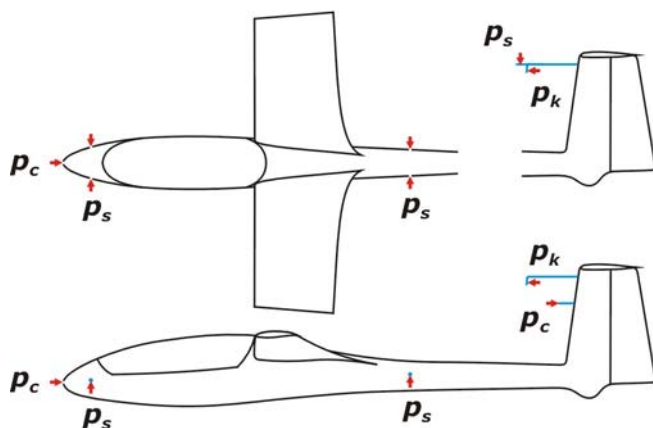
Rozkład ciśnienia i usytuowanie dajników dynamicznego.

Dajnik ciśnienia całkowitego ustawiony osiowo równoległe do kierunku napływających strug (tzw. rurka spiętrzeniowa) znajduje się w dziobie bądź na stateczniku pionowym, dajniki ciśnienia statycznego stycznie do kierunku strug, po obu stronach dziobu lub po obu stronach belki ogonowej za krawędzią spływu skrzydeł. Są to miejsca, które wyznaczono w oparciu o analizę aerodynamiczną kształtu dziobu lub kadłuba, w których w locie po prostej nie występują obszary nad- lub podciśnienia

Ze względu na podatność dajników na zakłócenia opływu przy obserwacji prędkościomierza lub wariometru niezbędne jest zachowywanie właściwej koordynacji. Ześlizg lub



Rurka spiętrzeniowa Prandtla (Pitot'a) wyżłizg powodują natychmiast zmiany wskazań przyrządów.



Stosowane usytuowania dajników

Rurki TE zakładane są głównie na statecznikach, ale także nad dziobem, na kadłubie za krawędzią spływu skrzydeł oraz nad belką ogonową w połowie jej długości.

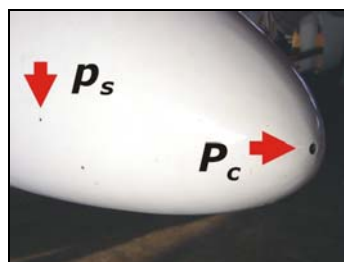
Szanujący się pilot szybowcowy zawsze nosi w kieszeni spodni elastyczną taśmę

klejącą. Czyni to na wypadek lądowania w polu. Pierwszą czynnością po wylądowaniu w polu jest bowiem – przed nadciągnięciem gawiedzi i niemowląt – zaklejenie otworów dajników. Zwykle dzieci uwielbiają w nie dmuchać co powoduje uszkodzenie przyrządów. Robi się to także dla zabezpieczenia szybowców w czasie transportu, czasem także dla zabezpieczenia przyrządów przed nawilżeniem. Trzeba jedynie pamiętać o odklejeniu dajników, w przeciwnym wypadku można po starcie przekonać się o całkowitym braku wskazań przyrządów.

Warto w tym miejscu nadmienić o rurce spiętrzeniowej Prandtla (zwyczajowo zwanej nie do końca zgodnie z prawdą rurką Pitot'a), która jest stosowana w samolotach będąc podstawowym dajnikiem ciśnienia statycznego i całkowitego. Ze względu na podatność na oblodzenie rurka jest wyposażana w wewnętrzną grzałkę elektryczną, którą włącza się w razie ryzyka wystąpienia oblodzenia.



Dajnik ciśnienia całkowitego na stateczniku pionowym



Dajniki ciśnienia całkowitego i statycznego na dziobie



Rurka energii całkowitej usytuowana na stateczniku pionowym

Onegdaj w szybowcach wykorzystywane były częściej dysze (zwężki) typu Venturi, w których wykorzystywano prawo zachowania ciągłości przepływu Bernoulliego (suma ciśnień statycznego i dynamicznego równa się ciśnieniu całkowitemu i jest wielkością stałą). Prędkościomierze wykorzystujące dajnik podciśnienia całkowitego – dyszę Venturi'ego o $k=-3.5$ były prędkościomierzami podciśnieniowymi.

Instalacja

Tablica, w której zamontowane są przyrządy, jest wykonana zwykle z duraluminium lub laminatu poliestrowo-szklanego pomalowanego na czarny, matowy kolor – dla uniknięcia odbłasków na owiewce kabiny. Często dla zasłonięcia przyrządów przed bezpośrednim oświetleniem słonecznym stosuje się „powieki” nad tablicą. Tablica jest łatwo demontowalna, przewody łączone są niekiedy na szybkołączki, tablica mocowana jest na amortyzatorach. Przyrządy rozlokowane są na tablicy w sposób świadomy tak, aby ułatwić pilotowi przenoszenie wzroku na kolejne przyrządy.



Odwadniacz

Obok tablicy w skład instalacji wchodzi systemy dajników ciśnienia całkowitego, statycznego i skorygowanego oraz naczynia wyrównawcze wariometrów. Dajniki łączy się z króćcami ciśnienia przyrządów za pomocą przewodów o średnicy $\varnothing 5\text{mm}$. Początkowo były to czarne przewody gumowe, przewody diurytowe w zielonym kolorze (guma w płócienniej otoczce), obecnie są to grubościennie winylowe PVC przezroczyste, a także silikonowe. W toku eksploatacji szybowców ważne jest uwzględnienie

charakterystyk starzenia się przewodów (pękanie i nieszczelności), reakcji na skrajne temperatury i podatności na przypadkowe zagniecenia.

Za dajnikami ciśnienia wstawiane są odwadniacze, czyli małe puszkę wypełnione higroskopijną gąbką. Po locie w opadzie deszczu bądź postoju w parnym, wilgotnym otoczeniu należy odwadniacze rozkręcić a gąbkę przesuszyć.

Króćce ciśnieniowe na przyrządach posiadają następujące oznaczenia literowe:

S – ciśnienie statyczne

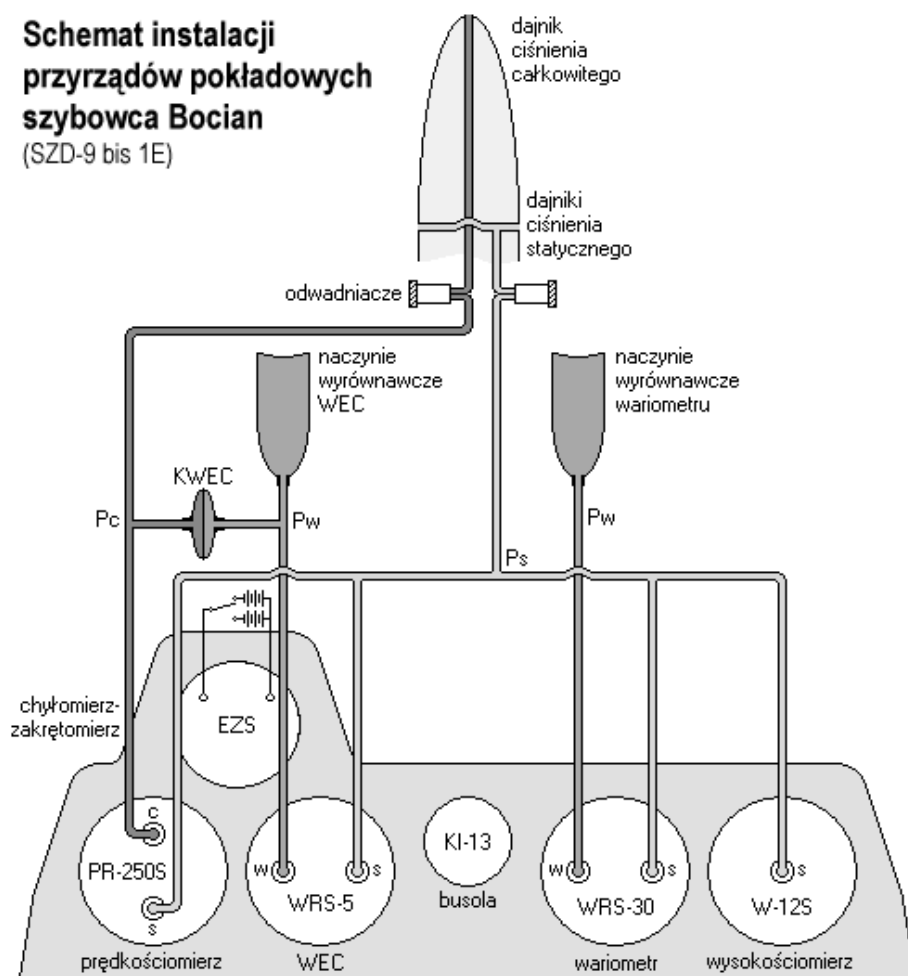
C – ciśnienie całkowite

W – naczynie wyrównawcze

Szczelność, drożność i prawidłowe połączenia przewodów są rzeczą kluczowej wagi, zwłaszcza w przypadku wykorzystywania szybowca przez pilotów o mniejszym doświadczeniu. Na ziemi, bez prędkości postępowej możliwość sprawdzenia poprawności działania przyrządów jest bardzo ograniczona. Dlatego też przed dopuszczeniem szybowca do eksploatacji po remoncie lub przeglądzie pilot doświadczalny bądź instruktor I klasy wykonuje oblot czyli lot sprawdzający. Szybkiej kontroli działania układu można dokonać dmuchając bardzo lekko (żeby nie uszkodzić przyrządów) z pewnej odległości w dajnik ciśnienia całkowitego (wskazówka prędkościomierza powinna drgnąć w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara) i w dajniki ciśnienia statycznego (wskazówka prędkościomierza powinna przesunąć się w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara).

W przypadku nieszczelności instalacji ciśnienia statycznego występują niewielkie błędy wskazań przyrządów, znacznie większe błędy występują w przypadku nieszczelności instalacji ciśnienia całkowitego.

Schemat instalacji przyrządów pokładowych szybowca Bocian (SZD-9 bis 1E)



Schemat instalacji przyrządów pokładowych szybowca Bocian [1]

GPS globalny system pozycjonowania

System nawigacyjny GPS znalazł w ostatnich latach szerokie zastosowania w lotnictwie w tym także w szybownictwie. System będący własnością Stanów Zjednoczonych jest kontrolowany i monitorowany przez DOD (Departament Obrony USA). Dwadzieścia cztery satelity NAVSTAR obiegające Ziemię zapewniają nieprzerwaną dostawę sygnału radiowego który, po odebraniu przez specjalny odbiornik umożliwia wyliczenie bieżącej pozycji. Sygnał ten jest dostępny na całym globie, korzystanie z niego jest bezpłatne.

Segment kosmiczny składa się z konstelacji 24 aktywnych satelitów, okrążających Ziemię w ciągu 12 godzin. Na każdej z sześciu orbit konstelacji nachylonych do powierzchni równika pod kątem 55° znajdują się cztery satelity na wysokości ponad 20.000km nad powierzchnią Ziemi. Satelity transmitują dwa rodzaje sygnałów na częstotliwościach 1575.42MHz i 1227.60MHz. Każdy satelita wysyła inny sygnał, co ułatwia odbiornikom rozpoznanie, z którego satelity pochodzi dany sygnał.

Dokładność pomiaru waha się od centymetra (odbiorniki geodezyjne, pomiar różnicowy - Differential GPS) do kilkunastu metrów - proste odbiorniki nawigacyjne, bez korekcji różnicowej (standardowo cywilnie można uzyskać dokładność poziomą rzędu 20m przez 95% czasu). Do 1 maja 2000 roku dokładność ta była mniejsza (ok. 100m) ze względu na celowe zagłuszanie sygnału przez DOD (Departament Obrony USA) zwane ograniczonym dostępem (tzw. SA). Dokładność pionowa jest około 1.5 razy mniejsza niż dokładność pozioma.



Odbiorniki GPS firmy Garmin

Zasada działania systemu opiera się na pomiarze odległości pomiędzy satelitą, który porusza się po ściśle wyznaczonej orbicie a odbiornikiem. Znana odległość od satelity lokuje odbiornik na sferze o promieniu równym zmierzonej odległości. Znana odległość od dwóch satelitów lokuje odbiornik na okręgu będącym przecięciem dwu sfer. Kiedy odbiornik zmierzy odległość od trzech satelitów, istnieją tylko dwa punkty, w których może się on

znajdować. Jeden z tych punktów można wykluczyć jako znajdujący się zbyt wysoko lub poruszający się zbyt szybko i w ten sposób wyznaczyć swoją pozycję. W praktyce, w zastosowaniach lotniczych zwykle odbiera się sygnał nawet z 8 i więcej satelitów naraz.

Pomiar odległości dokonuje się poprzez pomiar czasu przesłania sygnału. Każdy z satelitów posiada cztery zegary atomowe, którymi synchronizuje wysyłany sygnał. Odbiornikowi mierzy zatem opóźnienie sygnału odebranego z poszczególnych satelitów. Odbiornik GPS nie dysponuje własnym zegarem atomowym a tylko dokładnym zegarem kwarcowym, staje więc przed na pozór nierozwiązywalnym zadaniem: ma stwierdzić, która jest godzina (z dokładnością do nanosekundy) dysponując tylko sygnałem otrzymanym z satelitów, z których każdy podaje inny czas. Dokonuje się tego odbierając sygnał nie od trzech, a od czterech satelitów. Można wówczas wyliczyć zarówno rzeczywisty czas, jak i położenie (klasyczny układ czterech równań z czterema niewiadomymi). W związku z tym, że odbiornik synchronizuje swój zegar z czasem GPS, może być wykorzystywany jako dokładne narzędzie podawania czasu (zegar atomowy).

Podstawowa funkcja odbiornika GPS to ustalenie pozycji geograficznej w określonym układzie odniesienia. Niemniej wykorzystując kolejne pomiary pozycji w czasie można wyznaczyć wiele wielkości pochodnych: kurs, prędkość, szacowany czas przybycia (ETA).

Istnieje możliwość tworzenia bazy punktów i z ich wykorzystaniem edycji tras (routes). Odbiorniki GPS zapisują z zadaniem interwałem czasowym współrzędne (track), które po przesłaniu danych z GPS na komputer PC (port szeregowy) mogą być wykorzystane do analizy pokonanej trasy w licznych programach GPS. Coraz częściej odbiorniki oferują elektroniczną mapę terenu (moving map).

Poziomy układ odniesienia określa, gdzie na powierzchni Ziemi znajdują się linie południków i równoleżników. Dawniej pomiary kartograficzne bazowały na punktach wyznaczonych podczas obserwacji astronomicznych i fizycznych pomiarów na powierzchni Ziemi. W związku z tym obecnie na świecie istnieje wiele minimalnie różniących się od siebie regionalnych siatek południków i równoleżników. System GPS zmusza natomiast do korzystania z jednej ogólnoswiatowej siatki. Pozycje wyznaczane przez system GPS opierają się na poziomym układzie odniesienia zwanym WGS84 ("World Geodetic System of 1984"). W niektórych miejscach na świecie lokalny układ odniesienia może różnić się od układu WGS84 o około 1,61 km. Odbiorniki GPS pracują w układzie WGS84, jednak mogą funkcjonować często także w wielu innych układach odniesienia.

Większość odbiorników GPS umożliwia wysyłanie danych nawigacyjnych do innych urządzeń peryferyjnych w formacie NMEA-0183. Umożliwia to odbiór informacji nt. pozycji przez autopiloty, urządzenia do zapisu pozycji czy kalkulatory pokładowe lub komputery

kieszonkowe Pocket PC. NMEA-0183 to standardowy format danych stworzony przez National Marine Electronics Association do przesyłania danych pomiędzy przyrządami morskimi. Dane w formacie NMEA-0183 są czystym tekstem ASCII przesyłanym w paśmie 4800. Poziom sygnał różni się od formatu RS-232, używanego w większości komputerowych portów szeregowych, ale zazwyczaj współpracuje z tym portem.

W fazie rozruchu znajduje się konkurencyjny do GPS, rosyjski system GLONASS. Nie będzie on zakłócany a jego dokładność będzie lepsza od GPS (3-7 metrów). Producenci odbiorników GPS zapowiadają opracowanie modeli odbierających dane z obu systemów jednocześnie.

Elektroniczne rejestratory lotu

W roku 1995 podczas mistrzostw świata w Omaramie w Nowej Zelandii wykorzystywano po raz pierwszy elektroniczne rejestratory lotu. W styczniu 1996r. Międzynarodowa Komisja Szybowcowa FAI zatwierdziła do użytku pierwszy rejestrator lotu GNSS (GNSS Global Navigation Satellite System FR Flight Recorder) Model 10 firmy Cambridge. Od tego czasu zarejestrowano ponad 20 modeli tzw. loggerów. Do najpopularniejszych należą: Cambridge Model 10 ... 30, Filser LX20 i LX21, Garrecht Volkslogger VL1.0, LXN Colibri.

W zależności od poziomu zabezpieczeń loggery dopuszczone są tylko do rejestracji lotów warunkowych do odznak FAI, bądź też do pełnej rejestracji, także rekordów świata.



Loggery wyposażone są w 12-kanalowy Rejestrator firmy Cambridge z wyświetlaczem LCD odbiornik GPS (bądź też mogą odbierać sygnał NMEA 1083 z innego zatwierdzonego przez FAI odbiornika GPS) i w pamięci zapisują kolejne punkty (tzw. fix'y) z informacją nt. współrzędnych geograficznych w systemie WGS-84 oraz wysokości (czujnik ciśnieniowy). Loggery dopuszczone do wykorzystywania w motoszybowcach są wyposażone dodatkowo w czujnik wibracji, dźwięku bądź też instalację połączoną z silnikiem motoszybowca.

Loggery pozwalają na wyeliminowanie kłopotliwej i dyskusyjnej metody rejestracji z wykorzystaniem aparatu fotograficznego z zapisem czasu i barografu, choć oczywiście cena wyposażenia jest znacznie wyższa (najtańszy logger to wydatek rzędu 3000zł).

Ze względu na system elektronicznych zabezpieczeń (klucz szyfrujący) loggery likwidują konieczność wypełniania deklaracji zgłoszenia trasy przed lotem (wystarczy elektronicznie zadeklarowana trasa w loggerze). Plik w formacie *.igc, który jest zczytywany z loggera po locie zabezpieczony jest kluczem szyfrującym. Jest to tylko plik tekstowy, jednak zmiana jakiegokolwiek znaku jest rozpoznawana przez programy weryfikujące (dzięki kluczowi szyfrującemu).

B1116205205458N01618858EA0131601350000054

B1116265205584N01618832EA0129301330000058

Linijki zapisu pliku *.igc zawierające m.in. informacje nt. czasu zapisu (godz. 11:16:20), współrzędnych geograficznych (52°05.458 N, 016°18.858 E), wysokości lotu (1316m), poziomu dźwięku.

Złącze RS232 umożliwia komunikację logger'a (podobnie jak zwykłego odbiornika GPS) zarówno z komputerem osobistym PC, jak i z innymi urządzeniami peryferyjnymi NMEA1083 (np. komputery kieszonkowe, kalkulator pokładowy).

Do analizy danych przechowywanych w plikach IGC służy wiele programów, często freeware'owych. Standard wyznacza program SeeYou wykorzystywany do weryfikacji zapisów loggerów nawet na poważnych zawodach. Programy umożliwiają dogłębną analizę lotu (czas spędzony w krążeniach lewych/prawych i w locie po prostej, procentowy czas lotu z wybranymi prędkościami, średnie wznoszenia w kominach itd.)

Niektórzy producenci oferują obecnie znacznie droższe modele, które oprócz funkcji loggera łączą w sobie zadania komputera pokładowego z rozbudowanymi funkcjami nawigacyjnymi oraz wariometru. Część loggerów pozostała przy ubogiej formie nawigacyjnej, co zmniejsza ich cenę. Wyświetlacz jest bardzo ograniczony, daje jednak pełen zasób podstawowej informacji nawigacyjnej.

Obecnie usankcjonowana jest już konieczność posiadania rejestratora na Mistrzostwach Polski, Europy i Świata. Coraz częściej stosowane są konkurencje, których rozegranie jest możliwe jedynie z wykorzystaniem loggerów.

Elektroniczne wspomaganie lotu

Analizując elektroniczne wspomaganie lotu konieczne jest podejście syntetyczne. W ostatnich latach bardzo dynamicznie rozwijały się bowiem elektroniczne przyrządy: loggery, odbiorniki GPS, komputery kieszonkowe Pocket PC wraz z oprogramowaniem, wariometry elektroniczne czy klasyczne komputery pokładowe. Możliwość wzajemnej współpracy pomiędzy przyrządami powoduje, iż powinny one być omawiane nie jako pojedyncze przyrządy lecz jako zespoły w aspekcie funkcji celu, które stawiane są elektronicznym przyrządom pokładowym.

Funkcje i możliwości elektronicznych przyrządów pokładowych:

- wariometr z sygnałem audio i uśredniaczem (averager) pojedynczego komina, na boku trasy lub/i na całej trasie
- funkcja speed-to-fly (informacja pozwalająca na optymalizację prędkości lotu w zależności od warunków termicznych, konfiguracji szybowca itd. – teoria MacCready'ego)
- odbiornik sygnału GPS
- rejestrator lotu nie zatwierdzony przez FAI (rejestracja parametrów lotu do późniejszej analizy)
- rejestrator lotu zatwierdzony przez FAI (do rejestracji wyczynów)
- czujnik pracy silnika (zatwierdzony przez FAI; dla motoszybowców)
- wysokościomierz (elektroniczny czujnik ciśnienia barometrycznego lub wysokość wg GPS)
- prędkościomierz (elektroniczny czujnik różnicy ciśnień całkowitego i statycznego)
- czujnik temperatury powietrza
- kalkulator ścieżki dolotowej (final glide) wykorzystujący wysokościomierz ciśnieniowy lub GPS ew. także umożliwiający obliczanie dolotu przez punkty
- funkcja wspomaganie kontroli zaliczenia punktu zwrotnego (sektora)
- baza danych punktów zwrotnych
- zapis danych lotu z określonym interwałem czasowym

- obliczanie prędkości i kierunku wiatru na podstawie znoszenia (wg GPS) podczas krążenia w kominie ew. w locie po prostej (znoszenie i różnica prędkości GPS i prędkości wzgl. powietrza)
- profile siły i kierunku wiatru zmiennych z wysokością
- funkcje nawigacyjne z graficznym wskaźnikiem kierunku lotu
- edycja trasy lotu
- elektroniczna deklaracja zadania
- elektroniczna mapa terenu (moving map) ew. dotykowa (możliwość wprowadzania zmiennych dotykowo na ekranie)
- punkty zwrotne przedstawiane na moving map
- strefy powietrze (SUA - special use airspace) przedstawiane na moving map, ostrzeżenia audio i video
- dane topograficzne przedstawiane na moving map
- climb maximizer - wskazywanie centrum kominu termicznego ułatwiające maksymalizację prędkości wznoszenia
- przekrój kominu termicznego (prędkości wznoszenia)
- wyświetlanie informacji na moving map na temat lotnisk w zasięgu
- baza nazwisk pilotów
- edycja biegunowych szybowców
- czujniki ostrzeżeń: „otwarte hamulce aerodynamiczne przy starcie”, „podwozie”
- kontrola ilości pozostałego balastu wodnego
- czujnik ustawienia klap (przelot/krążenie)
- obliczanie przewidywanego czasu przybycia (ETA - estimated time of arrival)
- optymalizacja wyboru punktów zwrotnych konkurencji AAT



Programu WinPilot w trybie moving map
[14]

Niekiedy pojedynczy przyrząd zapewnia niemal wszystkie w/w funkcje (np. Filser LX5000 FAI), coraz częściej jednak standardowym zestawem staje się elektroniczny wariometr z komputerem pokładowym (Borgelt B50, Cambridge ILEC SN-10, Cambridge 302 & 303, Cambridge L-NAV), rejestrator lotu (Volslogger, Cambridge, Filser) oraz komputer kieszonkowy Pocket PC z oprogramowaniem WinPilot, Glide Navigator lub GPS LOG, wyposażony w monitor łączący funkcje kolorowego wyświetlacza i ekranu dotykowego. Koszt takiego zestawu to ok. \$ 2600-3800.

Obecnie testowane jest oprogramowanie prowadzące statystykę występowania kominów termicznych na danym obszarze z uwzględnieniem położenia słońca, kierunku i siły wiatru, rodzaju termiki itd. Możliwe jest korzystanie z sieci internet w czasie lotu, co pozwala na zapoznanie się ze zdjęciami i bieżącą sytuacją meteorologiczną. Należy się spodziewać, iż z czasem oprogramowanie będzie pozwalało na automatyczne pobieranie z sieci internetowej informacji meteorologicznych i ilustrowanie pilotowi w możliwie najwygodniejszej formie.



Tablica przyrządów z wariometrami elektrycznymi, kalkulatorem pokładowym i komputerem kieszonkowym Pocket PC [14]

Z drugiej strony zalew informacji bez logicznego uporządkowania i zdroworozsądkowego podejścia i przy ubogiej podbudowie teoretycznej pilota prowadzi często do sytuacji groteskowych, zwłaszcza w przypadku pilotów o nikłych umiejętnościach i doświadczeniu a za to dysponujących grubszym portfelem.

Podsumowanie

W kwestii przyrządów nie powiedziano jeszcze ostatniego słowa. W ostatnich latach obserwujemy coraz bardziej dynamiczny rozwój zwłaszcza elektronicznego oprzyrządowania ułatwiającego lot. Trzeba jednak pamiętać, iż jeszcze nie tak dawno pilot dysponował jedynie mapą, wariometrem, wysokościomierzem i prędkościomierzem. Lepsze wyniki osiągane obecnie podczas prób bicia rekordów wynikają w głównej mierze ze znacznego postępu w technologii wytwarzania szybowców, rozwoju aerodynamiki oraz meteorologii, w znacznie mniejszym stopniu natomiast z rozwoju przyrządów pokładowych.

Drobna awaria zasilania może nagle pozbawić nas wszystkich zdobyczy najnowszej techniki. Zatkanie czujników, obłuzowanie czy zagięcie przewodów może zafałszować wskazania przyrządów. Nie na darmo podczas szkolenia podstawowego ćwiczy się loty z zasłoniętymi przyrządami. I choć przed elektroniką nie uciekniemy warto wracać do latania z wykorzystaniem zmysłu słuchu i wzroku do oceny prędkości i wysokości, mapy do prowadzenia nawigacji i ... własnego siedzenia do oceny wznoszenia w kominie termicznym. I to jest właśnie to, o co chodzi w lataniu szybowcowym.

Bibliografia

1. Setlak M.: *Encyklopedia szybowcowa*. www.szybowce.enter.net.pl
2. Wytwórnia Sprzętu Komunikacyjnego „PZL Warszawa II” S.A. www.pzl.com.pl
3. Hobot M.: *Globalny system pozycjonowania*. www.gps.pl
4. Zieleziński J.: *Wyposażenie szybowców*. WKiŁ, Warszawa 1969
5. Buchwald B.: *Od Wrony do Spitfire’a*. Poznań 1999
6. Sikora A.: *Koniec pionierskiego okresu rozwoju szybownictwa*. *Biuletyn instruktora i pilota szybowcowego* 3/1987
7. Dankowski J.: *Kompensacja energii całkowitej w wariometrach*. *Biuletyn instruktora i pilota szybowcowego* 9/1984
8. Pismo GILC-T1-201/92 z dn. 20.02.1992
9. Komisja Szybowcowa FAI
http://www.fai.org/gliding/gnss/approved_gnss_flight_recorders.asp
10. Instrukcje odbiorników GPS Garmin 12 oraz 95 XL, rejestratora Volkslogger 1.7.0
11. Reichmann H.: *Streckensegelflug*. Motorbuch Verlag, Stuttgart 1975
12. Marszałek J., Jaxa-Rożen M.: *Między rozsądkiem a biurokracją*. PLAR 7,9,11/02
13. Wiącek T.: *Wariometr energii całkowitej i sonda $k=-1$* . PLAR 7/98
14. Programy Pocket PC: <http://www.xcsoar.com/>, <http://cumulus.kflog.org/>,
<http://www.soarmn.com/cumulus/si.htm>, <http://winpilot.com/>, <http://www.cambridge-aero.com/pocketNAV.htm>, <http://www.flywithce.com/>
15. Zdjęcia i grafiki ze zbiorów autora

Pytania

1. Które z wymienionych przyrządów znajdują się w standardowym wyposażeniu szybowca?

- a) obrotomierz
- b) zakrętomierz
- c) wariometr
- d) żyroskop
- e) wysokościomierz
- f) prędkościomierz
- g) sztuczny horyzont
- h) busola
- i) chyłomierz

2. Które z przyrządów działają na zasadzie manometrycznej?

- a) zakrętomierz
- b) wariometr
- c) wysokościomierz
- d) prędkościomierz
- e) busola
- f) chyłomierz

3. Które z przyrządów działają na zasadzie żyroskopowej?

- a) zakrętomierz
- b) wariometr
- c) wysokościomierz
- d) prędkościomierz
- e) busola
- f) chyłomierz

4. W przodzie kadłuba, równolegle do kierunku lotu, usytuowany jest dajnik ciśnienia:

- a) statycznego
- b) dynamicznego
- c) całkowitego

5. Z boku kadłuba, stycznie do strug napływającego powietrza, usytuowany jest dajnik ciśnienia:

- a) statycznego
- b) dynamicznego
- c) całkowitego

6. Podłączając do instalacji pneumatycznej szybowca wariometr wykorzystuje się:

- a) ciśnienie statyczne
- b) ciśnienie dynamiczne
- c) ciśnienie całkowite
- d) KWEC
- e) naczynie wyrównawcze
- f) rurkę energii całkowitej $K=-1$

7. Podłączając do instalacji pneumatycznej szybowca prędkościomierz wykorzystuje się:

- a) ciśnienie statyczne
- b) ciśnienie dynamiczne
- c) ciśnienie całkowite
- d) KWEC
- e) naczynie wyrównawcze
- f) rurkę energii całkowitej $K=-1$

8. Z prędkościomierza odczytuje się prędkość względem:

- a) ziemi
- b) powietrza

9. W szybowcu puka się palcem w:

- a) zakrętomierz
- b) wariometr
- c) wysokościomierz
- d) prędkościomierz
- e) busola
- f) chyłomierz

10. Wnętrze busoli wypełnia:

- a) nafta
- b) alkohol etylowy
- c) benzoanilina
- d) ligroina

11. Zakrętomierz wskazuje:

- a) kierunek zakrętu
- b) prędkość kątową zakrętu
- c) przechylenie szybowca

12. Wyprowadzając szybowiec z zakrętu na kierunkach północnych należy wyprowadzanie z zakrętu rozpocząć:

- a) dokładnie na kierunku
- b) przed osiągnięciemżądanego kierunku
- c) po osiągnięciużądanego kierunku

13. Chyłomierz wskazuje:

- a) przechylenie w zakręcie
- b) wypadkową siły ciężkości i siły odśrodkowej w zakręcie
- c) środek ciężkości

14. Wariometr skompensowany wskazuje:

- a) opadanie własne szybowca
- b) opadanie lub wznoszenie się masy powietrza
- c) opadanie lub wznoszenie się masy powietrza pomniejszone o wartość opadania własnego szybowca